



# Folgenabschätzung gentechnisch veränderter Nutzpflanzen

Elisabeth SCHULTE und Othmar KÄPPELI, Fachstelle für Biosicherheitsforschung und Technikfolgenabschätzung des Schwerpunktprogrammes Biotechnologie, BATS, CH-4058 Basel

**Die Risiken und der Nutzen gentechnisch veränderter krankheits- und schädlingsresistenter Kulturpflanzen werden in einem Forschungsprojekt des Schwerpunktprogramms Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds untersucht. Ziel dieses Projektes ist es, einen methodischen Ansatz auszuarbeiten, der mögliche Auswirkungen für die Schweiz erfasst. Die technischen Alternativen des konventionellen und alternativen Landbaus werden bei diesem Verfahren einer Technikfolgen-Abschätzung einbezogen.**

Das Leitbild der Pflanzenzüchtung wurde in den letzten Jahrzehnten entscheidend von den ökonomischen Anforderungen an die Landwirtschaft geprägt. Der züchterische Fortschritt in der Ertragsleistung wurde massgeblich durch die gesteigerten Dünge- und Pflanzenschutzmassnahmen unterstützt. Eine Studie zum Pflanzenschutzmitteleinsatz in der Schweiz zeigt vor allem bei den Kulturen Weizen, Wein und Apfel hohe Intensitäten (Fried *et al.* 1993). Nachteilige ökologische Auswirkungen einer intensiven Agrarproduktion machen ein Überdenken der konventionellen Anbaustrategien nötig. Überlegungen, den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zu vermindern, nehmen in diesem Zusammenhang eine wichtige Stellung ein. Dabei werden unterschiedliche Ansätze diskutiert. Die Resistenzzüchtung sowie die Konzepte der Integrierten Produktion und des Biologischen Landbaus bieten bereits Antworten. Für die Resistenzzüchtung eröffnen sich durch den Einsatz der Gentechnik neue Möglichkeiten (Abb. 1).

## Neue Ansätze im Pflanzenschutz

Neuere Erhebungen zu Ertragsverlusten ermittelten für Westeuropa einen Ausfall von bis zu 35 % des möglichen Ertrages durch Krankheiten und Schädlinge (Oerke *et al.* 1994). Der Einsatz der Gentechnik in der Resistenzzüchtung stellt noch ein sehr junges Anwendungsgebiet dar. Nur sehr wenige praxisreife Anwendungen stehen bisher für den Markt zur Verfügung. Laut einer Trendanalyse der Green Industry Biotechnology Platform (GIBIP), welche die Feldversuche der weltweit bekannten

Pflanzenzüchtungsunternehmen dokumentiert, werden bis zum Jahr 2000 ungefähr 400 verschiedene Kombinationen von Pflanze und Genkonstrukt im Feld geprüft worden sein (Ahl Goy und Duesing 1995). Die Kulturarten Raps, Mais, Kartoffel, Tomate, Tabak, Sojabohne und Baumwolle stellen die wichtigsten Prüfarten dar, sowohl, was den Umfang an Freisetzungen, als auch, was die Anzahl an geprüften gentechnologischen Strategien betrifft. Eigenschaften wie Toleranzen gegenüber Herbiziden sowie Resistenzen gegenüber Schaderregern wie Viren und Insekten nehmen gegenwärtig einen Schwerpunkt bei den Freilandprüfungen ein. Feldversuche mit pilz- oder bakterienresistenten Kulturpflanzen liegen bisher nur in sehr geringem Umfang vor. In den Vereinigten Staaten haben bisher zwei gentechnisch veränderte schädlingsresistente Sorten die volle Marktzulas-

sung erhalten. Es handelt sich dabei um eine virusresistente Kürbis- und eine insektenresistente Kartoffelsorte. Weitere Sorten verfügen bereits über eine vorläufige Zulassung. Anträge auf Freilandprüfung krankheits- und schädlingsresistenter Sorten gehen inzwischen auch bei europäischen Registrierbehörden ein.

