

TA-Projekt *Nachhaltige Landwirtschaft*

**Arbeitspapier zur
Fachstudie**

**Konzept und praktische Lösungsansätze zur
anbaubegleitenden Forschung beim Einsatz
transgener Kulturarten**

**Andrea Raps, Angelika Hilbeck, Franz Bigler, Padruot M. Fried, &
Monika Messmer**

Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau
FAL Reckenholz-Zürich

Dezember 1998

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung und Empfehlungen	3
1. Einleitung	5
2. Agrarwirtschaftliche Situation in der Schweiz	7
3. Zulassungsverfahren.....	9
3.1 USA (nach Brandt, 1995; Lupi, 1995).....	9
3.1.1 USDA.....	9
3.1.2 EPA	10
3.1.3 FDA.....	11
3.2 Europäische Union.....	11
3.3 Schweiz (Quelle: Gen-Lex-Entwurf BUWAL)	12
3.3.1 Freisetzungsverordnung FSV.....	13
4. Zugelassene Pflanzen in den USA und der EU.....	17
4.1 Die zur Zeit wichtigsten Transformationen (nach Franck-Oberaspach & Keller, 1996)	17
4.2 Anträge auf Freisetzungen in den USA und der EU.....	18
5. Anbaubegleitende Forschung und Monitoring.....	19
5.1 Forschung nach der Zulassung - Warum?	19
5.2 Begleitforschung nach der Zulassung und Monitoring - Begriffsbestimmung, Ziele, Inhalte.....	21
5.3 Auswahl der Parameter im Hinblick auf eine nachhaltige Landwirtschaft	22
5.4 Anbaubegleitende Forschung und Monitoring - was muss beobachtet werden?.....	25
5.4.1 Kulturpflanze	26
5.4.2 Gene und Genprodukte	27
5.4.3 Umweltauswirkungen	30
5.4.4 Aspekte der Agronomie und der Nachhaltigkeit	43
6. Fallbeispiel Mais (<i>Zea mays</i> L.) mit Insektenresistenz (Bt-Toxin gegen den Maiszünsler).....	46
6.1 Kulturpflanze - Schädling - Resistenzmechanismus.....	46
6.1.1 Mais.....	46
6.1.2 Der Maiszünsler <i>Ostrinia nubilalis</i> L.	47
6.1.3 <i>Bacillus thuringiensis</i> (Bt): Spritzmittel und transgene Pflanzen.....	48
6.2 Zulassung des Bt-Mais - was muss an Daten geliefert werden? (Beispiel USA).....	49
6.3 Begleitforschung bei Bt-Mais - was muss beobachtet werden?	51
6.3.1 Kulturpflanze	52
6.3.2 Gene und Genprodukte	53
6.3.3 Umweltauswirkungen	54
6.3.4 Aspekte der Agronomie und der Nachhaltigkeit	63
7. Fallbeispiel Weizen mit Pilzresistenz (Überexpression von Chitinase)	64
7.1 Kulturpflanze - Schädling - Resistenzmechanismus.....	64
7.1.1 Weizen <i>Triticum aestivum</i> L.	64
7.1.2 Pilzliche Schaderreger	65
7.1.3 Pilzresistenz durch Erhöhung der Chitinase-Expression	68

7.2	Begleitforschung bei Chitinase-Weizen	69
7.2.1	Kulturpflanze	70
7.2.2	Gene und Genprodukte	70
7.2.3	Umweltauswirkungen	71
7.2.4	Aspekte der Agronomie und der Nachhaltigkeit	74
8.	Literatur.....	76
	Anhang	

Zusammenfassung und Empfehlungen

- (1) Anbaubegleitende Forschung nach der Zulassung von transgenen Pflanzen ist wissenschaftlich zu begründen und wird auch zukünftig für die Bewilligung des Inverkehrbringens gesetzlich verlangt. So sind manche langfristigen Auswirkungen auf die Umwelt aufgrund der Plastizität von Eigenschaften und einer hohen Variabilität der Umweltbedingungen basierend auf den Ergebnissen aus zeitlich und räumlich begrenzten Freisetzungsvorversuchen nicht vorhersehbar. Darüber hinaus wird die Übertragung und Verbreitung von Eigenschaften über Art- und Reichsgrenzen hinweg, ermöglicht durch gentechnische Methoden, ökologische und evolutive Prozesse in anderer Masse beeinflussen als es die züchterische Tätigkeit bis jetzt getan hat. Die Notwendigkeit, aus diesen Gründen einige Parameter auch nach der Zulassung anbaubegleitend zu untersuchen, wird in vielen Ländern erkannt und derzeit sind z.B. in der EU, in Frankreich und in Deutschland Bestrebungen im Gange, derartige Programme gesetzlich festzuschreiben und zu erstellen. Begleituntersuchungen nach der Zulassung sind auch bei der Anwendung von bestimmten Pflanzenschutzmitteln vorgeschrieben, zum Beispiel sind in der Schweiz die Vertreiber von Fungiziden gegen die Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*) der Kartoffel verpflichtet, die Resistenzentwicklung des Pathogens zu beobachten und zu melden.
- (2) Nachzulassungsuntersuchungen können unterschieden werden in Begleitforschung und Monitoring. Unter Begleitforschung werden hier zeitlich und räumlich befristete Projekte, die Kausalzusammenhänge und Mechanismen aufdecken sollen, bezeichnet. Monitoring dagegen ist ein langfristiges und weiträumiges Beobachten, mit dem Ziel, als Früherkennungssystem möglichst frühzeitig Umweltveränderungen zu erkennen. In der Praxis werden voraussichtlich erst Erkenntnisse aus der Begleitforschung den Anstoss für ein Monitoring liefern.
- (3) Da die Umwelt kein statisches System ist, sondern sich ständig verändert, braucht es eine Vergleichsbasis, um negative Effekte von transgenen Pflanzen erfassen zu können. In der Schweiz erfolgt der landwirtschaftliche Anbau hauptsächlich nach den Richtlinien der Integrierten Produktion (IP). Da der Einsatz von transgenen Pflanzen im Biologischen Landbau momentan nicht erlaubt ist, werden sie von daher in erster Linie in der IP zur Anwendung kommen. Als Vergleichsbasis bei einem Monitoring von transgenen Pflanzen wird deshalb die Integrierte Produktion ohne transgene Pflanzen vorgeschlagen.
- (4) Bei der Auswahl der Parameter für die anbaubegleitende Forschung nach der Zulassung wurden Erfahrungen aus der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln berücksichtigt. Ausserdem haben wir uns an dem Leitbild der Nachhaltigkeit orientiert und Indikatoren, die die Nachhaltigkeit eines Anbausystems messen sollen, mit einbezogen.
- (5) Ausgehend von dem Leitbild der nachhaltigen Landwirtschaft sind viele der möglichen Auswirkungen grundsätzlich nicht erwünscht und sollten deshalb unabhängig von Pflanzenart und Eigenschaft beobachtet werden. Weiterhin wird es aus organisatorischen Gründen wahrscheinlich nicht möglich sein, für jede neu zugelassene Pflanzensorte ein neues, unterschiedliches Monitoring-Programm durchzuführen, da das Monitoring einerseits langfristig angelegt werden und andererseits die gesamte Agrarstruktur und nicht nur einzelne Felder berücksichtigen sollte. Deshalb haben wir eine Liste von Parameter erarbeitet, die für alle zugelassenen transgenen Pflanzensorten anwendbar ist. Es können jedoch je nach Eigenschaften der Pflanze, des Genproduktes und der Umgebung einzelne Parameter entfallen.

