

Gentechnisch veränderte krankheits- und schädlingsresistente Nutzpflanzen

Eine Option für die Landwirtschaft?

Band 2

Abschlussbericht

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	2
1 Das Forschungsprojekt " <i>Folgenabschätzung transgener Nutzpflanzen</i> "	2
Richtlinie 90/220/EWG über die absichtlicher Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen in die Umwelt	
2 <i>Gentechnik in der landwirtschaftlichen Nahrungsmittelproduktion</i>	5
2.1 Toxikologische Gefährdungen durch das Genprodukt des Zielgens	6
¹ Franck-Oberaspach und Keller (1996) , Koller <i>et al.</i> (1996), Koller und Gessler (1996)	
2.2 Unerwünschte Effekte durch Markergene für Antibiotika-Resistenz	8
¹ Franck-Oberaspach und Keller (1996), Schlüter und Potrykus (1996)	
2.3 Unbeabsichtigte pflanzenphysiologische Veränderungen.....	10
¹ Schmid <i>et al.</i> (1996), Franck-Oberaspach und Keller (1996)	
2.4 Allergenes Potential	11
3 Auswirkungen auf die Umwelt.....	13
3.1 Ausbreitung und vertikaler Gentransfer	14
3.2 Horizontaler Gentransfer von transgener DNA auf Bakterien und Pilze.....	18
3.3 Transgene virusresistente Pflanzen - die Bildung neuer Viren.....	21
¹ Farinelli und Malnoë (1996)	
3.4 Effekte auf Nicht-Zielorganismen ¹	24
4 Auswirkungen auf Pflanzenzüchtung und genetische Ressourcen.....	24
5 Auswirkungen auf die Landwirtschaft.....	28
¹ Frühjahr 19975.1 Pflanzenbauliche Aspekte	29
5.1.1 Beitrag zur Ertragssicherung.....	29
5.1.2 Anbaufläche und Fruchtfolge	33
5.1.3 Anpassung der Schaderreger an die Resistenzstrategie	35
5.2 Betriebswirtschaftliche Auswirkungen.....	36
5.2.1 Betriebseinkommen und Pflanzenschutzmitteleinsatz	36
6 Beitrag der Gentechnik zu einer nachhaltigen Landwirtschaft	43
7 Akzeptanz gentechnisch veränderter Nahrungsmittel.....	45
8 Zusammenfassung	46

Vorwort

In zunehmender Masse wird bei Entscheidungen über technische Entwicklungen versucht, das breite Spektrum an möglichen Folgen für Mensch und Natur mitzubedenken. Verfahren zur Technikfolgenabschätzung haben die möglichst umfassende Beurteilung einer technischen Anwendung zum Ziel. Erwünschte und unerwünschte Technikfolgen sollen erfasst und analysiert sowie Wege für die zukünftige Technikgestaltung aufgezeigt werden.

Die Fachstelle BATS initiierte Ende 1994 ein interdisziplinäres Forschungsprojekt zur Folgenabschätzung eines Anbaus transgener krankheits- und schädlingsresistenter Kulturpflanzen für die Schweiz. Ziel war es, wissenschaftliche Entscheidungsunterlagen für die Beurteilung eines zukünftigen Einsatzes gentechnisch veränderter Nutzpflanzen in der Landwirtschaft zur Verfügung zu stellen. Es galt, die gentechnologischen Strategien sowohl auf ihre Gefährdungen als auch auf ihren Beitrag für eine umweltverträglichere Landwirtschaft zu überprüfen. Wichtige methodische Anforderungen waren die Vernetzung verschiedener Fachgebiete, die Beteiligung von Interessensgruppen und eine Aufarbeitung des gegenwärtigen Wissensstandes.

Beteiligt waren ungefähr 30 Personen aus Hochschulen, landwirtschaftlichen Forschungsanstalten, Bundesämtern und verschiedenen Interessensgruppen. Das Forschungsprojekt begann mit dem gemeinsamen Erarbeiten eines Fragenkataloges. Anfang 1995 konnten auf dieser Basis 10 Fachstudien in Auftrag gegeben werden, die Mitte 1996 abgeschlossen und veröffentlicht wurden. In mehreren internen und öffentlichen Workshops wurden die Ergebnisse vorgestellt und diskutiert. Die vorliegende Veröffentlichung stellt die Synthese aus den Erkenntnissen der Fachstudien dar und wird von den beteiligten wissenschaftlichen Gruppen getragen.

Der Bericht geht in grundsätzlicher Art und Weise auf mögliche positive wie negative Auswirkungen ein. Alle Beteiligten sind sich einig, dass es weiterer Untersuchungen bedarf, wie ein Einsatz der Gentechnologie in der Schweizerischen Landwirtschaft sinnvoll zu gestalten ist.

Wir danken allen Beteiligten für ihre kooperative Zusammenarbeit.

Basel, im März 1997:
Elisabeth Schulte
Othmar Käppeli

1 Das Forschungsprojekt "*Folgenabschätzung transgener Nutzpflanzen*"

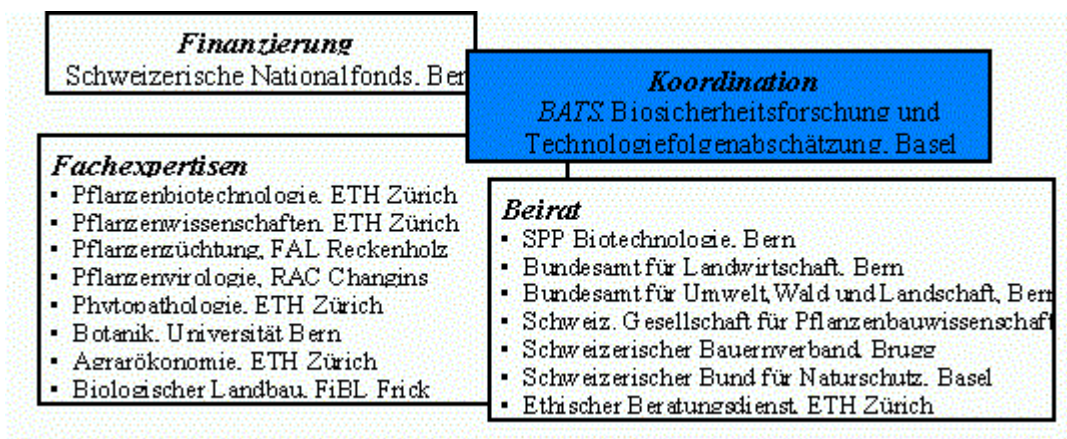
Die gegenwärtige Diskussion um das Für und Wider der Gentechnologie ist geprägt von Gefährdungsszenarien auf der einen Seite und Nutzenversprechen auf der anderen Seite.

Ziel des Forschungsprojektes war es, die Fragestellungen der gegenwärtigen öffentlichen Diskussion aufzugreifen und in Form einer Folgenabschätzung wissenschaftlich zu analysieren. Unter der Beteiligung von Fachleuten und Interessensvertretern sollten Entscheidungsgrundlagen für die Beurteilung möglicher

Folgen eines Einsatzes gentechnisch veränderter Nutzpflanzen erarbeitet werden (Abb.1).

Dem Verfahren lag ein strukturierter Ablauf zugrunde (Tab. 1). Zu Anfang wurde ein Katalog der gegenwärtig diskutierten Risiken und Nutzen erarbeitet. Dieser Katalog war Basis für die zu vergebenen Fachstudien. Hier galt es, den Stand der wissenschaftlichen Diskussion möglichst umfassend darzustellen.

**Abbildung 1: Organisation des Forschungsprojektes
Folgenabschätzung eines Einsatzes transgener krankheits- und
schädlingsresistenter Nutzpflanzen**



In der anschliessenden Auswertung, vorliegend als Band 2, wurde der sich aus den Fachstudien ergebene Wissensstand in Form von Kernaussagen zusammengefasst. Besonderer Wert wurde jeweils auf die vergleichende Darstellung der Auswirkungen *gentechnologischer Strategien* gegenüber denen bisheriger *Alternativen* gelegt.

Ziel war es, sowohl Übereinstimmungen wie spezielle Risiken und Nutzen der Gentechnologie gegenüber den Alternativen zu erarbeiten. Auf dieser Basis konnten anschliessend Folgerungen für die zukünftige Gestaltung eines Einsatzes der Gentechnologie formuliert werden. Hier galt es aufzuzeigen, wo Handlungsbedarf für *weitere Forschung, Anwendungsbeschränkungen* und *zusätzliche Regulationen* nötig ist. Diese Folgerungen sind Positionen, welche sich aus den Fachstudien und den Diskussionen mit den Projektbeteiligten ergaben.

Resistenzen gegenüber pflanzlichen Krankheiten und Schädlingen bilden einen wichtigen Beitrag zur Ertragsicherheit. Mit der Gentechnik stehen neue Lösungen in der Kontrolle pflanzlicher Schaderreger zur Verfügung. Herkömmliche Pflanzenschutzstrategien werden ergänzt und chemische Hilfsstoffe ersetzt.

Ob sich die neuen Sorten in der Praxis durchsetzen werden, wird von vielen Parametern abhängen. Hier spielen sowohl agronomische Eigenschaften wie die Ertragsfähigkeit und das Niveau der Resistenz wie aber auch die Qualität des Endproduktes und die Akzeptanz der Konsumenten eine wichtige Rolle.

Eine Nahrungsmittelproduktion auf Basis *umweltschonender Anbauverfahren* wird heute von der Gesellschaft als wichtige Zielvorgabe gefordert. Die agrarpolitischen Rahmenbedingungen der letzten Jahre haben vor allem in der Schweiz die Weichen

für eine ökologisch verträglichere Landwirtschaft gestellt (Integrierte Produktion und Biologischer Landbau). Für die Akzeptanz gentechnologischer Strategien wird es von Bedeutung sein, dass diese einen Beitrag zur Erfüllung der angestrebten Zielsetzungen liefern.

Tabelle 1: Konzept einer Folgenabschätzung für das Beispiel *Transgene Nutzpflanzen*

Phasen der Folgenabschätzung	Umsetzung im Projekt
I. Identifikation möglicher Auswirkungsaspekte	Auflistung kritischer Bedenken und möglicher Nutzen (Arbeitshypothesen)
II. Auswirkungsanalyse	Dokumentation des derzeitigen Wissensstandes durch Fachexpertisen
III. Risiko-Nutzen-Abwägung	Darstellung von Übereinstimmungen, speziellen Risiken und Nutzen der Gentechnologie gegenüber den Alternativen
IV. Technikgestaltung	Feststellung von Forschungsbedarf, Anwendungseinschränkungen und zusätzlichen Regulationen

Die vorliegende Folgenabschätzung stellt gentechnologische Ansätze in den Vergleich mit den bisherigen Alternativen in der *konventionellen Produktion*, der *Integrierten Produktion* und im *Biologischen Landbau*.

Die Analyse konzentrierte sich auf toxikologische, ökologische, agronomische und ökonomische Fragestellungen (Tab. 2).

Tabelle 2: Überblick zu den Untersuchungsbereichen *Folgenabschätzung eines Einsatzes transgener krankheits- und schädlingsresistenter Nutzpflanzen*

Untersuchungsbereich	Fragestellungen
Produktequalität	<ul style="list-style-type: none"> • Toxikologische Gefährdungen durch das Genprodukt • Unerwünschte Effekte durch Markergene für Antibiotika-Resistenz • Unbeabsichtigte pflanzenphysiologische Veränderungen • Allergenes Potential
Umwelt	<ul style="list-style-type: none"> • Ausbreitung und Gentransfer über Pollen • Horizontaler Gentransfer auf Bakterien und Pilze • Transgene virusresistente Pflanzen - Bildung neuer Viren

	<ul style="list-style-type: none"> • Effekte auf Nicht-Zielorganismen
Landwirtschaft und Pflanzenzüchtung	<ul style="list-style-type: none"> • Die moderne Pflanzenbiotechnologie in der Pflanzenzüchtung • Der Beitrag der Gentechnologie zur Ertragssicherung • Anbauflächen und Fruchtfolgegestaltung • Anpassung der Schaderreger an die Resistenzstrategie • Betriebseinkommen und Pflanzenschutzmitteleinsatz
Wirtschaft und Gesellschaft	<ul style="list-style-type: none"> • Beitrag der Gentechnik zu einer Nachhaltigen Landwirtschaft • Akzeptanz gentechnisch veränderter Nahrungsmittel

Die zu untersuchenden Aspekte für den Bereich *Produktequalität* und *Umwelt* wurden in Anlehnung an den internationalen Kriterienkatalog für die Sicherheitsbewertung transgener pflanzlicher Produkte zusammengestellt¹. In den Bereichen *Pflanzenzüchtung* und *Landwirtschaft* sowie *Wirtschaft und Gesellschaft* wurden anbautechnische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Fragestellungen mit Relevanz für die Schweiz angesprochen.

Wenn möglich, wurde auf Kulturpflanzen eingegangen, die für den schweizerischen Anbau von Bedeutung sind.

Richtlinie 90/220/EWG über die absichtlicher Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen in die Umwelt² *Gentechnik in der landwirtschaftlichen Nahrungsmittelproduktion*

Nach den derzeitigen gesetzlichen Regelungen unterliegen gentechnisch veränderte Nahrungsmittel in den Ländern Europas und der Schweiz¹ einer nationalen behördlichen Zulassung. Ein gemeinschaftliches Anmelde- und Genehmigungsverfahren nach einheitlichen Kriterien wird künftig mit Inkrafttreten der Verordnung über neuartige Lebensmittel in den Mitgliedsstaaten der europäischen Union vorliegen².

Die Überprüfung der Unbedenklichkeit für den Verzehr stellt ein wichtiges Kriterium dar. Folgende Untersuchungsaspekte finden eine besondere Beachtung:

- *Mögliche toxikologische Gefährdungen durch die neuen Genprodukte,*
- *Unbeabsichtigte pflanzenphysiologische Veränderungen als Folge der genetischen Veränderung und*
- *Allergenes Potential der neuen Genprodukte.*

Neben messbaren quantitativen und qualitativen Kriterien wie der Inhaltsstoffzusammensetzung hat sich in den letzten Jahren ein neuer Qualitätsbegriff etabliert. Qualität wird demnach auch in Bezug auf die Art der Produktion beurteilt. So werden Nahrungsmittel aus umweltschonenden und naturnahen Produktionsverfahren von den Konsumenten in der Qualität höher eingeschätzt als Produkte aus dem konventionellen Anbau. Der Verzicht, beziehungsweise der reduzierte Einsatz von chemischen Hilfsstoffen, wird dabei als wichtiges Kriterium angeführt. Interessant erweist sich in diesem Zusammenhang die Frage, ob ein Einsatz gentechnologischer Methoden zur Reduktion von Pflanzenschutzmitteln auch als Qualitätsverbesserung akzeptiert wird.

¹Lebensmittelverordnung vom 1. März 1995, Bern

2.1 Toxikologische Gefährdungen durch das Genprodukt des Zielgens

Bei konventionell gezüchteten Sorten werden toxikologische Gefährdungen aufgrund der langjährigen Erfahrung mit dem Zuchtmaterial weitgehend ausgeschlossen.

Schwankungen in der Ausbildung von Inhaltsstoffen sind bekannt, dennoch werden Standarduntersuchungen auf unerwartete toxische Inhaltsstoffe nicht verlangt. Die bisherigen Selektionsmethoden der Züchter reichen aus und werden akzeptiert.

Mit Hilfe gentechnologischer Methoden können neue Genprodukte beispielsweise von Mikroorganismen, Viren und Insekten in der Pflanze exprimiert werden. Auch wird es möglich sein, pflanzeigene Genprodukte im Expressionsniveau wesentlich zu modifizieren.

FRAGE

Sind neue toxikologische Gefährdungen durch gentechnisch veränderte Nahrungsmittel zu erwarten?