Bislang haben in der Züchtung schädlingsresistenter Pflanzen hauptsächlich zwei Strategien mit Hilfe der Gentechnik Praxisreife erlangt. Diese basieren zum einen auf der Übertragung eines bakteriellen Toxins zur Abwehr von Frassschädlingen und zum anderen auf der Übertragung viraler Hüllproteine, die in der Kulturpflanze Resistenzen gegenüber pathogenen Viren induzieren. Zahlreiche weitere gentechnische Ansätze werden in der Forschung verfolgt (Tab. 1). Im Mittelpunkt der Untersuchungen steht sowohl die Übertragung neuer artfremder Informationen wie auch die Stärkung pflanzeigener Abwehrmechanismen. Erfolge in der Züchtung neuer resistenter Sorten sind jedoch davon abhängig, wie schnell die genetischen Grundlagen von Resistenzmechanismen aufgedeckt und geeignete Strategien zur Übertragung und stabilen Expression von Genen entwickelt werden können.

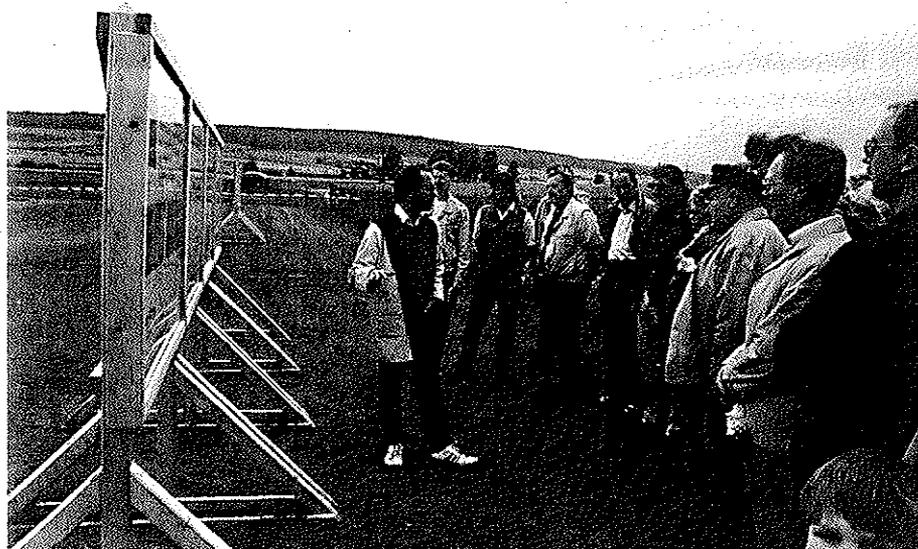


Abb. 1. An einem Tag der offenen Tür erläutert Projektleiter J. Kraus die Freilandversuche mit Zuckerrüben, die mit Hilfe der Gentechnik virusresistent wurden. (Foto: KWS-Archiv)

## Gentechnik-Gesetzgebung in der Schweiz

Für Anwendungen der Gentechnik werden gegenwärtig die vorhandenen Gesetze angepasst. Seit 1991 wird beispielsweise auf Basis der Störfallverordnung, (StfV) der Umgang mit Organismen, einschliesslich gentechnisch veränderter Organismen in «geschlossenen Systemen» geregelt. Alle Betriebe, die unter ihren Geltungsbereich fallen, führen abhängig vom Produktionsmassstab und dem Gefährdungspotential des von ihnen verwendeten Organismus eine mehr oder weniger ausführliche Risikoanalyse durch. Bestandteile dieser Risikoermittlung sind: Informationen zum Umweltverhalten und zur Pathogenität des verwendeten Organismus - als Bestandteil einer Gefährdungsanalyse - sowie die baulich-betriebliche Sicherheitsanalyse einschliesslich der Ermittlung des möglichen Schadensausmasses bei einem Störfall.

Für eine absichtliche Freisetzung und das Inverkehrbringen gentechnisch veränderter Organismen gibt es in der Schweiz bisher keine gesetzliche Grundlage. Durch die gegenwärtige Revision des Umweltschutzgesetzes kann jedoch eine Anpassung an eine entsprechende Richtlinie der Europäischen Gemeinschaft (90/220/EWG 1990) vollzogen werden.