- (6) Der Entscheid für oder gegen eine anbaubegleitende Nachzulassungsforschung wird die Ergebnisse aus Untersuchungen berücksichtigen, die im Rahmen des Zulassungsverfahrens durchgeführt worden sind. Um über Bewilligungen von transgenen Pflanzensorten und die damit verknüpften Auflagen wissenschaftlich fundiert entscheiden zu können, ist es unseres Erachtens notwendig, einige dieser Untersuchungen, z.B. Nützlingsprüfungen, in Zukunft auf ihre Aussagekraft hin zu überprüfen und zu verbessern. Analog zu der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln sollten die Prüfungen standardisiert und festgeschrieben werden.
- (7) Aus den Erfahrungen mit Pflanzenschutzmitteln sind für die Zulassung von transgenen Pflanzen folgende Verfahrensweisen oder die Schaffung folgender Einrichtungen als sinnvoll zu erachten: transgene Pflanzen sollten provisorische, d.h. zeitlich befristete und evtl. an Auflagen verknüpfte Zulassungen erhalten. Dieses Verfahren hat sich bei Pflanzenschutzmitteln bewährt und ermöglicht es, ohne grosse juristische Hürden Gegenmassnahmen, zum Beispiel eine Rücknahme der Bewilligung, zu ergreifen, sollten negative Auswirkungen festgestellt werden. Es hat sich ebenfalls bewährt, eine Schlichtungskommission einzurichten, die zwischen Industrie und Staat vermittelt, falls keine Einigung über einen Rückzugsentscheid zwischen den beiden Parteien erzielt werden kann. Rückzugsentscheide müssen immer case-by-case getroffen werden.
- (8) Um Kosten zu minimieren und Synergien freizusetzen, ist die Verknüpfung des Monitorings von transgenen Pflanzen mit bereits etablierten Monitoringprogrammen in der Schweiz, zum Beispiel Beobachtung der Bodenfruchtbarkeit (NABO, eventuell zukünftig auch Bodenbiologie), Biodiversitätsmonitoring (BDM - CH) unbedingt zu empfehlen.
- (9) Ein Monitoring sollte breitflächig und langfristig angelegt werden, da Veränderungen von manchen umweltrelevanten Parametern erst nach Jahren feststellbar sein werden. Aus diesen Gründen ist es empfehlenswert, Landwirte in das Monitoring über Meldepflichten oder Pflanzenberatungsdienste miteinzubeziehen. Es ist ebenfalls sinnvoll, Anbauorte und -mengen zu registrieren, zum Beispiel über Verkaufsstatistiken oder Meldepflichten. Diese Registration ist zum Beispiel in den USA Teil der Auflage für die Zulassung von Bt-Mais.

1. Einleitung

Die Biotechnologie ist dabei, eine der bedeutendsten Technologien dieses Jahrhunderts zu werden. So wurden dank bio- und gentechnischer Methoden gerade in den letzten Jahren beträchtliche Fortschritte, v.a. in der Medizin und Pharmazie erreicht. Auch in der Landwirtschaft werden in der modernen Pflanzenzüchtung vermehrt biotechnologische Methoden angewandt und die Entwicklung neuer, transgener Pflanzensorten ist während der letzten 25 Jahre rasant fortgeschritten: Im Jahr 1983 gelang zum ersten Mal die Übertragung von Genkonstrukten fremder Herkunft in Pflanzenzellen (Regenass-Klotz, 1998) und bereits drei Jahre später, 1986, erfolgte in Belgien, 1987 in den USA die erste Freisetzung einer transgenen Pflanze (OECD, 1993a). Seitdem wurden bis letztes Jahr weltweit ca. 25.000 Freisetzungsexperimente durchgeführt und im Jahre 1990 wurde in China, 1994 in den USA die erste transgene Pflanzensorte für den Anbau zugelassen (James, 1997). Von den weltweit wichtigen Kulturarten sind es heute acht Arten, von denen gentechnisch veränderte Varietäten für den Markt zugelassen sind: Baumwolle, Kartoffel, Mais, Raps, Sojabohne, Tabak, Tomate und Zuckerrübe. In der Schweiz ist noch keine transgene Pflanzensorte für den Anbau freigegeben. Es fanden bis jetzt lediglich zwei Freisetzungsexperimente statt: 1991 und 1992 wurden an der Eigenössischen Forschungsanstalt für Pflanzenbau in Changins (Station fédérale de production végétale de Changins, RAC) transgene, virusresistente Kartoffeln getestet (Farinelli & Malnoë, 1996).

Weltweit wird den neuen, transgenen Pflanzensorten ein enormes Potential zur Ernährungssicherung und zur Durchsetzung einer umweltverträglichen, nachhaltigen Landwirtschaft zugesprochen, zum Beispiel durch erhöhte Krankheits- und Schädlingsresistenz, verbesserte Standortanpassung, erhöhte Stresstoleranz und verbesserte Produktequalität. Darüber hinaus steckt auch ein starkes Interesse von Seiten der Industrie in neuen Pflanzensorten, die in ferner Zukunft transgene Pflanzen als günstige Produktionsstätten von industriellen Produkten (Öle, Bioplastik) oder Pharmazeutika ansehen. Es ist jedoch gerade diese Neuartigkeit und Vielfalt von Merkmalskombinationen und Stoffen, ermöglicht durch die Übertragung von Genen über Art-, Klassen- ja sogar Reichsgrenzen hinweg, die auch unerwünschte ökologische Nebeneffekte verursachen können und damit unter Umständen eine nachhaltige Produktion eher gefährden können. Um derartige unerwünschte Nebenwirkungen auf die Umwelt und auch die menschliche Gesundheit möglichst umfassend abzuklären, bevor die Pflanzen freigesetzt oder in den Verkehr gebracht werden dürfen, sind in den einzelnen Ländern der EU und in der Schweiz für diese neuen Pflanzensorten spezielle Zulassungsverfahren entwickelt worden.

Bei den Untersuchungen, die über die Inverkehrbringung einer transgenen Pflanzensorte entscheiden, handelt es sich um Labor- und Freisetzungsversuche, die zeitlich und räumlich begrenzt sind und nur mit der Auflage von Sicherheitsmassnahmen zur Minimierung der Ausbreitung und Persistenz der Pflanzen, der Gene und der Genprodukte durchgeführt werden dürfen. Sind die Pflanzen jedoch einmal für den Markt zugelassen, entfallen alle räumlichen und zeitlichen Beschränkungen, die Pflanzen werden Teil des Ökosystems und interagieren weiträumig und langfristig mit der Artengemeinschaft im Agrarraum. Deshalb lässt sich aus räumlich und zeitlich begrenzten Experimenten nur schwer auf langfristige Umweltwirkungen schliessen. Darüber hinaus erschweren unzureichende Kenntnisse über ökologische und evolutive Prozesse im Agrarökosystem aufgrund der komplexen Zusammenhänge und aufgrund der mangelnden Erfahrung im Umgang mit den neuen Pflanzensorten die Abschätzung von langfristigen Auswirkungen. Aus der Sicht der Umweltvorsorge ergibt sich dadurch zwangsläufig die Forderung, das Verhalten dieser Pflanzen auch nach der Zulassung anbaubegleitend zu beobachten und zu untersuchen. Zur Zeit ist man, ebenso wie in der Schweiz, in vielen Ländern, unter anderem in der Europäischen Union, darum bemüht, dieser Forderung nachzukommen und Konzepte für eine anbaubegleitende Forschung zu

entwickeln. Mit Hilfe eines Monitorings soll Verantwortung für die neuen Technologie übernommen und Fehlentwicklungen frühzeitig erkannt werden.

Die vorliegende Studie wurde im Auftrag der Fachstelle für Biosicherheit und Abschätzung von Technikfolgen (BATS) erstellt und befasst sich mit dem Erarbeiten eines Konzeptes zur agrarökologischen Begleitforschung beim Anbau transgener Pflanzen in der Schweiz. In einem ersten Schritt sollten die Untersuchungsparameter ausgewählt werden, die es erlauben, sowohl den Nutzen (zum Beispiel Einsparung von Pflanzenbehandlungsmittel, Kontrolle von bislang nicht bekämpfbaren Viruserkrankungen, ökonomische Vorteile) als auch den Schaden (zum Beispiel Ausbreitung und Persistenz des Transgens in der Umwelt, nachteilige Nebenwirkungen auf Nützlinge, Bienen etc., Resistenzentwicklung beim Zielorganismus) neuer Pflanzensorten für die Landwirtschaft in der Schweiz zu dokumentieren. Da sich die Integrierte Produktion (IP) in der schweizerischen Landwirtschaft zum Standard entwickeln wird, wird vorgeschlagen, das Potential von transgenen Pflanzen innerhalb der Integrierten Produktion im Vergleich zur IP ohne transgene Pflanzen zu untersuchen.