STAND DER DISKUSSION¹

Bei transgenen pflanzlichen Lebensmitteln werden die neu eingeführten Proteine auf ihre Toxizität überprüft. Toxikologische Untersuchungen sind vor allem dann angebracht, wenn die neuen Proteine bisher nicht in der Nahrungsmittelkette vorkamen oder pflanzliche Inhaltsstoffe wesentlich in ihrem Gehalt verändert wurden.

Zur Überprüfung des toxischen Potentials einzelner Genprodukte stehen Standardmethoden zur Verfügung. So werden beispielsweise Fütterungsversuche mit den isolierten Genprodukten oder dem gentechnisch veränderten Pflanzenmaterial durchgeführt. Auf dieser Basis sind konkrete Aussagen über die Unbedenklichkeit im Rahmen der üblichen Verzehrsgewohnheiten möglich. Schwierigkeiten ergeben sich erst in der Beurteilung möglicher Langzeitwirkungen einer Aufnahme subtoxischer Mengen des Genproduktes. Die Wirkungen geringer

Stoffmengen sind aber generell schwer zu erfassen, dies gilt auch für nicht-transgene Nahrungsmittel.

Gentechnisch erzeugte Insektenresistenz auf der Basis von B.t.-Proteinen

Die Resistenzstrategie beruht auf einem bakteriellen Protein aus *Bacillus thuringiensis*. Das Protein wirkt toxisch gegenüber bestimmten Insektenarten, die u.a. Mais oder Kartoffel schädigen. In der landwirtschaftlichen Praxis wird dieses Protein bereits seit Jahrzehnten in Form eines Bakterienpräparates eingesetzt. Umfangreiche Untersuchungen sowohl mit dem isolierten Genprodukt als auch mit transgenem Pflanzenmaterial konnten keine humantoxische Wirkung feststellen.

Gentechnisch erzeugte Virusresistenz auf der Basis viraler Hüllproteine

Pflanzen werden natürlicherweise von verschiedenen Viren infiziert. Der Verzehr von pflanzlichen Virusproteinen gilt als nicht bedenklich. Transgene Virusresistenzen beruhen auf der Integration viraler Gensequenzen in die Pflanze. Das Produkt dieser Gene sind beispielsweise virale Hüllproteine. Virale Proteine werden während der Verdauung abgebaut. Der Gehalt an Virusproteinen kann in natürlich infizierten Pflanzen höher sein als in transgenen virusresistenten Pflanzen.

Gentechnisch erzeugte Resistenzen gegenüber Pilzen und Krankheiten

Die derzeit diskutierten Ansätze befinden sich noch weitgehend in der Grundlagenforschung. Grundsätzlich sind zwei Einsatzstrategien denkbar. Die konstitutive (permanente) und präinfektionelle Expression von Abwehrstoffen (natürlicherweise werden diese in der Pflanze lokal und erst als Reaktion auf eine Infektion gebildet) oder die Veränderung des pflanzlichen Wirt-Pathogen-Erkennungssystems. Beide Strategien beruhen auf pflanzlichen Abwehrstoffen, die bereits natürlicherweise in resistenten Pflanzen vorkommen. In Einzelfällen müssen diese Stoffe als toxikologisch bedenklich eingestuft werden.

IM VERGLEICH - Transgene versus konventionell gezüchtete Pflanzen

Gentechnisch veränderte pflanzliche Nahrungsmittel sind aus toxikologischer Sicht nicht *per se* gefährlicher als konventionell gezüchtete. Auch pflanzeneigene Resistenzgene können toxikologisch bedenkliche Genprodukte bilden. Im Gegensatz zu konventionell gezüchteten Pflanzen wird bei transgenen Pflanzen das Genprodukt und mögliche Metaboliten eines neu eingeführten Resistenzgens einer toxikologischen Prüfung unterzogen. Diese Untersuchung ist Bestandteil des behördlichen Zulassungsverfahrens für gentechnisch veränderte Nahrungsmittel. Bei der toxikologischen Überprüfung werden die spätere Verwendung des Nahrungsmittels (Frischprodukt oder verarbeitetes Produkt) und die Art und Menge eines durchschnittlichen Verzehrs berücksichtigt.

FOLGERUNGEN

Dieser Text ist ein Auszug aus dem Bericht der Bundesregierung zur Gentechnik in der Landwirtschaft.

vom Expressionsniveau in der Pflanze ab. Im Rahmen der züchterischen Weiterbearbeitung ist daher für die jeweilige transgene Resistenzstrategie eine stabile und gegebenenfalls Sicherheitslimiten nicht überschreitende Expression zu gewährleisten.

Im Falle einer Risiko-Nutzen-Abwägung sind mögliche toxikologische Gefährdungen durch neue gentechnische Resistenzstrategien im Einzelfall mit den Gefährdungen der Alternativstrategien abzuwägen. Hier wäre die Belastung der Nahrungsmittel durch Pestizide oder die Kontamination durch Stoffwechselprodukte des Schaderregers bei Verzicht auf eine chemische Kontrolle zu berücksichtigen.

¹ [Franck-Oberaspach und Keller \(1996\)](#) , [Koller et al. \(1996\)](#), [Koller und Gessler \(1996\)](#) **2.2 Unerwünschte Effekte durch Markergene für Antibiotika-Resistenz**

Zusammen mit den gewünschten Zielgenen für Krankheits- und Schädlingsresistenzen werden Markergene übertragen. Markergene sind nützlich, um bereits in einem frühen Stadium, die erfolgreich transformierten gentechnisch veränderten Pflanzen selektieren zu können. Bisher werden vor allem Markergene für Antibiotika- und Herbizidresistenzen eingesetzt. Ihr Vorteil liegt darin, dass die Anwesenheit dieser Gene einfach festzustellen ist. Pflanzen, die diese Markergene enthalten, können Antibiotika oder Herbizide, die beispielsweise in frühen Pflanzenstadien dem Nährmedium zugefügt wurden, inaktivieren. Nur die erfolgreich transformierten Pflanzen, also diejenigen, die das Marker- und das mit ihm gekoppelte Zielgen besitzen, überleben. Die Genprodukte der Markergene müssen wie die Genprodukte der eigentlichen Zielgene toxikologisch untersucht werden.

FRAGE

Werden durch die Genprodukte der Markergene unerwünschte Effekte verursacht?

STAND DER DISKUSSION¹

Verlust der Wirksamkeit therapeutisch verabreichter Antibiotika - Bakterien können untereinander Genmaterial austauschen oder aktiv bakterielle DNA aufnehmen und stabil integrieren. Auf diese Weise können beispielsweise auch Antibiotika-Resistenzen zwischen verschiedenen Bakterien weitergegeben werden. Sollten Darmbakterien noch funktionsfähige DNA, die für Antibiotika-Resistenz codiert, aus Nahrungsmitteln aufnehmen können, so wären therapeutisch verabreichte Antibiotika in der Folge nicht mehr wirksam.

Bis heute ist ein DNA-Transfer von Antibiotika-Resistenzen aus transgenem Pflanzenmaterial auf Darmbakterien nicht nachgewiesen worden. Die mit der Nahrung aufgenommene DNA wird im sauren Milieu des Magens abgebaut und dadurch inaktiviert. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein noch funktionsfähiges Gen (egal

aus welcher Quelle) den Verdauungsvorgang übersteht und von Darmbakterien aufgenommen und stabil integriert wird, ist äusserst gering. Auch wäre der Anteil möglicher rekombinanter Darmbakterien an der Gesamtzahl natürlich vorkommender antibiotikaresistenter Bakterien im Darm vernachlässigbar gering. Antibiotika-resistente Bakterien sind weit verbreitet und werden über die Nahrung beispielsweise über Gemüse und Salat aufgenommen.

Fütterungsversuche mit sehr hohen Mengen an transgenem Pflanzenmaterial zeigten keine nachteiligen Effekte. Markergene und deren Genprodukte werden gemäss den Abbaustudien im Verdauungstrakt zerlegt und völlig abgebaut.

Bei der gentechnischen Veränderung wurden bisher vorwiegend Resistenzen gegenüber solchen Antibiotika eingesetzt, die in der Tier- und Humanmedizin kaum mehr verwendet werden.

IM VERGLEICH - Transgene versus konventionell gezüchtete Pflanzen

Nach den bisherigen Erkenntnissen wird DNA während der Verdauung abgebaut und dadurch inaktiviert. Die Wahrscheinlichkeit, dass nach dem Verdauungsvorgang noch funktionsfähige Einheiten vorliegen, die von Darmbakterien aufgenommen und stabil integriert werden können, ist äusserst gering. Hierüber herrscht aufgrund der umfangreichen und intensiven Untersuchungen grosse wissenschaftliche Übereinstimmung.

Sollte eine derartige Übertragung dennoch unter bestimmten Bedingungen eintreten, so wäre der Anteil rekombinanter Darmbakterien an der Gesamtzahl im Darm natürlich vorkommender antibiotikaresistenter Bakterien vernachlässigbar gering.

FOLGERUNGEN

In Zukunft werden in der Pflanzenzüchtung vermehrt gentechnische Strategien eingesetzt. Damit wird sich das Angebot an gentechnisch veränderten Nahrungsmitteln erhöhen. Transgenen Nahrungsmitteln mit Antibiotika-Resistenzen stehen viele Konsumenten skeptisch gegenüber.

Grundsätzlich wäre es daher vor allem im Sinne einer Vorsorgemassnahme sinnvoll, nach alternativen Selektionssystemen zu forschen und auf Antibiotika-Resistenzen ganz oder zumindest auf solche zu verzichten, die mit Therapiemassnahmen in der Human- und Tiermedizin interferieren.

¹ [Franck-Oberaspach und Keller \(1996\)](#), [Schlüter und Potrykus \(1996\)](#) 2.3
Unbeabsichtigte pflanzenphysiologische Veränderungen

Eine genaue Steuerung der Genintegration ist bei den bisherigen Methoden zur gentechnischen Veränderung von Pflanzen nicht möglich. Der Ort einer Integration kann jedoch die Expression eines Transgens beeinflussen. Unvorhergesehene Expressionsmuster aufgrund einer Unterbrechung kodierender Gen-Sequenzen oder aufgrund von Wechselwirkungen der Genprodukte mit dem Gesamtstoffwechsel sind theoretisch möglich.

FRAGE

Kann die Methode des Gentransfers zu unerwarteten toxischen Stoffwechseländerungen führen?

STAND DER DISKUSSION ¹

Gegenwärtig sind viele Einflussfaktoren der Genexpression noch nicht beherrschbar. Die regenerierten Pflanzen aus der Transformation variieren in der Genexpression des Transgens und dem übrigen phänotypischen Erscheinungsbild. Für eine züchterische Bearbeitung werden jedoch, wie in der konventionellen Züchtung auch, nur diejenigen Pflanzen ausgewählt, die dem Zuchtziel in ihren phänotypischen (biochemischen, morphologischen und agronomischen) Eigenschaften entsprechen. Dieser Prozess umfasst im Anschluss an mehrjährige Labor- und Gewächshausuntersuchungen noch ungefähr fünf bis zehn Jahre züchterische Selektion unter Feldbedingungen.

Durch die unspezifische Integration des Transgens kann die Expression benachbarter Gene theoretisch verändert werden (*Positionseffekte, insertional mutagenesis*). Dies könnte beispielsweise zu einer Unterbrechung detoxifizierender Prozesse in der Pflanze oder zu einer Aktivierung toxischer Stoffwechselwege führen. Die Wahrscheinlichkeit derartiger Ereignisse wird als gering erachtet. Auch bei konventionellen Züchtungsmethoden treten unerwünschte Effekte wie DNA-Umstrukturierungen nach natürlichen oder künstlich induzierten Mutationen auf. Nachkommen mit unerwünschten Merkmalsausprägungen werden züchterisch jedoch nicht weiter verwendet und ausselektiert.

Grundsätzlich ist es bei konventionell wie bei gentechnisch veränderten Pflanzen schwierig, geringfügige oder noch unbekannte Veränderungen, die phänotypisch nicht offensichtlich sind, zu identifizieren. Das Konzept der *Substantiellen Äquivalenz* ist in diesem Zusammenhang hilfreich, um unbeabsichtigte Veränderungen in der Inhaltsstoffzusammensetzung weitgehend auszuschließen. Hierbei wird das Inhaltsstoffmuster der gentechnisch veränderten Pflanze mit dem Inhaltsstoffmuster der nicht transformierten Ausgangslinie verglichen, um Abweichungen zu identifizieren. Um das Konzept der *Substantiellen Äquivalenz* anwenden zu können, müssen Zusammensetzung und Variation der Inhaltsstoffe konventionell gezüchteter Ausgangslinien bekannt sein.

IM VERGLEICH - Transgene *versus* konventionell gezüchtete Pflanzen

Unerwünschte biochemische Veränderungen können als Folge einer gentechnischen Veränderung nicht ausgeschlossen werden. Auch in der konventionellen Züchtung entstehen durch Rekombination und Mutation unerwünschte Genotypen mit Schwankungen in der Genexpression und unerwarteten neuen Merkmalsausprägungen.

Der züchterische Selektionsprozess bis zum marktreifen Produkt, der die Stabilität der Gene und ihre Ausprägung im chromosomalen Kontext überprüft, wurde bisher als ausreichend angesehen.

Pflanzliches Zuchtmaterial, ob gentechnisch verändert oder konventionell gezüchtet, das bekanntermassen toxische Inhaltsstoffe ausbildet, muss einer eingehenden toxikologischen Untersuchung unterzogen werden.

FOLGERUNGEN

Die Entdeckung unerwarteter pflanzlicher Stoffwechseleränderungen ist methodisch schwierig anzugehen, da nicht bekannt ist, nach welchen Stoffen zu suchen wäre. Dies gilt für Produkte konventioneller wie gentechnischer Veränderungen gleichermaßen.

Um transgene Pflanzen mit unerwünschten Expressionsmustern ausselektieren zu können, wird ihr Inhaltsstoffmuster mit dem von konventionell gezüchteter Vergleichspartner verglichen. Oft sind aber Zusammensetzung und Variation der Inhaltsstoffe der Elternlinien nicht bekannt.

Der Aufbau entsprechender Datenbanken muss daher eine wichtige Priorität haben. Forschungsbedarf besteht ebenfalls für die Entwicklung von Transformationsmethoden zur zielgenaueren Genintegrationen.

¹ [Schmid et al. \(1996\)](#), [Franck-Oberaspach und Keller \(1996\)](#) 2.4 Allergenes Potential

Der menschliche Körper kann auf bestimmte Proteine mit einer Unverträglichkeitsreaktion reagieren, bei der das Immunsystem beteiligt ist. Es ist bekannt, dass potentiell fast alle Proteine (Immunoglobulin E - vermittelte) Allergien auslösen können. Rund 90 Prozent aller Lebensmittelallergien werden von wenigen Nahrungsmitteln verursacht (darunter Kuhmilch, Hühnerei, Fisch, Nüsse, Sojabohne, Weizen, Krustaceen). Alle bisher isolierten Allergene sind Proteine, die

charakteristische Eigenschaften aufweisen. Allergiker meiden aus Erfahrung diejenigen Nahrungsmittel, die für sie die allergieauslösenden Proteine beinhalten.

Mittels der Gentechnik kann die Pflanzenzüchtung nun theoretisch das Erbmateriale der Gesamtheit aller Organismen als Genquelle nutzen. Das Transgen bildet dann im Empfängerorganismus ein Fremdprotein. Auch das Expressionsmuster arteigener Genprodukte kann mittels Gentechnik stark variiert werden.

FRAGE

Werden Allergien durch die gentechnische Veränderung pflanzlicher Nahrungsmittel zunehmen?

STAND DER DISKUSSION¹

Für die Beurteilung des Allergie-Risikos gentechnisch veränderter pflanzlicher Lebensmittel ist die Frage nach der *Quelle des Genproduktes* entscheidend. Hier lassen sich prinzipiell folgende Schlussfolgerungen ziehen:

(1) Ist die Genquelle ein Nahrungsmittel, so ist aus der Erfahrung bekannt, ob dieses Nahrungsmittel allergene Proteine beinhaltet oder nicht.