### Nicht akzeptierbare Risiken ausschliessen

Nach Übereinkunft zahlreicher Länder sind bei der Einführung gentechnisch veränderter Organismen «Good Developmental Principles» einzuhalten. Dadurch, dass Auswirkungen umfassend dargestellt, mögliche Risiken identifiziert und Richtlinien für ein Sicherheitsmanagement entwickelt werden, soll ein sicherer Umgang mit gentechnisch veränderten Organismen gewährleistet werden. Den Kernpunkt dieses Sicherheitskonzeptes stellt das sogenannte «Stufenprinzip» dar. Demnach sind vor dem Inverkehrbringen, das heisst vor einer uneingeschränkten Freisetzung einer transgenen Kulturpflanze, mögliche Risiken schrittweise durch Labor-, Gewächshaus- und Feldversuche zu prüfen. Dies geschieht in einer Fall-zu-Fall-Beurteilung, die bei jeder neuen Kombination von Genkonstrukt-Kulturpflanze-Umwelt eine Untersuchung des Gefährdungspotentials verlangt. Durch die ausführliche Darstellung möglicher Auswirkungen sollen nicht akzeptierbare

Tab. 1. Eine Auswahl gentechnischer Ansätze in der Resistenzzüchtung (BATS 1995) (● Praxisreife, ○ noch im Forschungsstadium)

Zuchtziel Toleranzen / Resistenzen gegenüber	Gentechnischer Ansatz
Viren	<p><b>Beeinträchtigung der Virusvermehrung</b> in der Pflanze durch Expression von</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>viralen Hüllprotein-Genen</b></li> <li>○ Satelliten-RNA</li> <li>○ deletierten viralen Genen</li> <li>○ Antisense-RNA</li> <li>○ Ribozymen</li> <li>○ viralen Replikasen</li> </ul>
Schadinsekten	<p><b>Produktion von insektenspezifischen Toxinen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Expression von <b>Bt-Toxin</b> (Toxin aus dem Bodenbakterium <i>Bacillus thuringiensis</i>)</li> </ul> <p><b>Produktion von pflanzeigenen Abwehrstoffen</b> wie</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Protease-Inhibitoren</li> <li>○ Polyphenol- und Cholesterol-Oxidasen</li> </ul>
Pilzen	<p><b>Enzymatischer Abbau der Pilzellwände</b> durch</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Expression von Chitinasen und Glucanasen</li> </ul> <p><b>Stärkung pflanzeigener Abwehrmechanismen</b> durch</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Expression von Ribosom-inaktivierenden Proteinen</li> <li>○ Expression von Phytoalexinen</li> <li>○ Induktion hypersensitiver Reaktionen</li> </ul>
Bakterien	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <b>Enzymatischer Abbau bakterieller Zellwände</b></li> <li>○ <b>Inaktivierung und Abbau bakterieller Enzyme</b></li> <li>○ Expression von <b>Proteinen mit antimikrobieller Aktivität</b> (Thionine)</li> </ul>

Risiken erkannt und dadurch ausgeschlossen werden.

### Vergleich mit konventionellen Produkten

In der Sicherheitsbewertung gentechnisch veränderter Pflanzen ist die vergleichende Auswirkungsanalyse bereits ein fester Bestandteil. Eine Bewertung der Produktsicherheit neuer Lebensmittel wird international durch die Anwendung des Konzeptes der «Substantiellen Äquivalenz» (Substantielle Gleichheit) angestrebt. Das gentechnisch veränderte Produkt wird mit dem konventionell erzeugten Partner verglichen. Nach diesem Konzept gelten Lebensmittel unter anderem dann als unbedenklich, wenn sie in ihren physiologischen Eigenschaften als gleich oder ähnlich zu den konventionell erzeugten Produkten beurteilt werden (OECD 1993a). Wichtige Fragestellungen im Zusammenhang mit der Produktsicherheit sind mögliche Gefährdungen durch (BATS 1994a)

- toxische Genprodukte,
- unerwartete Stoffwechseländerungen verursacht durch die gentechnische Veränderung,
- Verwendung von Antibiotika-Resistenz-Markergenen,
- neue allergene Inhaltsstoffe und
- Änderungen des Nährwertes.