Bei der Auswahl der zu untersuchenden Parameter wurde das Leitbild der Nachhaltigkeit berücksichtigt (vgl. Maeschli, 1998) und einige Indikatoren, die die Nachhaltigkeit eines Anbausystems messbar machen, in das vorgeschlagene Konzept integriert.

Darüber hinaus wurde die Auswahl der Parameter in Anlehnung an die Zulassung für Pflanzenschutzmittel getroffen, da bei der Ausarbeitung des Konzeptes oftmals Parallelen zu diesem Bereich aufgetreten sind. Unsere langjährigen Erfahrungen im Umgang mit Pflanzenschutzmittel haben beträchtlich dazu beigetragen, Fragen nach relevanten Parametern und erforderlichen Daten für die Sicherheitsabschätzung transgener Pflanzen zu beantworten.

Häufig wird der Einwand erhoben, warum nur für transgene Sorten ein Monitoring und anbaubegleitende Forschung gefordert wird, bei konventionell gezüchteten Sorten dagegen darauf verzichtet wird. Wenngleich dieser Einwand nicht auf alle Untersuchungsparameter zutrifft, so hat er dennoch seine Berechtigung. Gerade am Doppel-0-Raps und dem durch ihn vermutlich verursachten Reh- und Hasensterben wird dies besonders deutlich. Unseres Erachtens ist es so, dass neben dem Aspekt der Sicherheitsforschung die Nach-Zulassungsforschung an transgenen Pflanzen als ein Anstoss und Auslöser für allgemeine agrarökologische Forschung anzusehen ist, die zum Teil ebenso bei konventionell gezüchtete Sorten gerechtfertigt wäre. In diesem Sinne stellen transgene Pflanzen gewissermassen «Markerpflanzen» für die Untersuchung ökologischer und evolutiver Prozesse im Agrarraum dar.

Die Studie stellt einleitend die gegenwärtige landwirtschaftliche Situation in der Schweiz vor (Kapitel 2) und geht dann auf die Zulassungsverfahren in den USA, in der EU und in der Schweiz ein (Kapitel 3). Anschliessend werden die Pflanzen, die v.a. in den USA und in der EU zur Zeit für den Anbau zugelassen sind, bzw. die sich im Zulassungsverfahren befinden, aufgelistet und die Freisetzungen weltweit beschrieben (Kapitel 4). Im Kapitel 5 schliesslich werden die Untersuchungsparameter beschrieben, die auf lange Sicht als relevant angesehen werden, das Potential transgener Sorten für eine nachhaltige Landwirtschaft zu charakterisieren. Auswirkungen des Anbaus transgener Sorten auf Naturräume wurden in dieser Studie bewusst ausgeklammert, da sie Gegenstand der Teilstudie von Ammann et al. (Teilstudie 3/6) sind.

2. Agrarwirtschaftliche Situation in der Schweiz

Von der Gesamtfläche der Schweiz (ca. 4.1 Mio ha) entfällt etwa ein Drittel (ca. 1.3 Mio ha) auf unproduktives Areal (zum Beispiel Gewässer, Verkehrs- und Siedlungsflächen). Die restlichen zwei Drittel (ca. 2.8 Mio ha) stellen Nutzflächen dar, wobei der Hauptteil von Wald (ca. 1.2 Mio ha), gefolgt von Wies-, Ackerland und Heimweiden (ca. 950 000 ha) und alpwirtschaftlichen Nutzflächen (ca. 560 000 ha) eingenommen wird. Die restliche Anbaufläche (ca. 70 000 ha) entfällt auf Obst-, Reb- und Gartenbau (SBV, 1997) (Abb. 1). Eine Analyse der landwirtschaftlich genutzten Fläche ergibt, dass über 50% des offenen Ackerlandes (304 000 ha) alleine mit Getreide (Brot- und Futtergetreide) bebaut wird (Abb. 1). Weitere wichtige Kulturen sind Mais (Körner- und Silomais), Hackfrüchte und Ölsaaten, darunter vor allem Raps.

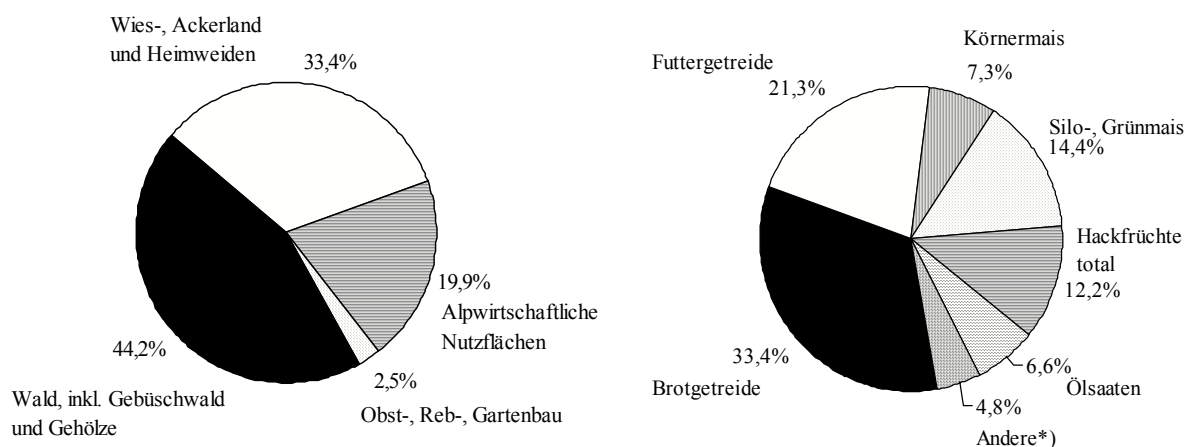


Abb. 1: Aufteilung der genutzten Fläche (2 833 554 ha) in der Schweiz (links) und Flächenanteile einzelner Ackerkulturen am offenen Ackerland (total 304 000 ha) (rechts).

*) Andere: nachwachsende Rohstoffe, Tabak, Grün- und Buntbrache, übrige Ackergewächse

In der Schweiz werden umweltverträgliche Anbauweisen vom Bund über Direktzahlungen und Ökobeiträge stark gefördert. 1997 flossen 2.54 Milliarden Franken Direktzahlungen in die Landwirtschaft, für 1998 sind 2.61 Milliarden budgetiert. Rund 30% der Zahlungen (766 Mio Franken) waren als Ökobeiträge für Integrierte Produktion (IP), biologischen Landbau, ökologische Ausgleichsflächen, kontrollierte Freilandhaltung von Nutztieren und besonders tierfreundliche Stallungssysteme sowie der Förderung des Extensogetreideanbaus ausgerichtet. Im letzten Jahr wurden zwei Drittel aller Landwirtschaftsbetriebe bzw. 73% der Nutzfläche nach IP - Richtlinien bewirtschaftet (im Vergleich dazu waren es 1996 lediglich 54% der Bauernhöfe mit einem Nutzflächenanteil von 60%). Der grösste Anteil der Direktzahlungen wurde als sogenannte ergänzende Direktzahlung zur Abgeltung gemeinwirtschaftlicher Leistungen ausbezahlt. Sie bestehen aus einem Betriebs- und einem Flächenbeitrag, sollen aber ab 1999 im Rahmen der neuen Agrarpolitik 2002 durch einen Flächenbeitrag im Rahmen der allgemeinen Direktzahlungen ersetzt werden. Dafür

muss dann jedoch ein ökologischer Leistungsausweis erbracht werden, der den heutigen Anforderungen der IP entspricht (Daten aus: NZZ Nr. 170, Samstag/Sonntag 25./26. Juni 1998, S. 14).