- Ist die Genquelle (Nahrungsmittel) bereits als Allergen bekannt, so sind immunologische Testverfahren verfügbar, um auch das aus dieser Quelle stammende Genprodukt auf seine allergene Wirkung zu untersuchen. Auf diese Weise kann die Übertragung von Genprodukten mit bekannter allergener Wirkung ausgeschlossen werden².
- Ist die Genquelle (Nahrungsmittel) nicht als Allergen dokumentiert, so kann davon ausgegangen werden, dass es sich bei dem zu übertragenden Gen um keines der bekannten Allergene handelt.

(2) Sind die Genprodukte vorher nicht Bestandteil der menschlichen Ernährung gewesen, so sind Aussagen über das allergene Potential grundsätzlich schwierig. Das Transgen muss dann mit bekannten Allergenen auf gemeinsame Eigenschaften verglichen werden. Sequenzhomologien und die Proteinstabilität während der Verdauung und Verarbeitung sind neben Sensibilisierungsversuchen wichtige Prüfkriterien.

IM VERGLEICH - Transgene *versus* konventionell gezüchtete Pflanzen

Für die bisher zugelassenen transgenen Nutzpflanzen wird nach momentanem Stand der Kenntnis kein erhöhtes Risiko für allergische Reaktionen angenommen.

Die verwendeten Gene bzw. Genprodukte (Herbizid- und Antibiotikaresistenzen, insektentoxische Proteine aus *Bacillus*

mit allergenem Potential, noch hat der Vergleich mit bekannten Allergenen Ähnlichkeiten ergeben. Viele der genannten Genprodukte waren bereits früher Bestandteil der Nahrung.

Einige pflanzliche Proteine, die für neue Resistenzen interessant wären (u.a. -Amylase-Inhibitoren, Trypsin-Inhibitoren oder Lektine), weisen Ähnlichkeiten mit bekannten Allergenen auf. Vor der Markteinführung müssen derartig genetisch veränderte Pflanzen auf ihr allergenes Potential untersucht werden.

Die Wahrscheinlichkeit *unerwarteter Allergien* kann bei gentechnisch veränderten Nahrungsmitteln dann grösser sein, wenn Genprodukte, die vorher nie Bestandteil der Nahrung waren und deren allergenes Potential nicht dokumentiert ist, übertragen werden. Die gleiche Unsicherheit besteht aber auch bei neu eingeführten nicht-transgenen Nahrungsmitteln.

FOLGERUNGEN

Bei der Zulassung von gentechnisch veränderten Nahrungsmitteln muss das allergene Potential der übertragenen Proteine grundsätzlich untersucht werden.

Stellt das Genprodukt des übertragenen Transgens ein Allergen dar oder zeigt es Ähnlichkeiten mit einem solchen, so sollte

- auf eine Verwendung *verzichtet* oder
- eine sorgfältige und durchgängige *Kennzeichnung* zur Pflicht gemacht werden.

Für eine optimale Nutzung des vorhandenen Wissens über Allergene sollte eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von Züchtern und Immunologen schon in frühen Phasen der Züchtung stattfinden.

¹ [Franck-Oberaspach und Keller \(1996\)](#), [Koller et al. \(1996\)](#), [Koller und Gessler \(1996\)](#)

² So konnte beispielsweise ein aus der Paranuss isoliertes und in die Sojabohne übertragenes Protein (2S-Albumin) durch entsprechende Untersuchungen als das Hauptallergen der Paranuss identifiziert werden. Der Hersteller brachte die Sojabohne nicht auf den Markt, da der Genuss eine Paranussallergie hervorgerufen hätte.

3 Auswirkungen auf die Umwelt

Vor einer Freisetzung und Inverkehrbringung gentechnisch veränderter Pflanzen sind in Europa auf der Basis der Richtlinien 90/220/EWG und der ersten Anpassung durch

die Richtlinie 94/15/EG mögliche Umwelteinwirkungen darzulegen. Ziel des Zulassungsverfahrens ist es, Umweltgefährdungen für Mensch, Tier und Umwelt auszuschliessen. Im Rahmen des derzeitigen Kriterienkataloges ist vor allem zu möglichen direkten ökologischen Auswirkungen Stellung zu nehmen. Neben den biologischen Daten zum verwendeten Zuchtmaterial und Transgen sind Informationen über das Umweltverhalten der gentechnisch veränderten Pflanze beizubringen.

Folgende Aspekte finden eine besondere Beachtung:

- mögliche nachteilige Folgen einer *Ausbreitung* inner- und ausserhalb der landwirtschaftlichen Anbaufläche,
- mögliche nachteilige Folgen einer *Auskreuzung* mit verwandten Wildarten,
- mögliche nachteilige Folgen eines *Gentransfers* von transgener DNA auf Bodenmikroorganismen,
- mögliche nachteilige Folgen der Verwendung *viraler Gensequenzen* zur Züchtung transgener virusresistenter Nutzpflanzen

und

- *unerwünschter Effekte* auf Nicht-Ziel-Organismen.

3.1 Ausbreitung und vertikaler Gentransfer

Die züchterische Bearbeitung landwirtschaftlich genutzter Pflanzenarten hat eine lange Vergangenheit. So kann der Einfluss des Züchtungsfortschrittes sehr eindrücklich durch einen Vergleich der heutigen Kulturformen mit ihren Wildformen gezeigt werden. Viele der heutigen Kulturarten haben ihren Wildpflanzencharakter weitgehend verloren und können sich ausserhalb der Agrarflächen gegenüber der dort heimischen Flora nicht mehr durchsetzen. Die für Wildpflanzen typischen Eigenschaften wie relative Anspruchslosigkeit an den Standort, schnelle Abreife und lockerer Samensitz gingen im Lauf der züchterischen Bearbeitung zu Gunsten der Erhöhung der Ertragsleistung verloren. Des Weiteren sind viele in Europa oder der Schweiz angebaute Nutzpflanzen nicht in dieser Anbauregion heimisch. Ihnen fehlt beispielsweise wie im Fall des Mais, der Kartoffel oder der Zuckerrübe die nötige Winterhärte.

Für transgene Pflanzen wären neue Selektionsvorteile dann gegeben, wenn die einen Anbau und eine Ausbreitung limitierenden Faktoren wie beispielsweise die Empfindlichkeit gegenüber Frost und Trockenheit oder Anfälligkeiten gegenüber Schaderregern wesentlich verändert werden. Transgene Nutzpflanzen werden daher im Rahmen des behördlichen Zulassungsverfahrens auf ihre Fähigkeit, sich auszubreiten und andere Arten zu verdrängen, beurteilt.

Einige Nutzpflanzenarten haben in ihrer Anbauregion *verwandte Wildarten* mit denen sie sich auskreuzen können. Bei dieser Auskreuzung wird das Erbmaterial einschliesslich der Transgene übertragen.

Die Wahrscheinlichkeit einer Auskreuzung und daraus resultierende ökologische Auswirkungen sind u.a. von folgenden Bedingungen abhängig:

(1) Sind verwandte Kreuzungspartner in der Anbauregion der transgenen Kulturpflanzen vorhanden?

(2) Führt eine Auskreuzung zwischen den transgenen Kulturpflanzen und verwandten (Wild)arten zu fertilen Nachkommen?

und - **ganz entscheidend in Hinblick auf mögliche ökologische Auswirkungen** -

(3) Besitzen die Kreuzungsnachkommen aufgrund der neuen Eigenschaften (beispielsweise einer Schädlingsresistenz) einen selektiven Vorteil, so dass sie sich langfristig in der Artengemeinschaft etablieren und nachteilige Auswirkungen verursachen können?

FRAGE

Können sich transgene Kulturpflanzen und ihre Kreuzungsnachkommen aufgrund eines selektiven Vorteils ungewollt ausbreiten?

STAND DER DISKUSSION¹

Ausbreitung transgener Nutzpflanzen - Für die bisher zugelassenen transgenen krankheits- und schädlingsresistenten Sorten konnte aufgrund ihrer neuen Eigenschaften kein besonderer Selektionsvorteil nachgewiesen werden. Beispielsweise verleiht die gentechnisch vermittelte Toleranz gegenüber dem Maiszünsler den transgenen Sorten keinen Selektionsvorteil für eine ungewollte und invasive Ausbreitung.

Vertikaler Gentransfer - Eine Genübertragung durch Pollen zwischen Pflanzen einer Art oder Pflanzen verwandter Arten ist ein natürlicher Vorgang. Er bildet die Basis für neue genetische Variation im Genpool. Ein Austausch beispielsweise von Krankheits- und Schädlingsresistenzen von Kulturpflanzenarten auf verwandte Wildarten und umgekehrt hat schon immer stattgefunden. Auch die Ausbildung neuer Spezies mit "Unkrautcharakter" (z.B. Auskreuzungsnachkommen von Kultur-Zuckerrüben und Wildrüben) ist in der konventionellen Züchtung bekannt.

Wahrscheinlichkeit eines Gentransfers

- *von der transgenen Kulturpflanze auf verwandte Wildarten*

Ein Gentransfer ist nur dann möglich, wenn Auskreuzungspartner zeitlich und örtlich vorhanden sind und fertile Nachkommen produziert werden können. Für Kulturpflanzen wie Mais und Sojabohne ist die Möglichkeit eines Gentransfers auf Wildarten in der Schweiz nicht gegeben, während ein Gentransfer bei Luzerne und verschiedenen Gräserarten in erheblichem Ausmass stattfinden kann (siehe Tab. 3).

- *zwischen transgenen und konventionell gezüchteten Sorten*

Mit einem grossflächigen Anbau transgener Sorten werden je nach Kulturart neue Probleme auf Züchter, Saatgutvermehrung und den landwirtschaftlichen Erzeuger zukommen.

Vor allem bei fremdbestäubenden Arten wird ein Gentransfer zwischen gentechnisch veränderten und konventionell gezüchteten Sorten nicht auszuschliessen sein. In der Züchtung und der Saatgutvermehrung werden über die Einhaltung von Isolationsabständen ungewollte Fremdbestäubungen weitgehend ausgeschlossen. In der landwirtschaftlichen Praxis sind derartige Abgrenzungen nicht durchführbar. Für die Zukunft wird daher die Produktion von transgen-freien Erntegutpartien (u.a. im Biolandbau) für einige Kulturarten schwierig werden.

Selektionsvorteil - Bei einer Auskreuzung von transgenen Kulturpflanzen mit verwandten Wildarten entstehen Hybriden, die Eigenschaften beider Arten ausbilden. Transgene können auf diese Weise in neue Genpools beispielsweise von Wildartenpopulationen gelangen. Wie intensiv diese Ausbreitung aber letztendlich stattfindet, hängt davon ab, ob das Transgen einen selektiven Vorteil bietet.

- *Ausbreitung auf landwirtschaftlichen Kulturlflächen*

Eine Übertragung von Krankheits- und Schädlingsresistenzen (*konventionell oder gentechnisch gezüchtet*) auf verwandte Unkrautarten wird den Nachkommen nur dann einen Vorteil vermitteln, wenn diese auch zum Wirtsspektrum der Schaderreger gehören. Für die bisher zugelassenen transgenen Resistenzen konnte für verwandte Wildarten kein selektiver Vorteil erkannt werden.

- *Ausbreitung ausserhalb der landwirtschaftlichen Kulturlfläche*

Für Kulturarten, die eine gute Anpassung an den Standort zeigen, Wildpflanzencharakter aufweisen sowie verwandte Wildarten besitzen (beispielsweise einige Gräserarten und Luzerne) ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass sie sich ausserhalb der landwirtschaftlich genutzten Flächen ausbreiten und Hybriden durch Rückkreuzungen bilden können. Derartige Arten sind, falls sie gentechnisch verändert werden, einer genaueren Betrachtung zu unterziehen. Freisetzungen sind nur dann verantwortbar, wenn die Folgen einer Auskreuzung abschätzbar sind. Im Falle einer Übertragung von *Krankheits- und Schädlingsresistenzen* auf Wildarten kann dann ein Selektionsvorteil für diese Arten vorliegen, wenn sie ebenfalls Wirtspflanzen sind ².

Tabelle 3: Wahrscheinlichkeit eines vertikalen Gentransfers auf verwandte Wildarten für wichtige Kulturpflanzen in der Schweiz (verändert nach Ammann *et al.* 1996)

Lateinischer Name	Deutscher Name	Wahrscheinlichkeit eines vertikalen Gentransfers (Auskreuzung und Samenverbreitung)
<i>Festuca arundinacea</i>	Rohr-Schwingel	erheblich und verbreitet

<i>Festuca pratensis</i>	Wiesen-Schwingel	erheblich und verbreitet
<i>Lolium multiflorum</i>	Italienisches Raygras	erheblich und verbreitet
<i>Lolium perenne</i>	Englisches Raygras	erheblich und verbreitet
<i>Medicago sativa</i>	Luzerne	erheblich und verbreitet
<i>Lactuca sativa</i>	Salat	erheblich aber lokal
<i>Daucus carota spp. sativus</i>	Möhre	erheblich aber lokal
<i>Brassica napus</i>	Raps	niedrig und lokal
<i>Brassica rapa</i>	Rübsen	niedrig und lokal
<i>Raphanus sativus</i>	Radieschen	niedrig und lokal
<i>Cichorium intybus</i>	Zichorie	niedrig und lokal
<i>Secale cereale</i>	Roggen	minimal
<i>Triticum aestivum</i>	Weizen	minimal
<i>Cichorium endivia</i>	Endivie	minimal
<i>Brassica oleracea</i>	Kohl	minimal
<i>Trifolium pratense</i>	Rotklee	null
<i>Trifolium repens</i>	Weissklee	null
<i>Beta vulgaris</i>	Zuckerrübe	null
<i>Solanum tuberosum</i>	Kartoffel	null
<i>Lycopersicon esculentum</i>	Tomate	null
<i>Hordeum vulgare</i>	Gerste	null
<i>Zea mays</i>	Mais	null
<i>(Glycine max)</i>	(Sojabohne)	(null)

IM VERGLEICH - Transgene *versus* konventionell gezüchtete Pflanzen

Der Genaustausch und die Verdrängung heimischer Wildpflanzen stellt *kein spezielles Problem* eines Anbaus transgener Nutzpflanzen dar. Ein Gentransfer von Kulturpflanzen auf verwandte Wildarten und umgekehrt findet permanent statt. Die Einführung neuer Arten, der internationale Pflanzgutaustausch und die grossflächige Nutzung von Naturräumen durch die Landwirtschaft üben einen grossen Druck auf die heimischen Wildartenpopulationen aus. Die Gentechnik bringt hier insofern eine neue Dimension hinzu, als dass jetzt auch nicht-pflanzliche Gene in den pflanzlichen Genpool gelangen können.

Transgene Kulturpflanzen unterscheiden sich von ihren nicht-transgenen Ausgangslinien nur durch wenige Gene. Für die bisher geprüften und zugelassenen transgenen Kulturpflanzen kann nicht a priori davon ausgegangen werden, dass sie sich aufgrund der transgenen Eigenschaften zu invasiven Pflanzenspezies entwickeln.

Im Rahmen des europäischen Zulassungsverfahrens (Richtlinie 90/220 EWG) werden **im Einzelfall** je nach **Pflanzenart**, **Transgen** und **Standort** mögliche nachteilige ökologische Auswirkungen abgeklärt.

FOLGERUNGEN

Voraussetzung für eine Freisetzung ist der Ausschluss von Gefährdungen für Mensch, Tier und Umwelt. Wertvolle Hinweise zu ökologischen Auswirkungen transgener Nutzpflanzen werden aus empirischen Daten des Umweltverhaltens nicht-transgener Nutzpflanzen gewonnen. Die stufenweise Freisetzung vom Gewächshaus über kleinflächige bis hin zu grossflächigen Anbauversuchen liefert zusätzliche Informationen über das Umweltverhalten.

Die langfristigen Auswirkungen eines grossflächigen landwirtschaftlichen Anbaus nach der Marktzulassung können jedoch aufgrund der Komplexität ökologischer Wechselwirkungen nicht alleine durch die oben genannten Informationen abgeschätzt werden. Ein begleitendes ökologisches Langzeitmonitoring sollte im Sinne einer Vorsorgemassnahme auch nach der Zulassung angestrebt werden.