### Langfristigen Umwelteinfluss abschätzen

Die in der ökologischen Sicherheitsforschung thematisierten Untersuchungsgebiete bearbeiten in vielen Fällen Fragestellungen zu biologischen Prozesse wie etwa (BATS 1994b)

■ «Was geschieht eigentlich mit der biologischen Information im Ökosystem?» oder

■ «Findet ein Gentransfer auf verwandte Arten und andere Organismen wie Bakterien oder Viren statt?»

Ein weiterer Forschungsbereich befasst sich mit den direkten Auswirkungen transgener Pflanzen wie beispielsweise die Fragen

■ «Besteht die Möglichkeit, dass transgene Nutzpflanzen Naturräume besiedeln und andere Arten verdrängen?» oder

■ «Welchen Einfluss haben transgene Nutzpflanzen auf die Begleitfauna?»

In den letzten Jahren konnten bereits viele praktische Erfahrungen mit gentechnisch veränderten Kulturpflanzen gewonnen werden, aber Erkenntnisse über die langfristigen Auswirkungen für unserer Umwelt existieren nicht. Das bekannte Verhaltensmuster konventionell gezüchteter Vergleichspartner kann in diesem Zusammenhang wertvolle Hinweise für das zu erwartende Umweltverhalten einer gentechnisch veränderten Kulturpflanze lie-

## Technikfolgen-Abschätzung «Gentechnik»

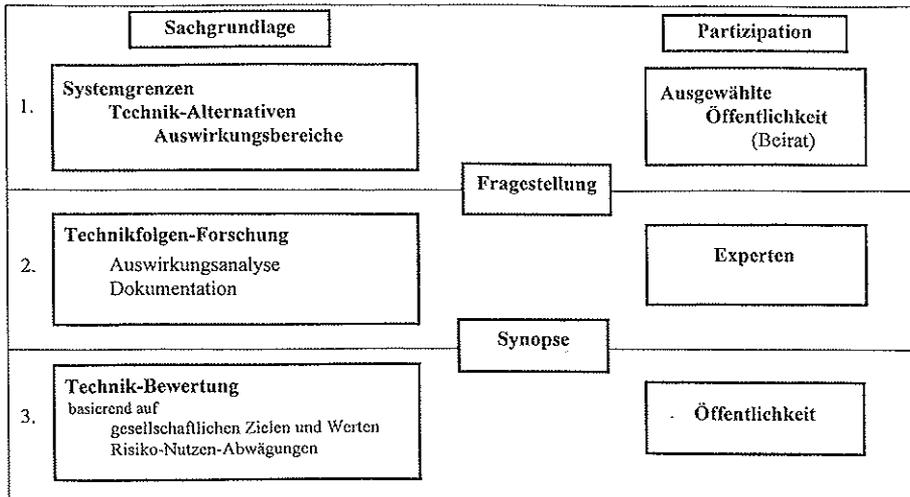


Abb. 2. Idealkonzept einer Technikfolgen-Abschätzung «Gentechnik».

fern. Das Konzept der «Familiarity» («Vertrautheit») beruht auf diesem Analogieschluss (OECD 1993b).

### Technikfolgen abschätzen

Die Einführung der Gentechnik hat Auswirkungen über die eigentlichen sicherheitsrelevanten Bereiche wie die Produkte- und Umweltsicherheit hinaus. Neben möglichen Risiken sind auch der Nutzen zu analysieren. Die Technikfolgen-Abschätzung (TA) bietet in diesem Zusammenhang ein Rahmenkonzept für die Technikbewertung an (VDI 1991). In einem organisierten und systematischen Vorgehen werden

- der Stand der Technik und ihre Entwicklungsmöglichkeiten analysiert,
- mögliche Auswirkungen im Vergleich mit Alternativen abgeschätzt,
- die Folgen aufgrund definierter Ziele und Werte beurteilt und
- Handlungs- und Gestaltungsmöglichkeiten für die Technikanwendung ausgearbeitet.