Die Schweiz nimmt nach Schweden und Österreich eine führende Rolle in Europa in Bezug auf den Biologischen Landbau ein. 5000 Betriebe produzieren derzeit auf ca. 7% der landwirtschaftlichen Fläche nach den strengen Richtlinien der Knospe (Haas, 1998). Dabei sind Biobetriebe überproportional in Berggebieten (v.a. Graubünden) vertreten. Der Flächenanteil beträgt im Berggebiet bereits über 14% während er im Talgebiet erst bei 2,7% liegt. Die wichtigsten Kulturen im Biolandbau sind Wintergetreideflächen (47% des offenen Ackerlandes), gefolgt von Silo- und Körnermais (16%), Sommergetreide (11%), Feldgemüse (11%), Kartoffeln (8%) und übrige Ackergewächse (5%). Ölsaaten und Futterrüben spielen eine untergeordnete Rolle (Daten aus Freyer & Hartnagel, 1997). Der Biologische Landbau lehnt die Nutzung gentechnologischer Methoden ab und garantiert den Kunden gentechfreie Produkte. Der hohe Anteil der biologisch wirtschaftenden Betriebe in der Schweiz erfordert es daher, in einem Begleitforschungskonzept biologisch bewirtschaftete Felder in der Nachbarschaft zu berücksichtigen.

3. Zulassungsverfahren

3.1 USA (nach Brandt, 1995; Lupi, 1995)

In den USA werden gentechnisch veränderte Organismen (GVO), in diesem Fall speziell Pflanzen, nicht grundsätzlich verschieden von herkömmlich gezüchteten oder natürlich vorkommenden Pflanzen angesehen. Aus diesem Grunde wurde keine spezielle Gesetzgebung entwickelt, sondern die Freisetzung und das Inverkehrbringen transgener Organismen werden durch bereits bestehende Gesetze, die an die neuen Techniken angepasst wurden, geregelt.

Die drei wichtigsten Behörden, die mit den Belangen der Biotechnologie zu tun haben, sind: das «U.S. Departement of Agriculture» (USDA), die «Environmental Protection Agency» (EPA) und die «Food and Drug Administration» (FDA) (Lupi, 1995). Das USDA ist hauptsächlich verantwortlich für Auswirkungen auf die Landwirtschaft, die EPA für Auswirkungen auf die Umwelt und, was Pestizidrückstände in Kulturpflanzen betrifft, für die menschliche Gesundheit. Die FDA schliesslich ist verantwortlich für Gesundheitsaspekte von Nahrungspflanzen.

3.1.1 USDA

Das USDA hat das Mandat, die Landwirtschaft der USA vor der Einführung und Ausbreitung von Pflanzenkrankheiten zu schützen. Die ausführende Behörde des USDA ist der «Animal and Plant Health Inspection Service» (APHIS), der die Ein- und Durchfuhr von Pflanzen, Pflanzenprodukten, Krankheits- und Schaderreger und alle Artikel, die potentiell Erreger enthalten könnten, in die USA überwacht und regelt. Die zugrunde liegenden Gesetze sind der „Federal Plant Pest Act“ (FPPA) und der «Plant Quarantine Act» (PQA). GVOs sind einem Zulassungsverfahren unterworfen, wenn der Spender-, der Empfänger- oder der Vektororganismus als Krankheits- oder Schaderreger definiert ist. Das Verfahren soll hauptsächlich absichern, dass von einer **Freisetzung** oder einem **Transport** des Organismus keine Gefahr einer Pflanzenkrankheit ausgeht, es regelt nicht das Inverkehrbringen des Organismus. Da viele Pflanzen mit *Agrobacterium tumefaciens* transformiert wurden und/oder Gene von Pflanzenpathogenen verwendet werden (zum Beispiel Virus-Hüllproteine), sind nahezu alle Freisetzungen transgener Pflanzen dem Zulassungsverfahren der APHIS unterworfen. Generell bedürfen Freisetzungsexperimente mit folgenden gentechnisch veränderten Organismen in den USA eine Zulassung:

- transgene Pflanzen, die aufgrund ihrer gentechnischen Veränderung Nukleinsäuresequenzen enthalten, die aus pflanzenschädigenden Organismen stammen
- Mikroorganismen, die pflanzenschädigend sind oder aufgrund ihrer gentechnischen Veränderung Nukleinsäuresequenzen enthalten, die aus pflanzenschädigenden Organismen stammen
- Pflanzen oder Mikroorganismen, die aus einer gentechnischen Modifizierung hervorgegangen sind und die USDA-APHIS als pflanzenschädigend einstuft oder sie dafür hält
- alle mikrobiellen Pestizide
- alle Impfstoffe.

Für die Freisetzung von transgenen Pflanzen muss der Antragsteller in einem Formular der APHIS ausreichend über die Pflanze, die genetische Veränderung und das Versuchsprotokoll informieren, damit das Potential möglicher Pflanzenkrankheiten oder Umweltauswirkungen abge-

schätzt werden kann. Um dem Antragsteller Hilfestellung zu geben, hat das APHIS einen User's Guide entwickelt. Der Antrag muss spätestens 120 Tage vor Beginn des Freisetzungsvorversuches eingereicht werden. APHIS leitet den Antrag innerhalb 30 Tage an die jeweiligen staatlichen Behörden weiter, welche wiederum 30 Tage Zeit haben, den Antrag zu begutachten.

Eine zentrale Komponente des Zulassungsverfahrens ist das «environmental assessment» (EA), das in Abhängigkeit von möglichen Umweltauswirkungen und Pflanzenkrankheiten letztlich über eine Bewilligung entscheidet. EAs sind öffentliche Dokumente, die über Internet (zum Beispiel www.nbiap.vt.edu) zugänglich sind und belegen, dass mögliche Gefährdungen einer Freisetzung analysiert und sorgfältig abgewogen wurden.

Im Gegensatz zur EPA hat die APHIS nicht die Autorität, über ein Inverkehrbringen von GVOs und deren Produkten zu entscheiden. Damit aber ein Organismus in den Verkehr gebracht werden kann, muss zuerst bestätigt werden, dass er nicht das Potential eines Krankheits- bzw. Schaderregers besitzt. Somit ist die Genehmigung durch die APHIS eine wichtige Voraussetzung für die Inverkehrbringung.

Charakterisierend für die Zulassungspraxis ist das Grundprinzip, so wenig wie möglich administrativ zu regeln. So hat die USDA am 31. März 1993 für sechs Kulturpflanzen mit bestimmten gentechnischen Modifikationen, für die bereits durch zahlreiche Freisetzungsexperimente genügend Erfahrungswerte vorliegen, ein vereinfachtes Antragsverfahren eingeführt (Lehrman, 1993). Entsprechen die Pflanzen mit ihren Veränderungen den Auswahlkriterien, so ist nur noch eine Anmeldung («notification») der geplanten Freisetzungsexperimente 30 Tage vor dessen Beginn notwendig. Bei den sechs Kulturpflanzen handelt es sich um Mais, Baumwolle, Tomaten, Soja, Tabak und Kartoffeln.

3.1.2 EPA

Die EPA regelt Belange der Gesundheit von Umwelt und Mensch, die sich aus dem Gebrauch von Pflanzenschutzmitteln (Pestiziden) und anderen ertragsfördernden Mitteln in der Landwirtschaft ergeben. Die zugrunde liegenden Regelwerke sind der «Federal Insecticide, Fungicide and Rodenticide Act» (FIFRA), in dem die Entwicklung, Verkauf, Gebrauch und Entsorgung der Pestizide geregelt werden, der «Federal Food, Drug and Cosmetic Act» (FFDCA) und der «Toxic Substances Control Act» (TSCA), in dem Zulassungen von chemischen Substanzen und Mikroorganismen, unabhängig einer gentechnischen Veränderung, geregelt werden. Stoffe mit pestizider Wirkung, die von Pflanzen oder Mikroorganismen produziert werden, sind nach der FIFRA als Pestizide einzustufen und werden von daher darüber reguliert. Soll in diesem Sinne ein Pestizid zugelassen werden, darf es keine «unverhältnismässigen negativen Auswirkungen» gegenüber Nicht-Zielorganismen besitzen, wenn man die «ökonomischen, sozialen und umweltbezogenen Kosten und Nutzen des Pestizids» in Betracht zieht.