¹[Ammann et al. \(1996\)](#)

²Grundsätzlich müsste eine derartige Abschätzung auch für konventionell gezüchtete Sorten dieser Arten gelten.

3.2 Horizontaler Gentransfer von transgener DNA auf Bakterien und Pilze

Eines der vieldiskutierten Risiken in Bezug auf die Freisetzung von gentechnisch veränderten Pflanzen ist die Übertragung der in die Pflanzen eingebrachten Transgene auf Mikroorganismen und Pilze. Dieser Vorgang findet normalerweise unter Bakterien statt, die auf diese Weise ihre DNA austauschen und wird als Horizontaler Gentransfer (HGT) bezeichnet.

Eine mögliche Gefährdung wird dann vermutet, wenn transgene DNA nach Zersetzung im Boden oder bei der Verdauung im menschlichen oder tierischen Darm von anwesenden Mikroben aufgenommen wird und die Genprodukte zu unerwünschten Effekten führen.

FRAGE

Wahrscheinlichkeit eines HGT - Ist die Wahrscheinlichkeit eines HGT bei transgenen Pflanzen erhöht?

Ökologische Relevanz eines HGT - Welche nachteiligen Folgen sind bei einem HGT für Mensch, Tier und Umwelt zu erwarten?

STAND DER DISKUSSION¹

Wahrscheinlichkeit eines HGT - In keinem der speziell zur Detektion von HGT angelegten Versuche (Labor- und Bodenstudien) konnte ein Transfer von pflanzlicher DNA auf Mikroorganismen und deren stabile Integration bestätigt werden. Folgende Gründe werden u.a. angeführt:

- der *Abbau der DNA* zu nicht mehr funktionsfähigen Einheiten sowohl im Verdauungstrakt wie im Boden und
- das *Fehlen ausreichender Homologien* von transgenen und bakteriellen Gensequenzen.

HGT kann jedoch nicht völlig ausgeschlossen werden, denn die Voraussetzungen sind dafür in der Natur gegeben:

- Mikroorganismen sind unter bestimmten Umweltbedingungen fähig, fremde DNA aufzunehmen²,
- DNA wird bei der Verrottung des Pflanzenmaterial im Boden freigesetzt. Ein Teil der DNA kann durch Bindung an Bodenpartikel für eine gewisse Zeit überdauern und eventuell später aufgenommen werden.

Ökologische Relevanz eines HGT³ - Die Folgen eines HGT transgener DNA von Pflanzen auf Mikroorganismen sind in Abhängigkeit vom Genprodukt der übertragenen Gene zu beurteilen. Nachteilige ökologische Auswirkungen wären dann möglich, wenn beispielsweise Bodenmikroorganismen einen Selektionsvorteil mit der Expression der aufgenommenen DNA erhielten und es in der Folge zur Verdrängung anderer Arten käme. Viele bisher zur Transformation von Pflanzen verwendeten Gensequenzen sind bakteriellen Ursprungs (u.a. Antibiotika- und Herbizidresistenzen). Sie sind Bestandteil des allgemeinen DNA-Pools und standen schon immer für einen mögliche HGT zur Verfügung.

IM VERGLEICH - Transgene *versus* konventionell gezüchtete Pflanzen

Antibiotika- und Herbizidresistenzen sind unter Bakterien in Boden und im menschlichem Verdauungstrakt weit verbreitet und werden zwischen Bakterien ausgetauscht. Trotz umfangreicher Untersuchungen konnte unter natürlichen Bedingungen aber nicht nachgewiesen werden, dass bei einem Verzehr von pflanzlichen Nahrungsmitteln oder der Verrottung von Pflanzenmaterial ein Transfer dieser DNA auf Mikroorganismen stattfindet. Dass ein HGT für transgene Produkte eher zutreffen soll als für konventionell gezüchtete Pflanzen, bleibt ebenfalls **eine hypothetische Annahme**.

FOLGERUNGEN

Für die gegenwärtig zugelassenen transgenen Pflanzen und Produkte werden neue Gefährdungen basierend auf einem HGT ausgeschlossen. Zudem wird die Wahrscheinlichkeit eines HGT von transgenem Pflanzenmaterial auf Darm- und Bodenbakterien als derart gering eingestuft, dass er als nicht relevant für die Sicherheit erachtet wird.

Dennoch sollten für die Zukunft - im Sinne einer Vorsorge - folgende Massnahmen unternommen werden:

- Transgene sind derart aufzubauen, dass die Wahrscheinlichkeit eines HGT noch weiter erniedrigt wird⁴

und

- Es sollten Transgene verwendet werden, die keine nachteiligen Effekte auf Mensch, Tier und Umwelt bewirken (beispielsweise auf Antibiotika-Resistenzen verzichten, die mit Therapiemassnahmen in der Human- und Tiermedizin interferieren).

¹ [Schlüter und Potrykus \(1996\)](#)

² Wurden bei der Transformation von Pflanzen mikrobielle DNA-Sequenzen verwendet, so kann die Wahrscheinlichkeit einer homologen Integration der DNA in Mikroorganismen erhöht sein.

³ Voraussetzung für eine Beurteilung möglicher Folgen ist die stabile Integration der Gensequenz in das Genom der Mikroorganismen und deren Vererbung an Nachkommen. Dies ist bis heute noch nicht nachgewiesen.

⁴ Beispielsweise die Verwendung pflanzenspezifischer Promotoren, Introns und Sequenzen für Pro- Proteine.

3.3 Transgene virusresistente Pflanzen - die Bildung neuer Viren

Der Befall mit pflanzenpathogenen Viren kann bisher nicht oder nur indirekt durch prophylaktische Massnahmen kontrolliert werden. Die Einhaltung von Quarantänebestimmungen, die Vermehrung von virusfreiem Material bei vegetativ vermehrbaren Arten, anbautechnische Massnahmen und die chemische Kontrolle der Virusvektoren sind neben der Resistenzzüchtung wichtige Ansatzpunkte. Schon sehr früh zu Beginn des Jahrhunderts konnte eine *Prämunisierung* von Pflanzen durch eine künstliche Infektion mit schwach virulenten Viren beobachtet werden. Dieses Verfahren wurde in einigen Ländern als Schutzmassnahme intensiv eingesetzt. Die Züchtung virusresistenter Pflanzen wird jedoch als effektivste Massnahme für einen länger dauernden Schutz angesehen. Ende der 80iger Jahre wurde zum ersten Mal eine transgene virusresistente Pflanze hergestellt. In Anlehnung an das Phänomen der *Prämunisierung* wurden zur Erzeugung einer Resistenz virale Sequenzen in das pflanzliche Genom übertragen. Eine erfolgsversprechende Strategie ist die Ausbildung von viralen Hüllproteinen. In den nächsten Jahren werden die ersten derart modifizierten transgenen Sorten für den europäischen Anbau erwartet.

Pflanzen werden natürlicherweise von verschiedenen Viren befallen. Dabei können Hüllproteine und genomische virale Sequenzen zwischen den Viren bei einer Mischinfektion ausgetauscht werden. Umgibt sich ein Virus mit fremden Hüllproteinen, so wird dies als **heterologe Enkapsidierung** bezeichnet. Bei der **viralen Rekombination** werden dagegen virale Genomsequenzen zwischen den Viren ausgetauscht. Während der erste Vorgang nur während einer Virusgeneration stabil ist, kann der zweite Vorgang zu einer permanenten genetischen Veränderung bzw. Neubildung von Viren führen. Im Falle transgener Pflanzen können Rekombinationen zwischen den Genomsequenzen der integrierten viralen Transgene und infizierenden Viren möglich sein.

FRAGE

Bei einer Virusinfektion können Hüllproteine und virale Gensequenzen zwischen den Viren ausgetauscht werden. Tritt dieser Vorgang bei transgenen Pflanzen, in die virale Gensequenzen übertragen wurden, häufiger auf? Und ergeben sich daraus nachteilige Folgen für die Landwirtschaft und Umwelt?

STAND DER DISKUSSION¹

(1) *Heterologe Enkapsidierung - Pflanzliche Viren mit neuer Hülle*

Häufigkeit - Die heterologe Enkapsidierung ist ein natürlicher Vorgang und tritt bei der Mischinfektion von verschiedenen Virusstämmen auf. Dieser Vorgang ist nicht spezifisch für transgene Pflanzen. Hüllproteine können auch nicht beliebig ausgetauscht werden. In der Natur ist je nach involvierter Virusart eine heterologe Enkapsidierung bei 0.3 - 20 % der Partikel möglich. Unter Laborbedingungen konnte bei transgenen Pflanzen eine heterologe Enkapsidierung nach einer Infektion mit Wildtyp-Viren festgestellt werden.

Ökologische Folgen - Die Übertragungsart eines Virus wird vom Hüllprotein bestimmt. Durch eine heterologe Enkapsidierung kann die Übertragungsart eines Virus verändert sein. Virusarten, die bisher nicht durch Vektoren (z. B. Blattläuse) übertragbar waren, können somit vektorübertragbar werden. Eine heterologe Enkapsidierung kann folgende Effekte haben:

- eine überhöhte Übertragungsrate von Pflanze zu Pflanze,
- eine Erweiterung des Wirtskreises,
- eine erhöhte Anzahl von gemischten Infektionen und
- eine stärkere Symptomausprägung.

Dieser Vorgang kann bei transgenen Pflanzen noch verstärkt werden, wenn die exprimierten Hüllproteine

- von einem Virus stammen, der unter natürlichen Bedingungen **nicht** diese Pflanzenart infizieren würde,
- in Pflanzengewebe gebildet werden, die die zugehörige Virusart normalerweise nicht infiziert (z. B. sind bestimmte Viren auf das Leitbahnsystem beschränkt, Hüllproteine könnten aber auch im Blattgewebe exprimiert werden),
- gentechnisch derart modifiziert wurden, dass neue Hüllproteinvarianten möglich sind.

Eine heterologe Enkapsidierung tritt nur während einer Virusgeneration auf. Da das Virusgenom nicht verändert ist, werden bei der nächsten Virusgeneration wieder die arteigenen Hüllproteine gebildet. Nachteilige agronomische oder ökologische Auswirkungen mit grösserer Bedeutung werden für diesen Vorgang als nicht realistisch eingeschätzt.

(2) Virale Rekombination - Neue pflanzliche Viren

Häufigkeit - Die Bildung eines neuen Virus über die virale Rekombination ist ein natürlicher Vorgang, der bei Mischinfektionen auftreten kann. Rekombinationsereignisse waren die Basis für die Bildung der heutigen Pflanzenviren. Die Bildung neuer Viren über eine virale Rekombination ist aber ein seltenes Ereignis. Auch nach künstlichen Virusinfektionen im grossen Massstab, wie sie in der Vergangenheit bei nicht transgenen Pflanzen zur Immunisierung praktiziert wurden, konnten keine neuen Viruskrankheiten beobachtet werden.

Eine virale Rekombination kann im Labor künstlich induziert werden. In der Natur setzen sich aber neue Viren in ihren Wirtspflanzen nur durch, wenn sie gegenüber den Wildtyp-Viren einen Selektionsvorteil haben. Bei transgenen Pflanzen konnte unter speziellen Laborbedingungen eine Rekombination zwischen dem Virusgenom eines infizierenden Virus und dem *viralen Transgen* nachgewiesen werden. Dieses Ereignis wurde künstlich induziert.

Ökologische Folgen - Die Bildung neuer Viren über die virale Rekombination ist grundsätzlich möglich. Viruspopulationen bleiben jedoch relativ stabil aufgrund des Selektionsdruckes der besser angepassten Wildtyp-Viren.

- Werden in transgenen Wirtspflanzen Gensequenzen von Viren verwendet, die natürlicherweise auch diesen Wirt infizieren, so sind die Folgen einer möglichen *Rekombination vergleichbar mit denen einer natürlichen Mischinfektion*.
- Werden Gensequenzen von Viren in Pflanzen übertragen, die normalerweise nicht Wirt dieser Viren sind, so kann es bei Mischinfektionen über die Rekombination zur Bildung neuer Viren kommen. Diese neuen Viren können einen erweiterten Wirtskreis und höhere Virulenz besitzen. **Auf eine Verwendung von derartigen Sequenzen sollte möglichst verzichtet werden.** Eine Freisetzung derartig modifizierter transgener Pflanzen fand bisher nicht statt. Bisher wurden derartige Sequenzen nur in stark verkürzter Form verwendet, die keine erfolgreichen Rekombinationen erlaubte.

IM VERGLEICH - Transgene *versus* konventionell gezüchtete Pflanzen

Pflanzen werden von verschiedenen Viren befallen. Ein Austausch von Hüllproteinen (heterologe Enkapsidierung) und genomischen Sequenzen (virale Rekombination) wird bei transgenen wie auch nicht-transgenen Pflanzenarten beobachtet. Der Vorgang der heterologen Enkapsidierung tritt relativ häufig auf, ist aber nur während einer Virusgeneration (Infektionszyklus) aktiv. Die virale Rekombination führt zu einer permanenten Veränderung des jeweiligen Virus. Sie ist natürlicherweise auch die Quelle für die genetische Variation von Viren. Eine relative Homogenität der Viruspopulationen wird jedoch durch die Selektion der besser angepassten Wildtypen in der Natur erzielt.

Das tatsächliche Ausmass einer viralen Rekombination bei transgenen wie nicht-transgenen Pflanzen ist bisher nicht bekannt. Eine Rekombination konnte nur unter künstlichen Bedingungen im Labor nachgewiesen werden. Hier sind weitere Untersuchungen nötig.

FOLGERUNGEN

Die heterologe Enkapsidierung und die Rekombination viraler Genom-Sequenzen sind Vorgänge, die auch natürlicherweise in Pflanzen bei Mischinfektionen vorkommen. Werden zur Erzeugung von Virusresistenz virale Sequenzen in die Pflanze übertragen, kann die Bildung neuer Viren durch einfache technische Vorsichtsmaßnahmen verhindert werden:

- Es hat sich gezeigt, dass für die Ausbildung einer Virusresistenz *keine vollständigen viralen Gensequenzen* nötig sind. Daher empfiehlt sich die Verwendung von modifizierten viralen Sequenzen, die keine erfolgreiche virale Rekombination und damit die Bildung neuer Viren erlaubt.
- Es sollten keine Gensequenzen von Viren übertragen werden, die natürlicherweise nicht die transgene Pflanzen als Wirtspflanze befallen.

Die Veränderung des pflanzlichen Genoms durch Einführung viraler Gensequenzen stellt eine neue Dimension in der Pflanzenzüchtung dar. Derartige artüberschreitenden Genomveränderungen werden in der

pflanzeigener Abwehrmechanismen (z.B. Hypersensitivitäts-Reaktionen) sollten daher ebenfalls weiterverfolgt werden.

¹ Farinelli und Malnoë (1996) 3.4 Effekte auf Nicht-Zielorganismen¹

Grundsätzlich wird mit der landwirtschaftlichen Nutzung in natürliche Ökosysteme eingegriffen. Ziel einer umweltverträglichen Landbewirtschaftung sollte es daher sein, nachteilige Effekte dieses Eingriffs möglichst zu minimieren. Die einzelnen pflanzenbaulichen Massnahmen wie beispielsweise die verschiedenen Pflanzenschutzstrategien sind an dieser Zielsetzung zu messen. Neue Resistenzen wie sie die Gentechnik anbietet, sind beispielsweise danach zu bewerten wie **zielgerichtet** sie die Schaderreger kontrollieren².

Vor einer Freisetzung transgener Pflanzen ist daher für die jeweiligen resistenzvermittelnden Genprodukte eine Abklärung von nachteiligen Auswirkungen auf Nicht-Zielorganismen (beispielsweise auf Nützlinge wie Bienen oder Mykorrhiza) vorzunehmen.