Die konkrete Realisierung dieses sehr umfassenden Konzeptes variiert abhängig von den vorgegeben Rahmenbedingungen und der Einbindung in den politischen Entscheidungsprozess. Seit Anfang der achtziger Jahre wurden in Europa zahlreiche TA-Studien zu sehr verschiedenen Themen und in sehr unterschiedlicher Form durchgeführt (Küng und Käppeli 1994; TAB 1993).

### Interessensgruppen beteiligen

Die Organisation einer Technikfolgen-Abschätzung zur Freisetzung transgener krankheits- und schädlingsresistenter Pflanzen ist die Aufgabe eines Forschungsprojektes, das die Fachstelle für Biosicherheitsforschung und Technikfolgenabschätzung (BATS) initiiert hat.

Die Studie wird unter Beteiligung eines Beirates, in dem verschiedene Interessensgruppen vertreten sind, sowie einer Expertengruppe durchgeführt (Abb. 2). Die Ex-

pertengruppe ist für die Erstellung von Fachstudien verantwortlich. Der Beirat besitzt eine beratende Funktion. Ziel der Studie ist es, möglichst umfassend Argumentationsmaterial für die öffentliche Diskussion zur zukünftigen Technologieentwicklung in der Landwirtschaft zur Verfügung zu stellen. Durch den technisch wie auch fachlich strukturierten Ablauf des Verfahrens soll eine für die Öffentlichkeit nachvollziehbare Technikfolgenanalyse geliefert werden.

### IP und Biolandbau einbeziehen

Da für die Technikfolgen-Abschätzung generell und für die vorliegende Fragestellung speziell kein etabliertes Verfahrensmuster übernommen werden kann, hat das Forschungsprojekt im wahrsten Sinne experimentellen Charakter. Bei der vorliegenden TA-Studie wird ein Technik-vergleichender Ansatz verfolgt. Verschiedene anbautechnische Alternativen, in diesem Fall

- der «Biolandbau»,
- der «Konventionelle Landbau einschließlich Integrierter Produktion» und
- der «Konventionelle Landbau einschließlich Integrierter Produktion zusätzlich Gentechnik»

werden hinsichtlich ihres Beitrages zu einer Verminderung des Pflanzenschutzmitteleintrages und ihrer weiteren Auswirkungen in den folgenden Bereichen untersucht (Abb. 3):

- Produktesicherheit,
- Umwelt,
- Landwirtschaft und
- Volkswirtschaft.

Da die zu betrachtende Gentechnik-Variante in der Schweiz bisher noch keinen Eingang in die Praxis gefunden hat, sind Aussagen über Auswirkungen nur auf der Basis von Modellannahmen möglich.

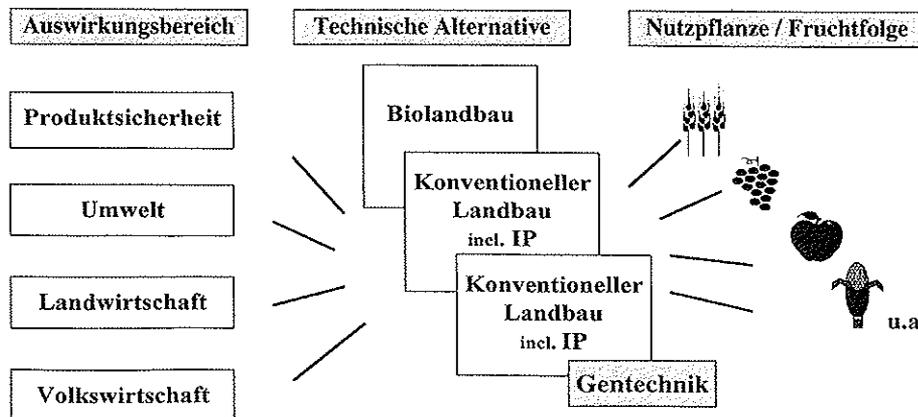


Abb. 3. Modell «Technikfolgen-Abschätzung transgener schädlings- und krankheitsresistenter Nutzpflanzen».