Über den FFDCA ist die EPA verantwortlich für die zulässige Konzentration der Pestizide in landwirtschaftlichen Produkten. Damit soll die Sicherheit der Nahrung gewährleistet werden. Der FFDCA enthält einen «GRAS» («generally considered as safe») -Passus. Werden Substanzen oder Pestizide als «GRAS» eingestuft, unterliegen sie keinen Toleranz- oder Schwellenwerten. Der «GRAS»-Status basiert entweder auf Erfahrungswerten der bisherigen Lebensmittelsicherheit oder auf der allgemeinen Meinung der kompetenten wissenschaftlichen Gemeinschaft.

Der TSCA berechtigt die EPA, Informationen bezüglich Sicherheit für Mensch und Umwelt in Bezug auf chemische Substanzen oder deren Gemische zu beschaffen. In diesem Sinne sind Organismen, und vor allem Mikroorganismen, als Gemische chemischer Substanzen anzusehen. Für die EPA sind «neue» Mikroorganismen solche, die durch die Kombination mit genetischem Material

aus Spendern anderer Gattungen entstanden sind. Diese müssen vor einem Inverkehrbringen auf ihre Sicherheit hin überprüft werden.

3.1.3 FDA

Für die FDA ist ebenfalls der FDCA massgebend, der das Inverkehrbringen folgender Produkte reguliert:

- Lebensmittel, die von Mikroorganismen, Pflanzen, oder Tieren produziert werden
- Produkte, die von Mikroorganismen, Pflanzen oder Tieren stammen
- Lebensmittelzusätze
- Pharmazeutika
- Kosmetika
- medizinische Hilfsmittel.

1992 gab die FDA eine Grundsatzklärung heraus, die besagt, dass die meisten Substanzen, die der Nahrung durch gentechnische Veränderungen hinzugefügt werden, grundsätzlich den gewöhnlichen Inhaltsstoffen ähnlich sind («GRAS») und deshalb nicht prinzipiell der Zulassung nach dem FFDCa unterworfen werden müssen. Erst wenn «objektiv messbare Eigenschaften die Sicherheit der Substanz in Frage stellen und eine Überprüfung und Zulassung vor der Markteinführung nötig machen», unterliegen diese Substanzen dem FFDCa. Solche Eigenschaften können zum Beispiel der Gehalt und das Gefährdungspotential bekannter Toxine, die Minderung des Nährwertes, allergene Effekte oder neue Inhaltsstoffe sein. Substanzen, die der Definition nach Pestizide sind, unterliegen dabei nicht dem FFDCa, sondern dem FIFRA. Wenn durch die FDA eine Zustimmung für das Inverkehrbringen erteilt worden ist, unterliegt die jeweilige gentechnisch modifizierte Pflanze nicht mehr den Zulassungsregeln der APHIS.

3.2 Europäische Union

Bestimmend für die Freisetzung und das Inverkehrbringen von GVOs ist die Richtlinie des Europäischen Rates vom 23.4.1990 über die absichtliche Freisetzung genetisch veränderter Organismen in die Umwelt (90/220/EWG). Diese Richtlinie wurde am 15.4.1994 an den technischen Fortschritt angepasst (Richtlinie 94/15/EG) und deren Anhang II, in dem Informationsanforderungen im Hinblick auf die Anmeldung einer absichtlichen Freisetzung enthalten sind, wurde unterteilt in:

- Teil A: Informationen für die Anmeldung einer Freisetzung von GVOs mit Ausnahme höherer Pflanzen enthalten
- Teil B: Informationen für die Anmeldungen einer Freisetzung genetisch veränderter höherer Pflanzen.

Die Angaben, die in diesem Teil enthalten sein müssen stimmen überein mit den geforderten Daten in der Schweiz (siehe Kapitel 3.3.) und sind im Anhang in Tabelle I dargestellt. An dieser Stelle sei der Hinweis eingefügt, dass vom Österreichischen Umweltbundesamt eine Studie über die «Ökologischen Effekte von Nutzpflanzen - Grundlagen für die Beurteilung transgener Pflanzen?» erstellt wurde, in denen verschiedene Verbesserungen für den Anhang II B vorgeschlagen werden (Torgersen, 1996).

Die Richtlinie überlässt die Zulassung der Organismen grundsätzlich den nationalen Behörden. Im Falle von Anträgen auf Freisetzung von GVOs werden die anderen EU-Staaten informiert und können innerhalb von 30 Tagen Stellungnahmen zu den geplanten Vorhaben abgeben. Im Falle von Inverkehrbringungen leitet die Behörde des Mitgliedstaates bei positiver Beurteilung des Antrages das Gesuch weiter an die EU-Kommission. Wenn kein Mitgliedland Einwände vorbringt, bewilligt die Kommission den Antrag. Die Mitgliedstaaten können das geplante Vorhaben aber auch innerhalb von 60 Tagen begründet ablehnen. Dann wird der Vorschlag der Kommission an den zuständigen Ausschuss weitergeleitet, in dem mit einem festgelegten Stimmenschlüssel über den Antrag abgestimmt wird. Sind sich EU-Kommission und Ausschuss nicht einig, entscheidet in letzter Instanz der Ministerrat. Wird ein Produkt nach der Richtlinie ordnungsgemäss zugelassen, so darf «ein Mitgliedstaat die absichtliche Freisetzung des in diesem Produkt enthaltenen Organismus in seinem Gebiet bei Einhaltung der in der Zustimmung dargelegten Bedingungen aus Gründen, die die in dieser Richtlinie geregelten Fragen betreffen, nicht verbieten, einschränken oder behindern» (Art. 15). Hat ein Land jedoch berechnete Annahmen, dass ein genehmigtes Produkt eine Gefahr für den Menschen oder die Umwelt darstellt, kann er den Einsatz oder Verkauf dieses Produktes in seinem Gebiet vorübergehend einschränken oder verbieten. Es muss die übrigen Mitgliedstaaten und die Kommission unter Angabe von Gründen unverzüglich benachrichtigen (Art. 16). Eine Entscheidung über die Zulassung wird dann innerhalb von drei Monaten in der Kommission bzw. dem Rat getroffen (Verfahren nach Art. 21).

In den Entscheidungen der Kommission vom 22.10.1993 (93/584/EWG) und vom 4.11.1994 (94/730/EG) werden die Kriterien für vereinfachte Verfahren bzw. die vereinfachten Verfahren für die Freisetzung genetisch veränderter Pflanzen gemäss Artikel 6, Absatz 5 der Richtlinie 90/220/EWG festgelegt. Ein Antrag auf vereinfachte Verfahren darf gestellt werden, wenn die zuständige Behörde der Meinung ist, dass genügend Erfahrung mit der Freisetzung eines bestimmten Organismus gesammelt worden ist.

Zur Zeit befindet sich die Richtlinie 90/220/EWG in der Revision. Die Europäische Kommission hat kürzlich einen Vorschlag zur Änderung der Richtlinie veröffentlicht, der die Pflicht zur Beobachtung von GVO nach der Lancierung auf dem Markt vorsieht (Euroscope - CH, Nr. 53, 1998, S.8).

3.3 Schweiz (Quelle: Gen-Lex-Entwurf BUWAL)

Grundlage für die geltende schweizerische Gesetzgebung zur Gentechnik im ausserhumanen Bereich ist der Artikel 24^{novies} Absätze 1 und 3 der Bundesverfassung vom 17. Mai 1992, der lautet:

«¹ Der Mensch und seine Umwelt sind gegen Missbräuche der Fortpflanzungs- und Gentechnologie geschützt.

³ Der Bund erlässt Vorschriften über den Umgang mit Keim- und Erbgut von Tieren, Pflanzen und anderen Organismen. Er trägt dabei der Würde der Kreatur sowie der Sicherheit von Mensch, Tier und Umwelt Rechnung und schützt die genetische Vielfalt der Tier- und Pflanzenarten.»