Bisher liegen nur wenige Untersuchungen zu möglichen Folgen auf Nicht-Zielorganismen vor. Im Rahmen der Abklärung nachteiliger Effekte kann immer nur eine repräsentative Auswahl an Testorganismen untersucht werden. Grundsätzlich besteht auf diesem Gebiet noch ein grosser Forschungsbedarf.

¹ Viele der derzeit diskutierten neuen Resistenzstrategien befinden sich noch in der Grundlagenforschung. Die Überprüfung möglicher nachteiliger Effekte auf Nicht-Zielorganismen befindet sich daher noch am Anfang.

² Insect tolerant maize. Possibilities and limitations of safety evaluation in biological systems. P.Ahl Goy, CIBA Ltd., Proceedings [Safety of transgenic crops. Environmental and agricultural considerations](#), Oktober 1995, BATS, Basel.

4 Auswirkungen auf Pflanzenzüchtung und genetische Ressourcen

Das Ziel der Pflanzenzüchtung ist die Entwicklung neuer Pflanzensorten. Neue Resistenzen gegenüber Krankheiten und Schädlingen, verbesserte standortangepasste Leistungsfähigkeit und neue Qualitäten für den Nahrungs- und Nicht-Nahrungsbereich sind wichtige Zuchtziele und Antrieb für einen stetigen Sortenwechsel.

In der Schweiz werden Sorten in- und ausländischer Herkunft eingesetzt. Die Züchtung neuer Sorten umfasst in der Schweiz nur wenige Kulturarten, wie Getreide- und Futterpflanzenarten. Die Resistenzzüchtung, vor allem gegenüber pilzlichen Schaderregern nimmt einen hohen Stellenwert ein¹. Das in- und ausländische Zuchtmaterial wird im konventionellen wie im biologischen Landbau eingesetzt. In der Schweiz beschränkt sich der Einsatz der Gentechnik gegenwärtig auf die Grundlagenforschung. Hohen Stellenwert hat die Aufklärung pflanzlicher

Resistenzmechanismen, die Entwicklung genetischer Marker für pflanzliche Resistenzen und die Resistenzzüchtung gegenüber Viren und Pilzen.

FRAGE

Welche Veränderungen sind mit dem Einsatz der Gentechnik für die Pflanzenzüchtung zu erwarten?

STAND DER DISKUSSION²

Genpool - Die Pflanzenzüchtung ist auf die genetische Vielfalt angewiesen. Neue Sorten werden durch Neukombination des vorhandenen Zuchtmaterials (z.B. Zucht- und Landsorten oder Wildmaterial) geschaffen. Die Erhaltung der Ausgangsbasis als Genreservoir ist für den Züchter von grosser Wichtigkeit und in seinem Interesse. Mittels der Gentechnik ist es möglich, auch Resistenzgene aus dem artfremden pflanzlichen wie nicht-pflanzlichen Genpool zu nutzen. Es findet dadurch eine Erweiterung des zur Verfügung stehenden Genpools statt.

Effizienz - In der klassischen Züchtung werden zur Kombination gewünschter Merkmale vollständige Genome miteinander gekreuzt. Dabei wird auch unerwünschtes Genmaterial miteingekreuzt, das mittels arbeits- und zeitaufwendiger Rückkreuzungen wieder ausselektioniert werden muss. Bei Anwendung gentechnologischer Methoden werden nur noch die gewünschten Zielgene in die Pflanze eingeführt.

Dauerhaftigkeit von Resistenzen - Der Einsatz monogen bedingter Resistenzstrategien ist gegenüber bestimmten Schaderregern nicht sinnvoll. Beruhen Resistenzen nur auf einzelnen Genen, können sie vom Schaderreger leicht überwunden werden. Vor allem bei mehrjährigen Kulturen wie Obst und Weinrebe sind monogen bedingte Resistenzen nicht erwünscht.³

Genetische Vielfalt innerhalb der pflanzen genetischen Ressourcen - Der zunehmende Rückgang der biologischen Vielfalt, d.h. der Verlust von Arten als Folge der Beeinträchtigung von Lebensräumen ist als weltweites Problem erkannt worden. Die Landwirtschaft nimmt an diesem Prozess vor allem durch folgende Faktoren teil:

- die Ausdehnung landwirtschaftlich genutzter Flächen auf Kosten von Naturräumen und
- die Intensivierung der Produktion auf den Agrarflächen mit einer weiteren Verarmung der dortigen Vielfalt an Arten und Sorten.

Eine sehr anschauliche Zusammenfassung zu den Ursachen genetischer Verarmung findet sich bei Umbach *et al.* 1996⁴ (Tab. 4).

Tabelle 4: Allgemeine Ursachen der genetische Verarmung und daraus folgende nachteilige Auswirkungen
(verändert nach Umbach *et al.* 1996)

Faktor	Nachteilige Auswirkungen
<p>(1) Artenverlust / -rückgang im Anbau</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verlust von Wildpflanzenarten allgemein • Verlust von Ackerbegleitflora • Verringerung der Zahl von Kulturarten im Anbau generell • Verengung der Fruchtfolge 	<ul style="list-style-type: none"> • Verringerung der Vielfalt der Natur; Verlust genetischer Ressourcen für die Züchtung • dito; Verlust von Öko-Nischen für Nützlinge • dito; zunehmende Abhängigkeit der Versorgung der Bevölkerung von wenigen Arten • erhöhter Schädlingsdruck und oft nachteilig für die Bodenfruchtbarkeit
<p>(2) Sortenverlust / - rückgang im Anbau</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verlust von Landrassen • Dominanz einzelner Sorten im Anbau • Verschwinden von Sorten aus der Züchtung (keine Erhaltungszüchtung, nur teilweise Konservierung) 	<ul style="list-style-type: none"> • Verlust genetischer Ressourcen für die Züchtung • erhöhter Schädlings- und Krankheitsdruck; Monopolisierung des Saatgutmarktes • dito; zusätzlich weniger Optionen für den Anbau; Verlust genetischer Ressourcen für die Züchtung

Die *genetische Verarmung* wird hier als Sammelbegriff für den Verlust von Arten, von landwirtschaftlichen Sorten im Anbau und darüber hinaus auch für den Verlust an Variabilität zwischen einzelnen Sorten verwendet.

Zuchtmethodik - Die Zuchtmethodik, d.h. ob konventionelle oder gentechnische Methoden in der Pflanzenzüchtung eingesetzt werden, wird nur indirekt Einfluss auf die genetischen Ressourcen nehmen.

Die Konzentration der Züchtung auf wenige Arten und Sorten hat unter anderem ökonomische Gründe. Ein grosser Teil der Züchtung ist privatwirtschaftlich organisiert und arbeitet daher gewinnorientiert. Mit nur einigen wenigen Kulturarten kann der Hauptteil der benötigten Menge an Nahrungs- und Futtermitteln produziert

werden. Können beispielsweise einheimische Landsorten die Ertragserwartungen nicht erfüllen, werden sie durch ertragsstärkere Leistungssorten verdrängt.

Treten international tätige Zuchtunternehmen als Saatguterzeuger auf, so wird dieser Prozess noch beschleunigt. Diese Entwicklung kann, muss aber nicht durch den Einsatz der Gentechnik verstärkt werden. Durch den Einsatz der Gentechnik können auch unbedeutendere Kulturarten und Landsorten, beispielsweise durch neue Resistenzen, wieder an Bedeutung gewinnen.

Biologischer Landbau - Im Biologischen Landbau ist der Anbau gentechnisch veränderter Sorten nach den Statuten⁵ nicht gestattet. Werden sich gentechnologische Methoden in der Züchtungspraxis durchsetzen, so müsste eine getrennte Züchtung und Saatgutvermehrung aufgebaut werden.

IM VERGLEICH - Moderne Pflanzenbiotechnologie versus Traditionelle Züchtung

Der Verlust genetischer Vielfalt ist kein spezielles Problem der Gentechnologie. Vor allem die Anforderungen des Marktes in Bezug auf Ertragsleistung, Qualitäten und Preis erklären die Dominanz bestimmter Arten und Sorten im Anbau.

Die Gentechnik besitzt sowohl das Potential die genetische Vielfalt zu erhalten und zu schonen, als auch sie zu gefährden und einzuengen. Mit der Konzentration der Züchtung in Richtung multinationaler Grossunternehmen wird die Dominanz bestimmter Sorten und Arten im Anbau zunehmen.

Die Gentechnik bietet aber auch die Chance für eine Erweiterung des zukünftigen Arten- und Sortenspektrums. Weniger bedeutende Arten könnten gezielt in einzelnen Merkmalen den agronomischen Anforderungen angepasst werden und wichtige Eigenschaften aus Land- und Zuchtsorten gezielter als bisher genutzt werden.

Die in der konventionellen Züchtung durchgeführten weiten Kreuzungen (über die Artengrenzen) erfordern bisher eine aufwendige Selektion, da unerwünschte Wildtypeigenschaften nicht einfach von Zielgenen zu trennen sind. Gentechnische Verfahren erlauben eine Übertragung der gewünschten Eigenschaften ohne die genannten negativen Begleiteffekte. Diese Nutzungsmöglichkeit kann zur Aufwertung von genetischen Ressourcen (Landsorten) beitragen.

Die Nutzung nicht-pflanzlicher Genquellen beispielsweise von Säugern, Insekten und Mikroorganismen durch die Gentechnik stellt eine *neue Dimension* in der Pflanzenzüchtung dar.

FOLGERUNGEN

Ein grosser Teil der Züchtung ist privatwirtschaftlich und arbeitet daher gewinnorientiert. Der Konzentrationsprozess in der Züchtungsbranche und im

den Anbau haben.

Eine Stärkung der öffentlichen Forschung sowie die Erhaltung der allgemeinen Zugänglichkeit zu den genetischen Ressourcen⁶ müssen wichtige Zielsetzungen der Zukunft sein.

Die Gentechnik ermöglicht auch die Nutzung des nicht-pflanzlichen Genpools. Der artüberschreitende Austausch von Erbmaterial wird aber von weiten Bevölkerungskreisen gerade für Nahrungsmittel aus ethischen Gründen abgelehnt. Diese Bedenken sollten ernst genommen werden.

¹ Fried P.M. *et al.* (1993) Möglichkeiten des Einsatzes biotechnologischer Methoden zur Erhöhung der Resistenz gegen Krankheiten und Schädlinge wichtiger Kulturpflanzen der Schweiz. Schweizerischer Nationalfonds, Bern; zu [bestellen](#) über BATS, Basel

² [Schmid *et al.* \(1996\)](#)

³ [Koller *et al.* \(1996\)](#)

⁴ in: van den Daele W. *et al.* (1996) Grüne Gentechnik im Widerstreit. Modell einer partizipativen Technikfolgenabschätzung zum Einsatz transgener herbizidresistenter Pflanzen. VCH Verlag Weinheim, ISBN 3527300805

⁵ VSBLO Richtlinien, 1992; Richtlinien für die Migros-Bio Produktion, Schweizerische Bio-Verordnung; EG-Richtlinie 2092/91; IFOAM, 1995; Verordnungsentwurf Codex Alimentarius Commission, 1995

⁶ Die Untersuchung des Einflusses der Patentierung auf die Pflanzenzüchtung war nicht Gegenstand der vorliegenden Studie.

5 Auswirkungen auf die Landwirtschaft

Die Intensivierung der Agrarproduktion in den letzten Jahrzehnten hat neben Ertragssteigerungen auch zu weitreichenden nachteiligen ökologischen Auswirkungen geführt. Die Belastung der Umwelt durch den Einsatz chemischer Hilfstoffe, wie beispielsweise Dünger und Pflanzenschutzmittel muss als sehr kritisch angesehen werden. In den letzten Jahren wurden jedoch in Europa und der Schweiz die Weichen für eine umweltschonendere Produktion durch neue Zielsetzungen in der Agrarpolitik gestellt. Mit der Ausrichtung der Landwirtschaft auf eine nachhaltige Produktion sollen Umweltbelastungen möglichst niedrig gehalten werden.

In diesem Zusammenhang ist auch das Konzept des Pflanzenschutzes neu zu überdenken. Das zur Verfügung stehende Instrumentarium von der Resistenzzüchtung über den Einsatz der Chemie bis hin zur biologischen Schädlingsbekämpfung ist jeweils auf seine ökologische Tauglichkeit zu überprüfen. Im Rahmen des Integrierten Pflanzenschutzes wird der Entwicklung krankheits- und schädlingsresistenter Sorten bereits ein hoher Stellenwert eingeräumt.

Neue Strategien in der Kontrolle von Krankheiten und Schaderregern werden Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Anbaupraxis haben. Hier wäre zu analysieren, ob sich durch das Angebot neuer, bisher nicht verfügbarer Resistenzen der Pflanzenschutzmitteleinsatz verringern lässt.

Aussagen diesbezüglich können gegenwärtig nur als Prognosen abgegeben werden. Gentechnisch veränderte krankheits- oder schädlingsresistente Sorten stehen noch nicht für den breiten landwirtschaftlichen Anbau zur Verfügung¹. Ob sich die neuen Sorten langfristig in der Praxis durchsetzen werden, wird auch entscheidend von ihren Leistungsparametern abhängen. Hierzu zählen nicht nur die neuen Resistenzen, sondern auch agronomische Eigenschaften wie beispielsweise das Ertragsniveau.

Folgende Fragen wurden im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes untersucht:

Teil A: Pflanzenbauliche Aspekte

- Welchen Beitrag kann die Gentechnik zur *Ertragssicherung* leisten?
- Sind Veränderungen bei *Anbauflächen* und der *Fruchtfolgegestaltung* zu erwarten?
- Welchen Einfluss nehmen transgene Nutzpflanzen auf den *Prozess der Resistenzbildung* von Schaderregern?

Teil B: Betriebswirtschaftliche Aspekte

- Welchen Einfluss wird der Anbau auf die *Produktionskosten* haben?
- Sind Veränderungen im *Pflanzenschutzmitteleinsatz* zu erwarten?

¹ Frühjahr 1997

5.1.1 Beitrag zur Ertragssicherung

5.1.2 Anbaufläche und Fruchtfolge

5.1.3 Anpassung der Schaderreger an die Resistenzstrategie

5.1.1 Beitrag zur Ertragssicherung

Die sehr eindrücklichen Ertragssteigerungen der letzten Jahrzehnte sind vor allem auf organisatorische, anbautechnische und züchterische Fortschritte zurückzuführen. Die Prognosen über weitere Ertragssteigerungen sind dagegen eher vorsichtig. Auch wenn das physiologische Ertragspotential noch lange nicht ausgeschöpft ist, so liegen heute die geschätzten Zuwachsraten deutlich unter jenen der Vergangenheit. Ertragszunahmen wären heute auf der Basis der verfügbaren konventionellen Sorten nur noch mit einem erhöhtem Dünger- und Pflanzenschutzmitteleinsatz zu erreichen. In Europa zeichnet sich zudem aufgrund der Nahrungsmittelüberschüsse eher eine Abkehr von zusätzlichen Intensivierungen ab. Da auch in der Schweiz in Zukunft nicht von einer steigenden Nahrungsmittelnachfrage ausgegangen werden kann,

werden sich züchterische Anstrengungen vor allem auf eine *Ertragssicherung* ausrichten.

Bislang spielte vor allem der chemische Pflanzenschutz eine wichtige Rolle bei der Ertragssicherung. Westeuropa weist weltweit den höchsten Einsatz an Fungiziden, Insektiziden und Herbiziden pro ha auf. Durch chemischen Pflanzenschutz werden derzeit ungefähr 35 % der Ernteverluste durch Krankheiten, Schädlinge und Unkräuter aufgefangen.

FRAGE

Welchen Beitrag kann die Gentechnik zu einer Ertragssicherung leisten?