### Technische Alternativen vergleichen

In Abbildung 2 ist das Idealkonzept einer Technikfolgenabschätzung dargestellt. Zu Beginn eines TA-Verfahrens sind Fragestellung und Systemgrenzen (Stufe 1) festzulegen. Im vorliegenden Fall wurde die TA auf die hiesigen nationalen Gegebenheiten in der Landwirtschaft eingegrenzt. Des Weiteren sind die technischen Alternativen und Auswirkungsbereiche auszuwählen (s.o.). In der nächsten Phase werden die möglichen Technikfolgen un-

tersucht (Stufe 2). In der vorliegenden TA wird die Erforschung der Technikfolgen auf der Basis einer **vergleichenden Auswirkungsanalyse** angegangen. Als wichtig werden dabei folgende Verfahrenselemente erachtet:

**(1) Die Identifikation von Hauptaspekten und möglichen Auswirkungsszenarien:** Das Szenario kann auf eine mögliche Gefährdung oder einen bestimmten Nutzen eingehen.

Beispielsweise:

- «Liegen Gefährdungen durch toxische Genprodukte vor?»
- «Sind Effekte auf Nicht-Zielorganismen zu erwarten?»
- «Liefert die Gentechnik einen Beitrag zur Ertragssicherung?»
- «Sind strukturelle Änderungen in der Landwirtschaft zu erwarten?»

**(2) Die Dokumentation des Wissensstandes:** Dies kann in Form von Fachstudien und Kommentarstudien erfolgen. Argumente, die ein Auswirkungsszenario unterstützen oder widerlegen sind anzuführen.

Beispielsweise:

- Argument x «spricht für» das Auswirkungsszenario
- Argument y «spricht gegen» das Auswirkungsszenario.

**(3) Die vergleichende Darstellung (Synopsis) aller Argumente:** Die in den Studien aufgeführten Argumente werden strukturiert aufgelistet und zusammengefasst. Vergleichbare und spezielle Auswirkungen der einbezogenen Technik-Alternativen können auf diese Weise herausgearbeitet werden.

Die eigentliche Technik-Bewertung (Stufe 3) ist nicht mehr Bestandteil des Forschungsprojektes. Die teilweise heftigen Auseinandersetzungen um die möglichen negativen Folgen der Gentechnik zeigen, dass heute eine technische Entwicklung nur in der Diskussion mit der Gesellschaft realisiert werden kann. Nicht alles was technisch machbar ist, soll auch technisch realisiert werden. Die Entscheidung für eine bestimmte Technik bedarf aber der Definition gesellschaftlicher Ziele und Werte auf deren Basis erst eine Risiko-Nutzen-Abwägung stattfinden kann.

## Gentechnik - Wer hat den Nutzen?

Der Nutzen der gentechnischen Veränderung liegt unter anderem in der zügigen Realisierung bestimmter Zuchtziele. Dieses Zuchtziel ist das Resultat zahlreicher und oft widersprüchlicher Bedürfnisse, die an die heutige Züchtung gestellt werden. Diese Bedürfnisse werden von vier

unmittelbar oder mittelbar beteiligten Interessengruppen vorgegeben:

- Züchter
- Landwirt
- Konsument
- Gesellschaft.

Das Produkt der Züchtung, die Sorte, soll dem Züchter einen wirtschaftlichen Vorteil erbringen. Nach den Erwartungen der Landwirtschaft soll sie ertragssicher und für die Anbaugegebenheiten optimiert sein. Konsumentin und Konsument verlangen ein qualitativ hochwertiges, aber preisgünstiges Produkt, welches ganz allgemein nach den Wünschen der Gesellschaft umweltverträglich produziert sein soll. Im Rahmen der durchzuführenden TA-Studie werden dieser Bedürfnisse überprüft. Fragestellungen wie die folgenden sind Bestandteil des Untersuchungskataloges:

- «Können durch die Gentechnik Ertragsverluste verringert werden?»
- «Erhält der Konsument und die Konsumentin ein qualitativ besseres Produktangebot und zu welchem Preis?»
- «Bietet die Gentechnik langfristig einen Beitrag zur Ökologisierung der Schweizer Agrarwirtschaft?»