Am 15.8.1996 beschloss die Kommission für Wissenschaft, Bildung und Kultur (WBK) des Nationalrates eine Motion zur Gesetzgebung über die ausserhumane Gentechnologie («Gen-Lex-Motion»), die dem Bundesrat vom Nationalrat am 26.9.1996 und vom Ständerat am 4.3.1997 überwiesen wurde. Darin wurde der Bund aufgefordert, die Gesetzgebung auf Lücken, Mängel und Anpassungsbedürfnisse hin zu überprüfen. Mit der Gen-Lex-Motion sollen vor allen Dingen das Um-

weltschutzgesetz USG (seit 1.7.1997 in Kraft), das Epidemiengesetz EpG (ebenfalls seit 1.7.1997 in Kraft) inklusive weitere Erlasse zur Krankheitsbekämpfung, das Tierschutzgesetz, das Natur- und Heimatschutzgesetz, das Lebensmittelgesetz und das Landwirtschaftsgesetz revidiert werden. Die ausserhumane Gentechnologie ist heute vor allem durch das Umweltschutzgesetz geregelt, welches aufgrund der Gen-Lex-Motion durch den Einbezug der Würde der Kreatur und der biologischen Vielfalt sowie deren nachhaltigen Nutzung ergänzt werden soll. Der Schutz und die Erhaltung der biologischen Vielfalt und deren nachhaltigen Nutzung sollen ausserdem im Natur- und Heimatschutzgesetz und im Landwirtschaftsgesetz weitere Male gesetzlich festgeschrieben werden.

Im Einzelnen soll das Umweltschutzgesetz folgendermassen erweitert und veränderte werden:

- Es wird eine allgemeine Sorgfaltspflicht im Umgang mit umweltgefährdenden Organismen vorgeschrieben. Neu ist neben dem Schutz des Menschen, seiner Umwelt und der Fruchtbarkeit des Bodens vor schädlichen oder lästigen Einwirkungen nun auch der Schutz der biologischen Vielfalt und deren nachhaltigen Nutzung und die Achtung der Würde der Kreatur bei Pflanzen und Tieren festgeschrieben.
- Das Arbeiten mit gentechnisch veränderten oder pathogenen Organismen in geschlossenen Räumen ist melde- oder bewilligungspflichtig, Freisetzungsversuche oder das Inverkehrbringen sind grundsätzlich bewilligungspflichtig.
- Bei Inverkehrbringen von Organismen müssen diese für den Abnehmer entsprechend gekennzeichnet werden und muss der Abnehmer zu einem vorschriftsmässigen Umgang angewiesen werden.
- Der Inhaber eines Betriebs oder einer Anlage, in denen mit umweltgefährdenden Organismen umgegangen wird, haftet für eintretende Schäden, die Verjährungsfrist wird auf dreissig Jahre verlängert. Inhaber von Anlagen sind in diesem Sinn auch Landwirte, die transgene Pflanzen anbauen.
- Es wird eine Eidgenössische Ethikkommission für den ausserhumanen Bereich bestellt, die mit der Eidgenössischen Fachkommission für biologische Sicherheit und mit der nationalen Ethikkommission für den Humanbereich zusammenarbeitet und aus ethischer Sicht Stellung zu Entwicklungen und Anwendungen der Biotechnologie nimmt und den Bundesrat und vollziehende Behörden beim Erlass von Vorschriften berät.

Das schweizerische Recht wird, was die Verordnungen betrifft, den Grundzügen und den Standards des EG-Rechts entsprechen. Es geht darüber hinaus, wo es die Wahrung der biologischen Vielfalt und die Würde der Kreatur in der Bundesverfassung und den Grundsatz der Nachhaltigkeit gesetzlich festschreibt und dass neben gentechnisch veränderten Organismen auch alle pathogenen Organismen berücksichtigt werden.

Zum Schutz des Menschen und seiner Umwelt vor schädlichen oder lästigen Einwirkungen hat der Bundesrat Entwürfe für drei Verordnungen (Einschliessungsverordnung ESV, Freisetzungsverordnung FSV und Verordnung über den Schutz der Arbeitnehmerinnen und -nehmer gegen Gefährdung durch Mikroorganismen) zur Vernehmlassung freigegeben. In diesen Verordnungen werden die Gesetzesartikel des Umweltschutzgesetzes und des Epidemiengesetzes konkretisiert. Die Vernehmlassungsfrist ist am 31.3.1998 abgelaufen.

3.3.1 Freisetzungsverordnung FSV

Ziel der FSV ist der Schutz des Menschen und seiner Umwelt vor lästigen oder schädlichen Einwirkungen, die sich beim Umgang mit gentechnisch veränderten Organismen in der Umwelt, das

das heisst ausserhalb von Anlagen und Laboratorien, die als geschlossenen Systeme gelten, ergeben könnten. Sie regelt sowohl die Freisetzung zu experimentellen Zwecken (Freisetzungsversuche) als auch das Inverkehrbringen gentechnisch veränderter oder pathogener Organismen. Die Einfuhr von Organismen ist dabei dem Inverkehrbringen gleichgestellt. Der Schutz umfasst nicht alleine die Verhinderung von Verunreinigungen oder Schäden an der unbelebten Umwelt (Boden, Wasser und Luft), sondern auch die Erhaltung der biologischen Vielfalt von Tieren und Pflanzen sowie die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit.

Die FSV stützt sich auf die Instrumente **Risikobewertung** (Pflicht liegt beim Antragsteller), **behördliche Überprüfung** (es gilt ein grundsätzliches Bewilligungsverfahren, das mit Auflagen verknüpft werden kann) und **Information der Öffentlichkeit** (betrifft sowohl die Veröffentlichung von Bewilligungsgesuchen als auch die Kennzeichnung von Produkten). Für den Vollzug ist vorgesehen, bestehende Bewilligungsverfahren des Bundes zu nutzen und die neue Bewilligungskompetenz in diese bestehenden Verfahren zu integrieren. So ist ein Gesuch für die Anerkennung einer neuen (gentechnisch veränderten) Sorte weiterhin an das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) zu richten, der Einbezug der Umweltaspekte erfolgt dann durch verwaltungsinterne Koordination mit dem Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) bzw. dem Bundesamt für Gesundheit (BAG). Für Freisetzungsversuche (neu) ist das BUWAL federführendes Amt.

Die FSV erfasst den Umgang mit allen Organismen, regelt aber primär gentechnisch veränderte und pathogene Organismen. Ausgenommen sind nicht-gentechnisch veränderte Organismen, die als Pflanzenbehandlungsmittel für den landwirtschaftlichen Gebrauch vorgesehen sind. Deren Inverkehrbringen richtet sich nach der Pflanzenbehandlungsmittel-Verordnung.

Bei einem Inverkehrbringen von Organismen wird vom Abgeber eine Selbstkontrolle verlangt. Dies heisst, er muss vorher abklären, welche Auswirkungen diese Organismen auf Mensch und Umwelt haben könnten. So sind generell Überlebensfähigkeit, Ausbreitung und Vermehrung der Organismen und deren Einwirkungen auf Mensch sowie auf andere Organismen und Ökosysteme zu überprüfen. Bei gentechnisch veränderten oder pathogenen Organismen wird dieser Grundsatz der Selbstkontrolle durch die hohen Anforderungen im Rahmen der Bewilligungspflichten weit mehr konkretisiert (s. unten).

Freisetzungsversuche mit gentechnisch veränderten oder pathogenen Organismen:

- Es besteht eine Bewilligungspflicht, die vom BUWAL erteilt wird. Ein Exemplar der Gesuchsunterlagen darf keine schutzwürdigen Daten enthalten, damit es der Öffentlichkeit jederzeit zugänglich gemacht werden kann. Die Angaben, die vertraulich behandelt werden sollen, bestimmt der Antragsteller. Die Antragsunterlagen sind 30 Tage zur Einsicht freigegeben.
- Die Freisetzung ist untersagt, wenn von den Organismen folgendes zu erwarten ist:
 - * Beeinträchtigung der Population geschützter oder für Ökosystem wichtiger Organismen
 - * Aussterben irgendeiner Art von Organismen
 - * Störungen des Stoffhaushaltes
 - * Beeinträchtigungen wichtiger Funktionen des Ökosystems, vor allem der Fruchtbarkeit des Bodens
 - * Verbreitung unerwünschter Eigenschaften in anderen Organismen.
- Das Bewilligungsgesuch muss genaue Angaben zu Eigenschaften der verwendeten Organismen einschliesslich ihrer Veränderung, zu den Versuchsbedingungen und über die betroffenen Umwelt enthalten (s. unten). Diese Angaben können aus der Literatur (andere Freisetzungsversuche) oder eigene Daten aus vorangegangenen Versuchen sein. Weiterhin muss der Gesuchsteller die

Risiken seines Versuchs für Mensch und Umwelt bewerten und belegen, dass nach aktuellen Wissen keine Gefährdung für Mensch und Umwelt besteht.