STAND DER DISKUSSION¹

Unsere Kulturpflanzen werden von zahlreichen Krankheiten und Schädlingen befallen, die bei fehlenden Kontrollmöglichkeiten starke Ertragseinbußen verursachen können. Für bestimmte Kulturarten reicht die bisherige Resistenzausstattung oft nicht aus, um das gewünschte Ertragsniveau zu erreichen. Kulturarten werden zudem oft von mehreren Krankheiten und Schaderregern wie verschiedenen Pilz-, Insekten- und Virusarten gleichzeitig befallen, so dass ein sehr breites Resistenzspektrum notwendig ist. Des Weiteren werden Resistenzen durch eine Anpassung der Schaderreger wieder durchbrochen. Die Züchtung versucht daher immer wieder ein neues Resistenzspektrum anzubieten. Der chemische Pflanzenschutz leistet bislang einen wichtigen Beitrag zur Ertragssicherung, da er oft sehr effektive Alternativen anbieten kann.

In konventionellen Produktionssystemen (KONV) müssen aus wirtschaftlichen Gründen Ertragsverluste möglichst gering gehalten werden. Der Einsatz von Pflanzenschutzmassnahmen zur Ertragssicherung wird hier vor allem nach ökonomischen Kriterien getätigt.

In den Produktionssystemen Integrierte Produktion (IP) und Biologischer Landbau (BIO) hat sich der Pflanzenschutz nach den Zielen einer nachhaltigen Produktionsweise zu richten. Insbesondere der Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel ist grösstmöglich einzuschränken. Die Umsetzung ist oft mit einem höheren organisatorisch - technischen Aufwand, höheren Produktionskosten und geringerem Ertragsniveau gegenüber konventionellen Produktionssystemen verbunden. Höhere Produktpreise und die finanzieller Unterstützung des Bundes durch Direktzahlungen für ökologische Leistungen verhelfen hier zu einer teilweisen Kompensation wirtschaftlicher Nachteile.

IM VERGLEICH - Moderne Pflanzenbiotechnologie versus Traditionelle Züchtung

Anhand der in der Schweiz relevanten Schädlinge und Krankheiten wurde ein

Resistenzusstattung vorgeschlagen (Tabelle 5).

Die dort gesetzten Prioritäten orientieren sich vor allem an der Frage

Wo bieten die bisherigen Strategien zur Kontrolle von Schaderregern nicht die gewünschten Lösungen?

Beispielsweise liegen in einigen Kulturen konventionelle Resistenzen derzeit nicht im gewünschten Umfang vor, so dass entweder mit Ertragsverlusten gerechnet oder chemischer Pflanzenschutz eingesetzt werden muss.

Bemerkung: Welche Strategie² letztendlich im Einzelfall sowohl ökonomisch wie ökologisch die sinnvollste Lösung ist, kann erst in weiteren Untersuchungen geklärt werden.

Tabelle 5: Ausgewählte Ansätze für einen möglichen Beitrag der Gentechnik in der Resistenzzüchtung für wichtige Kulturpflanzen in der Schweiz (verändert nach Fried *et al.* 1993; Schmid *et al.* 1996; Wolfe *et al.* 1996; Speiser *et al.* 1996; Koller *et al.* 1996)

Kulturart	Bisherige Kontrolle der Schaderreger	Möglicher Beitrag der Gentechnik
Weizen Ertragseinbussen v. a. durch Pilzkrankheiten; Konventionelle Resistenzen vorhanden, aber nicht ausreichend.	<i>Konventionell:</i> Fungizide, Fruchtfolge <i>Bio-Landbau:</i> wirksame Alternativen zum chemischen Pflanzenschutz (PS) vorhanden, aber niedrigeres Ertragsniveau.	Resistenzen gegenüber Pilzkrankheiten.
Zuckerrübe (ZR) Bisher keine Resistenzen gegenüber Nematoden und Viren.	<i>Konventionell:</i> vorbeugende phytosanitäre Massnahmen wie Fruchtfolgegestaltung und Vektorbekämpfung bei Viren. <i>Bio-Landbau:</i> ZR hat kaum Bedeutung; mittelmässig wirksame Alternativen zum chemischen PS vorhanden.	Resistenzen gegenüber Nematoden und Viren.
Kartoffeln Ertragseinbussen vor allem durch Viren, Pilze und Insekten; keine ausreichenden Resistenzen vorhanden.	<i>Konventionell:</i> Pflanzenhygiene und zertifiziertes Saatgut zur Kontrolle von Viren; intensiver Einsatz von Fungiziden; Insektizide nur bedingt; <i>Bio-Landbau:</i> mittelmässig wirksame Alternativen zum chemischen PS vorhanden, Kupfereinsatz; <i>B.t.</i> -Präparate.	Resistenzen gegenüber Viren, Pilzen, Nematoden, Insekten.

<p>Raps Ertragseinbussen vor allem durch Insekten und Pilzkrankheiten.</p>	<p><i>Konventionell:</i> Fungizide, Insektizide, vorbeugende phytosanitäre Massnahmen wie Fruchtfolgegestaltung. <i>Bio-Landbau:</i> Raps hat kaum Bedeutung; mittelmässig wirksame Alternativen zum chemischen PS vorhanden.</p>	<p>Resistenzen gegenüber Insekten; Ersatz breitwirksamer teilweise bienengefährlicher Insektizide erwünscht.</p>
<p>Mais Keine konventionellen Resistenzen gegenüber Maiszünsler.</p>	<p><i>Konventionell:</i> wirksame biologische Schädlingsbekämpfung mittels <i>Trichogramma</i> (arbeitsaufwendig) kaum Einsatz von <i>B.t.</i>-Präparaten oder Insektiziden. <i>Bio-Landbau:</i> wirksamer Einsatz von <i>Trichogramma</i>.</p>	<p>Resistenzen gegenüber Maiszünsler, v.a. für Saatgutproduktion.</p>
<p>Apfel Bisher unzureichende Resistenzen gegen Pilzkrankheiten und Insekten.</p>	<p><i>Konventionell:</i> Nach Getreide und Reben hat der Apfel den höchsten PS-Einsatz (v.a. Fungizide, Insektizide). <i>Bio-Landbau:</i> mittelmässig wirksame Alternativen zum chemischen PS vorhanden (u.a. Nützlingsförderung, Granuloseviren, Pflanzenextrakte); Kupfereinsatz.</p>	<p>V. a. Resistenzen gegenüber Pilzen erwünscht; auf dauerhafte Resistenzen angewiesen.</p>
<p>Reben Bisher unzureichende Resistenzen gegenüber Pilzkrankheiten, Insekten und Viren.</p>	<p><i>Konventionell:</i> sehr intensiver PS-Einsatz; v.a. Fungizide; Kupfereinsatz. <i>Bio-Landbau:</i> mittelmässig wirksame Alternativen zum chemischen PS vorhanden; hoher Kupfereinsatz; Einsatz von <i>B.t.</i>-Präparaten.</p>	<p>V. a. Resistenzen gegenüber Pilzen und Viren erwünscht; auf dauerhafte Resistenzen angewiesen.</p>

© by BATS

FOLGERUNGEN

Die Gentechnik ist in der Landwirtschaft derart einzusetzen, dass sie der Zielsetzung einer nachhaltigen³ Pflanzenproduktion genügt. Ein Einsatz der Gentechnologie in der Resistenzzüchtung wäre vor allem sinnvoll, wenn

aus pflanzenzüchterischer Sicht

- die konventionelle Züchtung in ihrer Effizienz unterstützt wird (u.a. Markergestützte Selektion) und

nicht oder nur schwer mit anderen Zuchtzielen kombiniert werden können;

aus ökologischer Sicht

- ökologisch nachteilige chemische Pflanzenschutzmittel ersetzt werden können,
- die gegenwärtigen Alternativen einschliesslich physikalischer oder biologischer Kontrollmöglichkeiten ökologisch unvorteilhafter wären;

aus ökonomischer Sicht⁴

- das Betriebseinkommen verbessert werden kann. Dies wäre dann der Fall, wenn das Ertragsniveau der bisherigen Produktion auch bei Verzicht auf die jeweilige chemische Pflanzenschutzmassnahme erreicht oder Ertragsverluste durch bisher nicht kontrollierbarer Krankheiten und Schädlinge kompensiert werden.

5.1.2 Anbaufläche und Fruchtfolge

Die Auswahl einer Kulturart oder Sorte wird durch ihre Anbauwürdigkeit (Rentabilität) bestimmt. Die Rentabilität einer Sorte hängt von vielen Faktoren ab. Resistenzen spielen neben agronomischen und ökonomischen Gesichtspunkten eine wichtige Rolle.

FRAGE

Sind durch das Angebot neuer (gentechnisch erzeugter) resistenter Sorten Veränderungen bei den Anbauflächen und der Fruchtfolgegestaltung zu erwarten?

STAND DER DISKUSSION⁵

Anbaufläche - Grundsätzlich wird die Anbaufläche einer Kulturart von natürlichen, technischen, ökonomischen und politischen Rahmenbedingungen bestimmt. Die lokalen Standortverhältnisse entscheiden primär über die Eignung als Anbaufläche einer bestimmten Kulturart. Durch neue technische Verfahren kann sich die Anbauwürdigkeit einer Kultur zugunsten einer anderen verändern, wenn beispielsweise Produktionskosten eingespart werden. Entscheidend ist aber letztendlich das Angebotsverhalten der Produzenten und das Nachfrageverhalten der Konsumenten. Während Preise, Produktionskosten sowie Mengen- und Flächenkontingente für das Angebot eine wichtige Rolle spielen, sind es auf der Nachfrageseite die Konsumentenpreise und der Wunsch nach bestimmten Produktqualitäten.

Neue Sortenresistenzen gegenüber Krankheiten und Schädlingen können für den Produzenten wie den Konsumenten neue Optionen bieten:

- Können im Fall neuer (gentechnisch erzeugter) Resistenzen Kosten für Pflanzenschutzmittel und Ausbringung eingespart werden oder sind Mehrerträge durch die Bekämpfung bisher nicht kontrollierbare Schaderreger möglich, so hätte dies günstige Auswirkungen auf Angebotsmenge und Produktpreise. Diese Effekte müssen aber angesichts einer zunehmenden Liberalisierung der Agrarmärkte verbunden mit einem sinkendem Preisniveau für Ackerfrüchte als gering eingeschätzt werden.
- Sollte durch einen Anbau transgener Nutzpflanzen eine geringere Belastung mit chemischem Pflanzenschutz für Endprodukt und Umwelt nachweisbar sein, so könnte dies *positive Auswirkungen* auf die Nachfrage bei bestimmten Käufergruppen haben. Vorauszusetzen wäre jedoch die Akzeptanz eines Einsatzes gentechnologischer Methoden.

Fruchtfolge - Fruchtfolgen werden aus *phytosanitären Gründen* und zur Erhaltung der *Bodenfruchtbarkeit* eingehalten. Der Wechsel von Kulturarten am Standort wirkt positiv auf die Regulation von Schaderregern und Unkräutern. Für bodenbürtige Schaderreger wie beispielsweise Nematoden ist die Einhaltung einer Fruchtfolge oft die einzig praxisrelevante Kontrollmethode. Im Biologischen Landbau ist die Einhaltung von Fruchtfolgen eine der wichtigsten Massnahmen zur Kontrolle von Krankheiten und Schädlingen.

Bietet die Züchtung Sorten mit Resistenzen gegenüber Schaderregern an, die vorher nur über die Fruchtfolgegestaltung zu kontrollieren waren, wäre ein Fruchtwechsel aus phytomedizinischer Sicht nicht mehr nötig. Höhere Fruchtfolgeanteile und damit eine verstärkte Entwicklung in Richtung Monokulturen wären möglich. Dies würde vor allem für Resistenzen gegenüber Nematoden und anderen bodenbürtigen Schaderregern (beispielsweise bei Zuckerrüben, Kartoffeln und Raps) zutreffen. Hier wären aber *wichtige Einschränkungen* zu treffen:

- Schon jetzt werden in den Richtlinien zur Integrierten Produktion *maximale Fruchtfolgeanteile* bei bestimmten Kulturarten vor allem zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit vorgegeben

und

- Anbauflächen können *nicht beliebig* ausgedehnt werden. Theoretisch liesse sich die Anbaufläche nur für Weizen- (keine mengenmässige Absatzeinschränkungen) und Kartoffeln (Anbauverträge) weiter ausdehnen, jedoch kaum die von Mais (Beschränkung auf Rindviehbetriebe, maximale Ausdehnung weitgehend erreicht) sowie von Zuckerrüben und Raps (Mengenkontingente).

Biologischer Landbau - Im Biologischen Landbau gibt es für bestimmte Kulturarten wie Kartoffel und Obst *keine oder nur gering wirksame* Kontrollmöglichkeiten gegenüber Krankheiten und Schaderregern⁶. Neue Sortenresistenzen sind daher erwünscht. Der Einsatz gentechnologischer Methoden ist jedoch generell nicht erlaubt.

IM VERGLEICH - Landwirtschaft mit versus ohne den Einsatz der Gentechnik

Neue Resistenzen können die Rentabilität einer Kulturart erhöhen. Dies kann zu höheren Fruchtfolgeanteilen und zu einer Ausdehnung von Anbauflächen führen. Grundsätzlich ist aber nicht zu erkennen, warum eine Resistenz, die gentechnisch erzeugt wurde, andere agronomische Effekte verursachen soll, als eine konventionell erzeugte Resistenz. Gentechnisch erzeugte Resistenzen führen nicht *per se* zu einer Verschärfung nachteiliger agronomischer Auswirkungen.

FOLGERUNGEN

Das Angebotsverhalten der landwirtschaftlichen Produzenten und das Nachfrageverhalten der Konsumenten wird die zukünftige Anbaufläche bestimmen. Gegenwärtig zeichnet sich ab, dass es nicht zu einem durchdringenden Anbau transgener Pflanzen kommen wird. Zum einen besteht nicht immer der agronomische Bedarf für die jeweilige Resistenz, zum anderen dürften auch in Zukunft gentechnik-freie Endprodukte nachgefragt werden.

Im Rahmen der Gestaltung eines Einsatzes transgener Sorten in der Integrierten Produktion ist möglichen nachteiligen Auswirkungen (beispielsweise Verengung der Fruchtfolge) durch entsprechende Richtlinien entgegenzuwirken.

5.1.3 Anpassung der Schaderreger an die Resistenzstrategie

Immer wieder überwinden pflanzliche Schaderreger die jeweiligen Sortenresistenzen. Der Sortenwechsel ist daher eine übliche Massnahme in der Landwirtschaft. Fruchtfolgegestaltung oder Sortenmischungen sind anbautechnische Massnahmen, die dazu dienen, den Anpassungsprozess der Schaderreger zu verzögern.

FRAGE

Welchen Einfluss nehmen transgene Nutzpflanzen auf den Prozess der Resistenzbildung von Schaderregern?

STAND DER DISKUSSION⁷

Ob in der Züchtung konventionelle oder gentechnologische Methoden eingesetzt werden, spielt für die Resistenzbildung keine Rolle. Vielmehr sind die zugrunde liegende Resistenzstrategie und die Anbaubedingungen entscheidend. Die Intensität eines Anbaus, die Grösse der Anbaufläche und der Anteil der betreffenden Kulturart in der Fruchtfolge bestimmen den Selektionsdruck. Sind zudem die Resistenzen nur monogen ausgeprägt, so kann eine Resistenz um so schneller überwunden werden. Gegenwärtig basieren die Resistenzen transgener Pflanzen noch auf einem oder wenigen Genen bzw. Genprodukten. Diese sind insbesondere für Dauerkulturen nicht geeignet. *Indirekt* kann die Gentechnik den Anpassungsprozess von Schaderregern dann intensivieren, wenn durch neue Resistenzstrategien eine Anbauausdehnung und -intensivierung stattfindet. Hier sei beispielsweise auf neue Resistenzen gegenüber Krankheiten hingewiesen, die bisher nur mit einem Fruchtwechsel kontrolliert werden konnten.

Durch eine Auskreuzung und erfolgreiche Expression der Resistenzgene bei verwandten Wildarten, die ebenfalls Wirtspflanzen des Schaderregers darstellen, kann der Selektionsdruck noch erhöht werden.