## Technikgestaltung in der Zukunft

Die TA ist in den USA und in Deutschland bereits ein etabliertes Verfahren an der Schnittstelle Technik und Gesellschaft. Nach dem heutigen Technikverständnis, wird die technische Entwicklung als sozialer Prozess verstanden und nicht mehr als zwangsläufig und eigengesetzlich. Aus ökologischen wie ökonomischen Gründen erscheint es zusehends wichtiger, technische Entwicklungen von Anfang an analysierend und bewertend zu begleiten, damit sie der umwelt- und gesellschaftspolitischen Kritik standhalten. TA-Verfahren können die Aufgabe dieser begleitenden Reflexion übernehmen.

### DANK

Das Forschungsprojekt wird durch das Schwerpunktprogramm Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds gefördert.

### LITERATUR

Ahl Goy P. and Duesing J. H., 1995. From pots to plots: Genetically modified plants on trial. *Bio/Technology* 13, 454-458.

BATS, 1994a. Tools for safety assessment. Transgenic plants. *BATS-Report 3/94*, 43 S.

BATS, 1994b. Biosafety of foods derived by modern biotechnology. *BATS-Report 4/94*, 42 S.

BATS 1995. Genetic engineering for plant protection. Methods, state of the art and applications. *BATS-Report 1/95*, 70 S. (im Druck).

EG-Richtlinie (90/220/EWG) vom 23. April 1990 über die absichtliche Freisetzung genetisch veränderter Organismen in die Umwelt (ABL. Nr. L 117/15-27 vom 8. Mai 1990).

Fried P. M. und Co-Autoren, 1993. Möglichkeiten des Einsatzes biotechnologischer Methoden zur Erhöhung der Resistenz gegen Krankheiten und Schädlinge wichtiger Kulturpflanzen der Schweiz. Schweizerischer Nationalfonds, Bern. 85 S.

Küng V. und Käppeli O., 1994. Technikfolgen-Abschätzung der Gentechnologie. *GAIA* 3 (4), 188-198.

OECD - National experts on safety in biotechnology, 1993a. Safety evaluation of foods derived by modern biotechnology. OECD Publications, Paris. 79 S.

OECD - National experts on safety in biotechnology, 1993b. Safety considerations for biotechnology: Scale-up of crop plants. OECD Publications, Paris. 40 S.

Oerke E.-C., Dehne H.-W., Schönbeck F. and Weber A., 1994. Crop production and crop protection. Elsevier, Amsterdam. 808 S.

TAB, 1993. Technikfolgen-Abschätzung zu neuen Biotechnologien. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag Nr. 19, Bonn. 59 S.

VDI, 1991. Technikbewertung - Begriffe und Grundlagen, VDI Report 15. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf. 95 S.

## RÉSUMÉ

### Evaluation technologique des plantes cultivées transgéniques résistantes aux maladies

Les bénéfiques et les risques des plantes cultivées transgéniques résistantes aux maladies sont examinées dans le cadre d'un projet du Fonds national suisse pour la recherche. Le but de cette étude est d'élaborer une méthode d'analyse pour recenser et évaluer les impacts possibles dans les conditions de l'agriculture suisse. Les alternative techniques aux méthodes agricoles conventionnelles et alternatives sont également considérées dans ce processus d'évaluation des choix technologiques qui incluent la sécurité des produits, l'environnement, l'agriculture et les aspects économiques.

## SUMMARY

### Technology assessment of transgenic pest resistant-crops

Risks and benefits of transgenic pest-resistant crops are investigated in a research project of the Swiss National Funds. Objective is the elaboration of a methodology to analyse and compare all possible impacts, especially under Swiss cropping conditions. Product safety, environment, agriculture and economy are assessed by this methodology, and in addition a comparison with conventional and alternative arable farming is also included. The described approach includes a comparison with conventional and alternative arable farming, each considering aspects of product safety, environment, agriculture and economy.

**KEY WORDS:** technology assessment, transgenic plants, pest resistance