- Jeder Gesuchssteller muss sicherstellen, dass mögliche schädliche Einwirkungen festgestellt, abgewehrt oder behoben werden können. Dafür muss der Projektverantwortliche bei Freisetzungsversuchen eine gesetzliche Haftpflichtversicherung über 20 Millionen Franken abschließen, bei Freisetzungsversuchen mit Pflanzen über mindestens 5 Millionen Franken, da Pflanzen in der Regel kontrollierbarer sind und ein höheres Mass an Kenntnissen vorhanden ist. Ist der Projektverantwortliche der Landwirt selbst, muss er diese Haftpflicht sicherstellen.
- Änderungen der Versuchsbedingungen bzw. neue Erkenntnisse, die eine Neubewertung der Risiken erfordern könnten, sind der Bewilligungsbehörde unverzüglich zu melden.
- Die Bewilligung kann mit Auflagen verknüpft werden, die dem Schutz von Mensch und Umwelt dienen, zum Beispiel kann das BUWAL verlangen, dass der Versuch auf Kosten der Gesuchssteller durch Behörden oder Dritte überwacht wird oder begleitende Sicherheitsuntersuchungen veranlassen.
- Freisetzungsversuche werden vom BUWAL überwacht, das zu diesem Zweck eine Begleitgruppe einsetzen kann.
- Spätestens 90 Tage nach Abschluss des Freisetzungsversuch muss dem BUWAL ein Bericht vorgelegt werden, der explizit die Auswirkungen der Organismen auf die Umwelt beschreibt.
- Das BUWAL führt ein Verzeichnis aller bewilligten Freisetzungsversuche.

Inverkehrbringen von gentechnisch veränderten oder pathogenen Organismen

- Es besteht eine generelle Bewilligungspflicht. Die Bewilligung kann in einem neuen Verfahren oder im Rahmen eines bereits bestehenden Verfahrens geregelt werden. Besteht für Organismen bereits ein entsprechendes Bewilligungsverfahren, ist das Gesuch nach diesem massgeblichen Verfahren bei der entsprechenden Bewilligungsbehörde einzureichen. Es ist dann um diejenigen Angaben, die zur Beurteilung des Risikos für Mensch und Umwelt notwendig sind (FSV-spezifischer Teil) zu ergänzen.
- Die zuständige Behörde sorgt für die Weiterleitung des FSV-spezifischen Teils an das BUWAL bzw. das BAG.
- Die Bewilligung wird von dem entsprechenden Bundesamt erteilt, wenn die Anforderungen nach dem massgeblichen Bewilligungsverfahren erfüllt sind und das BUWAL bzw. das BAG aufgrund der Beurteilung der Umweltdaten zustimmen. Beispiel: Gentechnisch veränderte Pflanzen sind bei der Bewilligung der Saatgut-Verordnung unterworfen und werden vom BLW zugelassen, wenn das BUWAL keine Gefahr für Mensch und Umwelt erkennen kann.
- Die Umweltdaten müssen unter anderem spezifische Angaben zu den Organismen (s. unten), Daten aus Freisetzungsversuchen, andere Beurteilungen oder Bewilligungen ausländischer Behörden und eine Risikobewertung enthalten.
- Die Bewilligung kann mit Auflagen verknüpft werden, zum Beispiel die Durchführung eines Freisetzungsversuches.
- Wenn neue Erkenntnisse bezüglich der Umweltsicherheit auftreten, müssen das BUWAL bzw. das BAG einen Antrag an die zuständige Behörde stellen, die wiederum die Auflagen für das In-

verkehrbringen ändern oder aber das Inverkehrbringen vorübergehend oder endgültig verbieten kann.

- Organismen, die in Verkehr gebracht werden, müssen gekennzeichnet werden. Ebenso müssen auch Produkte gekennzeichnet werden, wenn nicht sicher ist oder nicht ausgeschlossen werden kann, dass sie gentechnisch veränderte Organismen enthalten.
- Die Überwachung der Sorgfaltspflicht im Umgang mit Organismen und die Marktüberwachung obliegt den Kantonen. Die für die Kontrollen erforderlichen Proben und Nachweismittel (z.B. Gensonden) sind den zuständigen Behörden kostenlos zur Verfügung zu stellen. Die Kosten der Kontrolle tragen dagegen die Kantone.
- Die Kompetenz, Bekämpfungsmassnahmen zu ergreifen oder anzuordnen, falls durch die Organismen Schäden auftreten sollten, liegt bei den Kantonen.
- Regelmässige Erhebungen sind nicht geplant, können aber vom BUWAL durchgeführt werden.
- Das BUWAL führt ein Verzeichnis aller gentechnisch veränderter Organismen, deren Inverkehrbringen bewilligt worden ist. Dieses Verzeichnis ist öffentlich zugänglich.

In Tabelle I im Anhang sind die erforderlichen Angaben bei Gesuchen für Freisetzungen und Inverkehrbringen von gentechnisch veränderten Pflanzen in der Schweiz (FSV, Anhang 2.2) dargestellt. Grundsätzlich ist die FSV mit der EU-Richtlinie 90/220/EWG (Anhang II B) harmonisiert. Sie geht darüber hinaus, indem sie neben den gentechnisch veränderten auch natürlich pathogene, nicht gentechnisch veränderte, Organismen umfasst und die Sicherstellung der gesetzlichen Haftpflicht regelt.

4. Zugelassene Pflanzen in den USA und der EU

4.1 Die zur Zeit wichtigsten Transformationen (nach Franck-Oberaspach & Keller, 1996)

Herbizidtoleranz

Durch die Transformation erlangen die Pflanzen eine Toleranz gegenüber den herbiziden Wirkstoffen Bromoxynil, Phosphinothricin (Handelsname «Basta») oder Glyphosat (Handelsname «Round-up»). Entweder wird über eine Genamplifikation bestimmter Zielenzyme die Wirkung der Herbizide gemindert, oder in der Pflanze werden bakterielle Enzyme exprimiert, die die Wirkstoffe der Herbizide blockieren bzw. abbauen. Die Herbizide und ihre Abbauprodukte bleiben messbar in den Pflanzen zurück.

Schadinsektenresistenzen

Alle zur Zeit kommerzialisierten, transgenen Kulturpflanzen wurden mit Genen des *Bacillus thuringiensis* δ -Endotoxins transformiert. Weitere Labor- und Freisetzungsexperimente befassen sich mit der Expression von Lectinen und Protease-Inhibitoren.

Virusresistenzen

Bei den Pflanzensorten, die auf dem Markt sind, handelt es sich um «pathogen-derived resistances» die hauptsächlich auf der Expression von Hüllprotein-Genen beruhen. Weitere Gene, die in der Versuchsphase sind, sind viruseigene Replikasen und «Movement»-Proteine.

Pilzresistenzen

Bis jetzt ist keine pilzresistente Pflanzensorte für den Anbau zugelassen, es werden aber bereits erste Freisetzungsversuche durchgeführt (James, 1997; www.aphis.usda.gov; www.nbiap.vt.edu). Aus den Angaben über laufende Freisetzungsversuche geht jedoch nicht hervor, welche Resistenzstrategie verfolgt bzw. welche Gene transformiert wurden. Dieses ist noch «Confidential Business Information» (CBI). Generell kommen für Transformationen in Frage: antifungale Proteine, v.a. Hydrolasen wie Chitinasen, Glucanasen und Proteinasen; fungitoxische Proteine wie Lectine, PR-Proteine und Phenole, und Phytoalexine wie Lignin und Stilben. Daneben werden auch monogene Resistenzen, die nicht nach ihrem Genprodukt, sondern nach ihrer Wirkungsweise (hypersensitive Reaktion) charakterisiert werden, für die Züchtung resistenter Sorten gentechnologisch erforscht. Nach Einschätzung von Experten ist wohl zu vermuten, dass Hydrolasen-exprimierende Pflanzensorten als erstes für das Inverkehrbringen genehmigt werden (B. Keller, pers. Mitteilung).