Fallbeispiel *Gentechnisch erzeugte Insektenresistenz auf Basis von B.t.-Proteinen*:

In der Biologischen Schädlingsbekämpfung werden *B.t.*-Präparate seit langer Zeit eingesetzt. Aufgrund der kurzen Wirkungszeit der Präparate ist der Resistenzdruck relativ gering. Aus der Praxis sind bisher kaum Resistenzen bekannt. Ein grossflächiger Anbau von transgenen Nutzpflanzen, deren Resistenz auf einer Dauerausdrückung des *B.t.-Proteins* beruht, kann den Selektionsdruck und damit die Resistenzentwicklung der Schadinsekten fördern.

IM VERGLEICH - Landwirtschaft mit *versus* ohne den Einsatz der Gentechnik

Die Entwicklung von resistenten Schaderregern hängt **nicht** von der Methode der züchterischen Bearbeitung (gentechnisch oder konventionell) einer Kulturpflanze, sondern vor allem von der Resistenzstrategie (u.a. monogen oder polygen), der Biologie des Schaderregers und den Anbaubedingungen ab.

Resistenzdurchbrüche sind aus der konventionellen Züchtung bekannt und u. a. auch Grund für einen Sortenwechsel.

Ein effektives Resistenzmanagement war bisher in der landwirtschaftlichen Praxis nicht durchführbar.

Der durch die Gentechnik verursachte weit verbreitete Einsatz von Proteinen aus *Bacillus thuringiensis* in der Resistenzzüchtung wird gegenwärtig sehr kontrovers diskutiert.

Dieses Protein wurde bisher mit grossem Erfolg als Bakterienpräparat in der biologischen Schädlingsbekämpfung angewendet. Es wird befürchtet, dass durch die breite Einführung dieser Strategie in transgene Sorten Resistenzen provoziert werden und damit der Einsatz dieser vor allem im Biologischen Landbau wichtigen und oft einzigen Alternative in Zukunft nicht mehr möglich sein wird.

FOLGERUNGEN

Sortenresistenzen werden immer wieder von pflanzlichen Schaderregern überwunden. Um einer zu schnellen Anpassung von Seiten der Schaderreger vorzubeugen wird schon seit langem ein *Resistenzmanagement* gefordert. Dieses kann nur dann erfolgreich sein, wenn sich sowohl die Pflanzenzüchtung als auch die landwirtschaftliche Anbautechnik danach ausrichtet. An dieser Stelle seien nur beispielhaft folgende Ansätze erwähnt:

Forderungen an die Pflanzenzüchtung

- Entwicklung von Resistenzstrategien, die vorsorglich nicht nur auf der Basis einzelner Resistenzgene aufbauen (z.B. Pyramidisierung verschiedener

- wird besonderer Wert auf dauerhafte Resistenzen gelegt.
- Eine zeitlich und lokal beschränkte Expression des resistenzvermittelnden Genproduktes ist einer Dauerausdrückung vorzuziehen.

Forderung an die Anbautechnik

- Ein Teil der Anbaufläche ist für nicht transgene Sorten zu reservieren, welcher als *Refugium* (Überlebensraum) für die Schaderreger dient. Diese Strategie wird im Ausland bereits versuchsweise angewendet.

¹ [Schmid et al. \(1996\)](#)

² z.B. Einsatz resistenter Sorten (Gentechnik und Konventionelle Züchtung), chemischer Pflanzenschutz, vorbeugende phytosanitäre Massnahmen oder biologische Kontrolle.

³ [siehe Kapitel 6](#)

⁴ [siehe Kapitel 5.2](#)

⁵ [Schmid et al. \(1996\)](#), [Pezzatti et al. \(1996\)](#)

⁶ [Speiser et al. \(1996\)](#)

⁷ [Blatter und Wolfe \(1996\)](#)

5.2 Betriebswirtschaftliche Auswirkungen

Ein wichtiger Untersuchungsbereich der Folgenabschätzung befasste sich mit möglichen betriebswirtschaftlichen Auswirkungen eines Anbaus krankheits- und schädlingsresistenter Sorten.

Folgende Fragen standen dabei im Vordergrund:

(1) Welchen Einfluss wird der Anbau transgener Nutzpflanzen auf die *Produktionskosten*, die *Produktionsmenge* und das *Betriebseinkommen* haben?

(2) Sind aus ökonomischer Sicht Veränderungen im *Pflanzenschutzmitteleinsatz* zu erwarten?

Die Analyse wurde auf der Basis eines hypothetischen Sortenspektrums vorgenommen, das auf einer sehr optimistischen Einschätzung des zukünftigen Potentials der Pflanzenbiotechnologie beruht (Tabelle 6).

5.2.1 Betriebseinkommen und Pflanzenschutzmitteleinsatz

Transgene krankheits- und schädlingsresistente Sorten werden in der Schweiz bisher nicht angebaut. Sollen mögliche Auswirkungen eines Anbaus im Vorfeld der

Praxiseinführung analysiert werden, kann dies nur auf der Basis von *Modellrechnungen* realisiert werden. Zahlreiche Annahmen waren hier zu treffen. Aussagen über mögliche betriebswirtschaftliche Auswirkungen sind daher nur im Zusammenhang mit diesen Annahmen gültig.

In der Analyse wurden die folgenden landwirtschaftlichen Produktionssysteme¹ vergleichend untersucht:

- (1) Biologischer Landbau (BIO)
- (2) Konventioneller Landbau (KONV)
- (3) Integrierte Produktion (IP)
- (4) Konventioneller Landbau mit Gentechnik
- (5) Integrierte Produktion mit Gentechnik.

Tabelle 6: Annahmen für die betriebswirtschaftliche Analyse möglicher Effekte eines Einsatzes transgener Nutzpflanzen
(verändert nach Pezzatti *et al.* 1996)

Zielvorgabe	maximaler Deckungsbeitrag
Betriebstypen	a) Normalbetrieb (typischer Milchviehbetrieb der Talzone mit Ackerbau b) Ackerbaubetrieb
Anbaufläche	30 ha; Kontingente für Zuckerrüben und Raps
Produktionseinschränkungen	je nach Produktionssystem (1) bis (5) unterschiedliche Fruchtfolgeanteile
Ertragsniveau	je nach Produktionssystem (1) - (5) inkl. Subsysteme unterschiedlich
Resistenzausstattung der transgenen Nutzpflanzen	<p>Weizen: allgemeine Resistenz gegenüber Pilzkrankheiten</p> <p>Zuckerrübe: Resistenzen gegenüber Nematoden (hypothetisch) (<i>Heterodera</i>, <i>Ditylenchus</i>) und Viren (<i>Rhizomania</i>)</p> <p>Kartoffeln: Resistenzen gegenüber Pilzen (<i>Phytophthora</i>), Nematoden (<i>Globodera</i>) und Insekten (Kartoffelkäfer)</p> <p>Raps: Resistenzen gegenüber Rapsglanzkäfer, -stengelrüssler und -erdfloh</p> <p>Mais: Auf eine genauere Betrachtung von Mais</p>

	<p>wurde verzichtet, da Insektizide nur in marginalem Umfang eingespart werden können.</p> <p>Für die schweizerische Landwirtschaft haben transgene insektenresistente Maissorten in Hinsicht auf mögliche Einsparungen von chemischen PSM sehr geringe Bedeutung.</p>
<p>Agrarpolitisches Umfeld zum Betrachtungszeitpunkt: Jahr 2005</p>	<p>Agrarpolitische Szenarien*:</p> <p>(1) Agrarpolitik 2002 (Botschaft des Bundesrates, 1996)</p> <p>(2) EU-Annäherung,</p> <p>(3) EU-Beitritt.</p> <p>*Diese haben Auswirkungen auf die Höhe der Direktzahlungen, Produktpreise und Faktorkosten.</p>
<p>FRAGE</p> <p>Welchen Einfluss wird der Anbau transgener Nutzpflanzen auf die Produktionskosten und Produktionsmenge haben?</p>	

STAND DER DISKUSSION²

Produktionskosten und Produktionsmenge Durch den Einsatz gentechnisch veränderter resistenter Sorten wird im Idealfall eine chemische Pflanzenschutzmassnahme durch eine neue Sortenresistenz ersetzt. Dadurch können Kosten für das entsprechende Pflanzenschutzmittel und dessen Ausbringung eingespart werden. Unter der Annahme, dass der Saatgutpreis und die Ertragsleistung der Sorte unverändert bleiben, können folgende Auswirkungen festgestellt werden:

- **Konventionelle Produktion**

Günstigere Kostenstruktur, da durch die neue Resistenz Pflanzenschutzmittel substituiert werden, ohne dass sich das Ertragsniveau verändert.

- **Integrierte Produktion**

Chemischer Pflanzenschutz wird nach dem Prinzip der Schadschwellen eingesetzt. Je nach Befallssituation werden gegenüber der konventionellen Produktion weniger Pflanzenschutzmittel beispielsweise Insektizide oder Fungizide ausgebracht. Mögliche Kosteneinsparungen durch neue Resistenzen sind damit geringer als in der konventionellen Produktion. Es kann jedoch mit einem höherem Ertragsniveau gerechnet werden. Bisher liegt das Ertragsniveau (IP) durch den Verzicht auf chemischen Pflanzenschutz teilweise unter dem von konventionell wirtschaftenden

Betrieben. Mit dem Anbau resistenter Sorten wird in der IP gegenüber der IP ohne neue Resistenzen ein höheres Ertragsniveau erreicht. Ausserdem kann die Ertragsdifferenz zur konventionellen Produktionsverfahren teilweise kompensiert werden.

- **Biologischer Landbau³**

Das Ertragsniveau liegt unter dem von *konventionell* oder *integriert* wirtschaftenden Betrieben. Viele im Biologischen Landbau angewendete Pflanzenschutzmassnahmen haben nur eine Teilwirkung, so dass es in ungünstigen Jahren zu grossen Ertragseinbussen kommen kann. Die Kontrolle von Krankheiten und Schädlingen ist oft teurer und arbeitsaufwendiger. Ständen neue (nicht-transgene) Sortenresistenzen zur Verfügung, so wären Ertragszuwächse und Kosteneinsparungen möglich.

- **Dauerkulturen⁴**

Der Apfel- und Weinbau ist sehr pflanzenschutzintensiv. Bei der Kulturart Apfel stellen Pflanzenschutzmassnahmen ungefähr 11 % der Produktionskosten dar. Neue Sortenresistenzen wären eine willkommene Alternative. Da es sich um mehrjährige Kulturen handelt, ist die Dauerhaftigkeit der neuen Sortenresistenzen jedoch sehr wichtig.

Effizienz der schweizerischen Agrarwirtschaft - Werden die Produktionskosteneinsparungen für den ganzen Agrarsektor aggregiert, verbessert sich die Wettbewerbsfähigkeit bzw. die Effizienz der Schweizerischen Landwirtschaft. Die schweizerische Agrarproduktion ist jedoch unter den heutigen Rahmenbedingungen im Vergleich zur Agrarproduktion im Ausland bei den meisten Agrargütern nicht konkurrenzfähig. Vielfältige Ursachen spielen hier eine Rolle. Die ungünstigen geographischen Verhältnisse, die kleinen Betriebsstrukturen und die Wettbewerbsverzerrungen durch staatliche Intervention wären hier unter anderem zu nennen.

Mit der Liberalisierung des Aussenhandels wird den Druck auf das Preisniveau für Agrargüter weiter steigen und Senkungen bei den Produktionskosten unumgänglich werden. Die Nutzung des biologisch -technischen Fortschrittes in der Pflanzenzüchtung, insbesondere die Auswahl ertragssicherer Sorten wird daher an Bedeutung gewinnen.

FRAGE

Welchen Einfluss hat der Einsatz gentechnisch veränderter Nutzpflanzen auf das Betriebseinkommen und die Effizienz der Agrarwirtschaft?

STAND DER DISKUSSION⁵

Der bisherige technische Fortschritt in der Pflanzenzüchtung bewirkt einen jährlichen Ertragszuwachs von ungefähr 0.8 %. Gentechnisch veränderte Sorten werden kurz- bis mittelfristig und vor allem in hiesigen Anbauregionen an dieser Situation kaum

etwas ändern. Für neue Resistenzen steht eher die *Ertragssicherung bei Substitution von chemischem Pflanzenschutz* als die Ertragssteigerung im Vordergrund.

Betriebseinkommen - Der leicht einkommenssteigernde Effekt von Fortschritten in der Pflanzenzüchtung wird jedoch von Auswirkungen sich verändernder wirtschaftlicher und (agrar-)politischer Rahmenbedingungen stark überlagert. Die Anpassung an die WTO-Vereinbarungen bzw. die Annäherung an die europäische Agrarpolitik wird zu sinkenden Produktpreisen führen. Gleichzeitig wird der Umfang und die Bedeutung von Direktzahlungen für den Einzelbetrieb zunehmen. Die einkommensergänzenden Beiträge werden immer mehr an ökologische Leistungen gebunden werden, so dass IP- und BIO-Betriebe weit mehr Beiträge erhalten als konventionell wirtschaftende Betriebe. Es lässt sich für die jeweiligen Produktionsverfahren somit festhalten:

- **Konventionelle Produktion**

Die konventionelle Produktion lohnt sich unter den zukünftigen wirtschaftlichen und agrarpolitischen Rahmenbedingungen nicht mehr. Das Kosteneinparungspotential durch neue resistente Sorten ist marginal gegenüber den Zuwendungen des Bundes für eine Umstellung auf IP und BIO.

- **Integrierte Produktion**

In der Integrierten Produktion ist der Anbau transgener Nutzpflanzen bei Kulturen ohne einschränkende Kontingente (Kartoffel und Weizen) unter den getroffenen Annahmen *lohnenswert*. Der Einkommenseffekt ist jedoch relativ gering.

- **Biologischer Landbau**

Aufgrund nicht ausreichender alternativer Kontrollmöglichkeiten sind neue Resistenzen vor allem in Spezialkulturen (Reben, Beeren, Stein- und Kernobst, einige Gemüsearten und Kartoffeln) wünschenswert. Ertragssteigerungen und eine erheblichen Verbesserung des Betriebseinkommens wären möglich⁶.

FRAGE

Führt der Einsatz gentechnisch veränderter Nutzpflanzen zu einer Verminderung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes?

STAND DER DISKUSSION⁷

Der Pflanzenschutzmitteleinsatz eines Betriebes ist abhängig von

- der Bewirtschaftungsform (KONV, IP oder BIO),
- der Betriebsart (Ackerbau- oder Milchviehbetrieb),
- der Auswahl der Kulturarten und Sorten in der Fruchtfolge und
- den politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen (Agrarpolitik 2002, EU-Annäherung oder EU-Beitritt).

Situation - Einzelanwendungen in der Kultur (Fungizide und Insektizide)

Wird durch die Gentechnik eine Resistenz gegenüber einem Schaderreger erzeugt,

der vorher nur chemisch kontrolliert werden konnte, so wird durch den Anbau der resistenten Sorte diese *Behandlung eingespart*.

Situation - Totalanwendungen eines Betriebes (Herbizide, Fungizide, Insektizide)

Wird die PSM-Belastung pro Jahr und Betrieb (Aufsummierung aller Behandlungen) ermittelt, lassen sich zwei Situationen darstellen:

- Bleiben Anbauflächen und Anbaubedingungen unverändert, so wird die Anzahl aller PSM-Behandlungen pro Jahr um genau die durch die transgene Sorte eingesparten PSM-Behandlungen **vermindert**.
- Verändern sich die Anbauflächen (z.B. wird die Anbaufläche transgener Kulturarten ausgedehnt), so entscheidet die Pflanzenschutzintensität der einzelnen Kulturen (einschliesslich Herbizide), ob Veränderungen bei den PSM-Behandlungen eintreten. Hier ergeben sich je nach Bewirtschaftungsform, Betriebsart und Anbauverfahren **Zu- oder Abnahmen⁸** in der Anzahl der PSM-Behandlungen⁹.

IM VERGLEICH - Landwirtschaft mit versus ohne den Einsatz der Gentechnik

Durch den Anbau gentechnisch veränderter krankheits- und schädlingsresistenter Sorten können *Produktionskosten eingespart* werden. Der Anteil der PSM-Kosten an den totalen Produktionskosten liegt im Durchschnitt bei **ungefähr 1%**.

Das Kosteneinsparungspotential und der daraus resultierende Einkommenseffekt ist daher sehr gering.

In Bezug auf PSM-Einsparungen erweist sich eine Umstellung von der Konventionellen Produktion auf IP oder BIO als wirksamere Massnahme. Für einen Betrieb ist es gegenwärtig zudem ökonomisch reizvoll von der konventionellen Produktion auf IP und BIO umzustellen, da hohe Transferzahlungen von Seiten des Bundes für ökologische Leistungen zu erwarten sind.

Festzuhalten bleibt:

- Neue Resistenzen gegenüber Schädlingen und Krankheiten sind ökologisch sinnvoll, weil sie den Landwirten die Einsparung des entsprechenden Insektizides oder Fungizides ermöglichen.
- Neue Resistenzen sind auch ökonomisch sinnvoll, weil sie Ertragsverluste verhindern bzw. Erträge sichern. Das Kosteneinsparungspotential und der Einkommenseffekt sind jedoch gering.

FOLGERUNGEN

Im Sinne des Integrierten Pflanzenschutzes ist eine Kontrolle von Schaderregern unter Nutzung aller verfügbaren Methoden nach den Kriterien der Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit zu verfolgen. Pflanzenschutz ist nicht als isolierte Einzelmassnahme zu betrachten, sondern sollte *eingebettet* sein in die

Resistenzzüchtung sind an dieser Zielsetzung zu messen.

Die Verminderung *ökologisch nachteiliger chemischer Hilfsstoffe* sollte eine wichtige Beurteilungsgrösse sein.

Die Liberalisierung der Agrarmärkte wird den Druck in Richtung Kosteneinsparungen für die Betriebe erhöhen. Die Nutzung des biologisch-technischen Fortschritts in der Pflanzenzüchtung, zu der im Einzelfall auch der Anbau transgener Sorten gehören kann, wird die Konkurrenzfähigkeit eines Betriebes verbessern.

¹ Die Produktionssysteme (4) und (5) wurden zusätzlich in jeweils 5 Subsysteme unterteilt, je nachdem, ob in einer Fruchtfolge alle oder nur einzelne Kulturarten gentechnisch verändert wurden.

² [Pezzatti et al. \(1996\)](#)

³ [Speiser et al. \(1996\)](#)

⁴ [Koller und Gessler \(1996\)](#), [Koller et al. \(1996\)](#)

⁵ [Pezzatti et al. \(1996\)](#)

⁶ [Speiser et al. \(1996\)](#)

⁷ [Pezzatti et al. \(1996\)](#)

⁸ Die Gesamtzahl der Behandlungen wird in einem hohen Masse von der Auswahl der Kulturen und vom Verhältnis **bebauter zu unbebauter Fläche** bestimmt. Aus einem hohen Anteil an Bracheflächen beispielsweise resultiert gesamtbetrieblich gesehen ein niedrigeres Niveau an PSM-Behandlungen. Wird Brachfläche wieder in Anbaufläche umgewandelt, wird auch die Gesamtzahl an Behandlungen wieder steigen.

⁹ Es ergeben sich einzelbetriebliche Situationen, wo **Einsparungen bei Insektiziden oder Fungiziden** durch **erhöhte Aufwendungen bei Herbiziden** wieder kompensiert werden. Für die Beurteilung einer nachhaltigen Betriebsführung im Bereich Pflanzenschutz sagt die alleinige Erfassung des mengenmässig reduzierten Pestizideinsatzes jedoch wenig über die **ökologische Qualität der angewendeten Pflanzenschutz-Strategie** aus. Hier gilt es, zu überprüfen, ob umweltschädliche Wirkstoffe vermindert werden konnten.

6 Beitrag der Gentechnik zu einer nachhaltigen Landwirtschaft

Die *Nachhaltige Entwicklung* soll zu einem Leitbild für die zukünftigen nationalen und globalen Handlungsstrategien werden. Diese Zielsetzung wurde in einem Abschlussdokument der Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung 1992 in Rio noch einmal bekräftigt und alle Länder aufgerufen, einen Aktionsplan für die nachhaltige Entwicklung ihrer Volkswirtschaften zu erarbeiten. Angesichts der sich häufenden globalen Umweltprobleme ist erkannt worden, dass neues Denken und Handeln notwendig wird. Hier gilt es, so schnell wie möglich eine Entwicklung einzuleiten, welche die heutigen Bedürfnisse zu decken vermag, ohne die Lebensgrundlage für künftige Generationen zu schmälern¹.

Das Leitbild einer *Nachhaltigen Produktion* ist gleichermaßen geprägt von ökonomischen, ökologischen und sozialen Komponenten. Es wurde erkannt, dass eine nachhaltige Entwicklung nur im Zusammenwirken von sozialer Solidarität, wirtschaftlicher Effizienz und ökologischer Verantwortung gelingen kann. Dieses *magische Dreieck* gilt es durch konkrete Kriterien auszugestalten.

Die schweizerische Landwirtschaft befindet sich bereits in einer umfassenden Reform. Die konsequente Umstellung auf eine marktorientierte und umweltschonende Landwirtschaft wurde bereits 1992² eingeleitet und befindet sich mit dem Agrarpaket *Agrarpolitik 2002* in der zweiten Reformetappe. Die Landwirtschaft hat wichtige allgemeine Zielsetzungen zu erfüllen:

- die langfristige Sicherstellung der Versorgung mit Nahrungsmitteln,
- den Schutz und Verbesserung der natürlichen Ressourcen und
- ein akzeptables Einkommen für die in der Landwirtschaft Erwerbstätigen.

Der Beitrag neuer Technologien wie die Gentechnik ist an diesen Zielsetzungen zu messen. Dies erweist sich gegenwärtig noch als recht schwierig. Zum einen liegt noch *keine verbindliche Auslegung der drei Nachhaltigkeitskomponenten* in Form von Kriterien vor, zum anderen befinden sich viele potentielle Einsatzmöglichkeiten der Gentechnologie noch in der *Grundlagenforschung*.

FRAGE

Ist ein Einsatz der Gentechnik mit den Zielsetzungen einer nachhaltigen Produktion vereinbar?

STAND DER DISKUSSION³

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde der Beitrag gentechnisch veränderter Nutzpflanzen in einem *ersten Ansatz* nach dem Konzept der Nachhaltigkeit modellhaft analysiert. Für die drei Dimensionen Ökonomie, Ökologie und soziale Verträglichkeit wurde ein Kriterienkatalog aufgestellt, der als Basis für eine qualitative Bewertung diene.

Ziel war es, den gentechnologischen Ansatz mit den bisherigen Alternativen zu vergleichen. Wichtige Kriterien für die ökonomische Dimension waren u.a. Produktionskosten, Preise, Betriebseinkommen und volkswirtschaftliche Effizienz. Die ökologische Dimension umfasste u.a. die Pflanzenschutzmittelintensität und mögliche Gefährdungen der neuen Technologie und als Kriterien für die Sozialverträglichkeit wurden u.a. das Produzenteneinkommen, die Versorgungssicherheit, Arbeitsplätze und die Konsumentensouveränität ausgewählt.

Gemäss der Analyse sind neue Resistenzen gegenüber Krankheiten und Schädlingen nur dann gleichermaßen wirtschaftlich, ökologisch und sozial verträglich, wenn die neue Technologie gegenüber den bisherigen Alternativen keine *zusätzlichen nachteiligen Effekte erzeugt*. Nachteilige Effekte könnten beispielsweise die Erhöhung der PSM- oder Düngungsintensität oder eine weitere Abnahme der Artenvielfalt bedeuten.

Es zeigte sich aber auch, dass die Pflanzenschutzalternativen (IP, BIO) ohne Gentechnik nur dann als nachhaltig zu bezeichnen sind, wenn gleichzeitig eine schrittweise Liberalisierung des Aussenhandels und der Umbau der Agrarpolitik zu einer international wettbewerbsfähigen Landwirtschaft statt findet.

Nachhaltige Produktion ohne Gentechnik - Die schrittweise Liberalisierung des Aussenhandels und die Ausrichtung auf mehr Wettbewerbsfähigkeit sind politische Forderungen, denen sich die Landwirtschaft in Zukunft stellen muss. Die Auswirkungen eines Verzichts auf die Gentechnik für die schweizerische Landwirtschaft sind in diesem Zusammenhang noch nicht absehbar. Eine vollständige Umstellung auf den Biologischen Landbau wird vor allem aus ökonomischen Gründen als nicht realisierbar angesehen⁴. Die geringere Ertragsleistung, der hohe Bedarf an Bundesaufwendungen und die höheren Produktpreise werden als Hauptkriterien angeführt.

FOLGERUNGEN

Die zukünftige Landwirtschaft ist *marktorientiert* und *umweltschonend* auszurichten. Die Teilnahme am biologisch-technischen Fortschritt ist eine wichtige Voraussetzung dafür. Gentechnik ist derart in der Landwirtschaft einzusetzen, dass sie der Zielsetzung einer nachhaltigen Pflanzenproduktion entspricht. Dies bedeutet insbesondere für den Einsatz transgener krankheits- und schädlingsresistenter Nutzpflanzen:

- besondere Gefährdungen für Mensch, Tier und Umwelt müssen *ausgeschlossen* sein,
- eine Verstärkung nachteiliger Effekte (z.B. Abnahme der Bodenfruchtbarkeit durch eine Verengung von Fruchtfolgen oder einer Erhöhung der Gesamtbelastung an umweltschädlichen externen Hilfsstoffen als Folge einer Intensivierung des Anbaus) ist zu *verhindern*.

Die zukünftigen Aufgaben der Landwirtschaft sind nur durch ein Miteinander aller zur Verfügung stehender Strategien zu erreichen, die ausgewogen und nach Bedarf eingesetzt werden.

¹ Nachhaltige Entwicklung in der Schweiz. Interdepartementaler Ausschuss Rio (IDARio) 1996, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern

² Siebter Landwirtschaftsbericht vom 27. Januar 1992, Bern

³ [Pezzatti et al. \(1996\)](#)

⁴ [Speiser et al. \(1996\)](#)

7 Akzeptanz gentechnisch veränderter Nahrungsmittel

Wie stark sich gentechnologische Methoden in der Praxis durchsetzen werden, wird letztendlich von der Akzeptanz der Produkte abhängen. Schon jetzt ergibt sich je nach Einsatzgebiet und gentechnologischer Strategie ein sehr differenziertes Bild. Gesundheitliche Aspekte, die ernährungsphysiologische Qualität und eine

umweltschonende Produktion stellen für gewisse Käufergruppen wichtige Kriterien für eine Kaufentscheidung dar. Sollte die Gentechnologie beispielsweise einen Beitrag zur Verringerung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes leisten, so könnte dies mit einer höheren Akzeptanz der Produkte honoriert werden.

Von Käufergruppen, die die *Naturbelassenheit* eines Lebensmittels als wichtiges Kriterium für ihre Kaufentscheidung anführen, wird der Einsatz der Gentechnologie gemäss Umfragen nicht akzeptiert. Bisher wird *Naturbelassenheit* und Gentechnik als unvereinbarer Gegensatz gesehen¹. Eigenschaften wie *umweltschonend produziert, ohne chemisch-synthetische Zusatzstoffe, ohne Gentechnik* und *tiergerecht* hergestellt, werden im Zusammenhang mit *Naturbelassenheit* am häufigsten genannt. Der Biologische Landbau sieht daher das Charakteristikum *Naturbelassenheit* in Zukunft allein für seine Produkte erfüllt. Sollten sich die Konsumpräferenzen weiter in diese Richtung entwickeln, so könnte der Biologische Landbau sogar als gentechnik-freie Produktionsform davon profitieren². Da jedoch davon ausgegangen werden kann, dass die Gentechnik langfristig Einzug in viele Bereiche der Nahrungsmittelproduktion halten wird, kann es in Zukunft schwierig werden, ein Label *ohne Gentechnik* zu garantieren. Zumal eine Überprüfung für Produkte, die zwar mittels gentechnisch veränderter Organismen hergestellt wurden, aber anschliessend von diesem abgetrennt wurden, gar nicht mehr möglich ist.

FOLGERUNGEN

Konsumenten und Konsumentinnen wollen über Qualitäten und Produktionsmethoden von Nahrungsmitteln aufgeklärt werden. Eine erfolgreiche Markteinführung gentechnisch veränderter Lebensmittel wird daher davon abhängen, wie offen die Information geführt wird.

- Die Deklaration zur freien Wahl der von ihnen gewünschten Produkte ist eine wichtige Massnahme³.
- Der Nutzen *gentechnisch veränderter Nahrungsmittel* muss *im Vergleich zu den Alternativen* deutlicher gemacht werden.

¹ Biotechnologie und Lebensmittel (1996). Schweizerischer Wissenschaftsrat. Programm TA, Bern

² [Speiser et al. \(1996\)](#)

³ Mit Inkrafttreten der Lebensmittelverordnung vom 1. März 1995 wurde dies für die Schweiz bereits eingeführt.

8 Zusammenfassung

Die Gentechnik bietet neue Optionen für die Kontrolle von pflanzlichen Krankheiten und Schädlingen. Neue Resistenzen ersetzen chemische Pflanzenschutzmassnahmen und verhindern Ertragsverluste durch bisher nicht oder nur schwer kontrollierbare Krankheiten und Schaderreger.

Gentechnologische Methoden verbessern die Effizienz bisheriger Züchtungsmethoden, indem gezielt die erwünschten Gene beziehungsweise Eigenschaften übertragen werden. Dies erscheint vor allem dann sinnvoll, wenn konventionelle Resistenzen nicht verfügbar und unzureichend sind oder nicht oder nur schwer mit anderen Zuchtzielen kombiniert werden können. Vor allem aber dient die Gentechnik der Aufklärung pflanzeigener Resistenzmechanismen.

Gentechnisch veränderte pflanzliche Nahrungsmittel sind aus toxikologischer und allergologischer Sicht nicht *per se* gefährlicher als konventionell gezüchtete. Transgene Sorten unterliegen einem genaueren Prüfverfahren auf Unbedenklichkeit als solche der klassischen Züchtung.

Um Gefährdungen für die Umwelt auszuschliessen, werden mögliche Folgen im Einzelfall je nach Standort, Kulturart und Transgen vor einer Markteinführung untersucht. Langfristig angelegte begleitende ökologische Untersuchungen sind auch nach der Zulassung zu fordern.

Ein Einsatz der Gentechnik in der Landwirtschaft kann aus ökologischer und ökonomischer Sicht sinnvoll sein. Eine Verbesserung der Umweltverträglichkeit begründet sich darin, dass durch neue Resistenzen zur Kontrolle eines Schaderregers die entsprechende Fungizid- oder Insektizidbehandlung eingespart werden können. Gesamtbetrieblich muss der Aufwand an chemischem Pflanzenschutz jedoch nicht immer abnehmen. Neue Resistenzen, ob konventionell oder gentechnisch erzeugt, können die Rentabilität bestimmter Kulturen erhöhen. Dies führt zu veränderten Anbauverfahren, so dass in Einzelfällen beispielsweise Einsparungen bei Insektiziden oder Fungiziden durch erhöhte Aufwendungen bei Herbiziden wieder kompensiert werden.

Der Anteil der Kosten für chemischen Pflanzenschutz liegt bei bestimmten Kulturen bei ungefähr 1 % der totalen Produktionskosten. Grosse Kosteneinsparungen sind durch den Anbau neuer resistenter Sorten daher nicht zu erwarten, jedoch mehr Ertragsstabilität.

Gentechnik ist derart in der Landwirtschaft einzusetzen, dass sie der Zielsetzung einer nachhaltigen Pflanzenproduktion entspricht. Dies bedeutet insbesondere für den Einsatz transgener krankheits- und schädlingsresistenter Nutzpflanzen, dass besondere Gefährdungen für Mensch, Tier und Umwelt auszuschliessen und nachteilige Effekte als Folge einer Intensivierung des Anbaus zu verhindern sind.