Metabolismusveränderungen

Metabolismusveränderungen betreffen sowohl die Produktequalität, zum Beispiel Stärkezusammensetzung von Kartoffeln oder das Ölsäureprofil von Raps, als auch agronomische Eigenschaften, zum Beispiel verbesserte Standortanpassung, Stresstoleranz, längere Haltbarkeit, Veränderungen von Blütenfarben, Halmverkürzungen, Photoperiodismus (Frühreife) oder Nährstoffveränderungen.

Männliche Sterilität

Bei vielen Kulturpflanzen, zum Beispiel Raps, Mais und Sonnenblume ist es zur Herstellung von Hybridsaatgut notwendig, die Mutterlinien zu kastrieren, um eine Selbstbefruchtung zu verhindern. Bei der Sonnenblume wird der Schwerpunkt in der Hybridzüchtung auf cytoplasmatisch männlich sterile (CMS) Pflanzen gelegt, die keine befruchtungsfähigen Pollen bilden (Horn & Friedt, 1997). Das CMS-Gen ist auf der DNA der Mitochondrien lokalisiert, weshalb die Sterilität nur maternal weitervererbt wird.

Mais und Raps werden gentechnisch sterilisiert, indem ein Enzym (Barnase) mit einem antherenspezifischen Promotor gekoppelt wird (Bottermann, 1996). Barnase wird somit nur in den Antherenzellen exprimiert, wo es die normale Zellaktivität hemmt und die Pollenbildung verhindert. Mit diesem System gekoppelt ist eine sog. «fertility restoration» Komponente, bestehend aus demselben Promotor mit dem Enzym Barstar. Dieses hemmt die Barnase. Kreuzt man männlich sterile Mutterlinien mit Linien, die die «fertility-restoration» Komponente enthalten, erhält man fertile Samen.

Andere

Hierunter fallen Nematodenresistenzen, Bakterienresistenzen oder die Expression pharmazeutischer Produkte. Diese spielen zur Zeit noch eine untergeordnete Rolle.

In den Tabellen II bis XI im Angang sind die Pflanzensorten aufgelistet, die weltweit für den Anbau zugelassen sind bzw. für die weltweit die Inverkehrbringung beantragt wurde. Die Angaben wurden aus Datenlisten des USDA/APHIS, des Robert-Koch-Institutes (RKI) und der Green Industry Biotechnology Platform (GIBiP) entnommen. Für nähere Angaben für Japan und China sei vor allem auf die GIBiP-Datenbanken verwiesen.

In der Schweiz ist noch keine transgene Pflanzensorte für den Anbau zugelassen. Allerdings sind Round-up - tolerante Sojabohnen der Firma Monsanto (seit Dezember 1996) und insektentoleranter Mais der Firma Novartis (seit Januar 1998) und Northrup King (seit Oktober 1998) als Nahrungs- und Futtermittel freigegeben (www.oecd.org; NZZ vom 13.10.1998).

4.2 Anträge auf Freisetzungen in den USA und der EU

Die meisten Freisetzungsvorhaben in den USA und in Europa werden mit Mais durchgeführt (Anhang, Abb. A). In den USA folgen Tomate, Sojabohne und Kartoffeln und in nennenswertem Umfang noch Baumwolle und Melone/Kürbis (Anhang, Abb. A). In Europa werden Freisetzungsvorhaben nach Mais vor allem mit Raps, Kartoffeln und Zuckerrüben durchgeführt (Anhang, Abb. A). Nennenswerte Varietäten sind ausserdem Tomaten, Chicorée und Tabak.

Die meistuntersuchten Eigenschaften sind Herbizidtoleranz, Insekten- und Virusresistenz, veränderte Produktequalität und - in Europa - männliche Sterilität (Anhang, Abb. B). In den USA werden bereits erste Freilandversuche mit Pflanzen, die pharmazeutische Produkte exprimieren, gesammelt (zum Beispiel Mais von Limagrain). Auch Pflanzen mit mehreren Krankheitsresistenzen (Kartoffeln mit Resistenz gegen den Kartoffelkäfer, *Phytophthora* und PLRV (potato leaf roll virus) von Monsanto) werden zur Zeit im Freiland getestet (s. www.aphis.usda.gov).

5. Anbaubegleitende Forschung und Monitoring

5.1 Forschung nach der Zulassung - Warum?

Mit anbaubegleitender Forschung nach der Zulassung soll die Verantwortung für eine neue Technologie übernommen werden, deren Langzeitfolgen nicht immer vorhersehbar sind. Auch bei Pflanzenschutzmitteln, deren Einsatz in der Landwirtschaft vergleichbar mit transgenen Pflanzen sehr ähnliche Ziele verfolgt und viele unerwünschte Effekte auf die Umwelt mit sich bringen können, hat es sich bewährt, zuerst provisorische Bewilligungen mit der Auflage eines Monitorings für Spezialfälle auszusprechen, bevor eine unbeschränkte Markteinführung erfolgt.

Oberstes Ziel der Untersuchungen, die im Rahmen des Zulassungsverfahrens durchgeführt werden, ist, dass transgene Pflanzen keine Gefährdung für Mensch und Umwelt darstellen dürfen. Deshalb werden vor dem Inverkehrbringen Toxizität und Allergenität der Genprodukte untersucht (vergleiche Anforderungskatalog der FSV, Anhang Tab.1), und wird die Quantität kritischer Sekundärmetaboliten (zum Beispiel Solanacin in Kartoffeln) im Rahmen von Sortenprüfungen bei neuen Sorten überprüft. Weiterhin werden Daten oder, wenn nicht möglich zumindest Aussagen, zu Wachstum und Fortpflanzung der Pflanze, Wechselwirkungen mit Nicht-Zielorganismen, Transfer von genetischem Material auf andere Organismen oder die Möglichkeit des Auskreuzens verlangt.

Warum ist Begleitforschung nach der Zulassung noch erforderlich? Aus wissenschaftlicher Sicht sind mögliche langfristige Auswirkungen aufgrund der Plastizität von Eigenschaften verbunden mit einer hohen Variabilität der Umweltbedingungen nicht vorherzusagen. Denn aus räumlich und zeitlich begrenzten Experimenten lässt sich nur schwer auf langfristige Umweltwirkungen schließen. Mangelnde Erfahrung im Umgang mit gentechnisch veränderten Pflanzen und mangelndes Wissen über ökologische Prozesse von nicht-transgenen Pflanzen im Agrarraum kommen erschwerend hinzu.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass potentiell alle Pflanzenarten, die neu in eine Umgebung eingebracht werden, ein Risiko darstellen können, seien es exotische Pflanzenarten oder gezüchtete, neue Pflanzensorten. So können viele der genannten möglichen negativen Auswirkungen gleichermaßen von transgenen und konventionell gezüchteten Pflanzensorten verursacht werden, zum Beispiel Auswirkungen, die aus einem Transfer von Genen und Eigenschaften auf andere Organismen resultieren oder eine verstärkte Ausbreitungstendenz. Das wirft die Frage auf, warum speziell für die Zulassung transgener Pflanzen ein Monitoring als Auflage gefordert wird und konventionell gezüchtete Pflanzensorten ohne vergleichbare Auflagen zur Begleitforschung zugelassen wurden und immer noch werden. Denn im Prinzip ist es bislang versäumt worden und wäre es legitim, für alle neuen Varietäten, die aufgrund ihrer Eigenschaften potentiell ein Risiko darstellen, eine Nachzulassungs-Forschung zu fordern. In diesem Sinn kann die Auflage zur Begleitforschung bei dem Inverkehrbringen gentechnisch veränderter Pflanzen als Anstoß für allgemeine, agrarökologische Forschung betrachtet werden, mit dem Ziel, zukünftig das Verständnis evolutiver und ökologischer Prozesse in der Agrarlandschaft zu vertiefen. In diesem vorgeschlagenen Konzept ist vorgesehen, die Begleitforschung an transgenen Pflanzen innerhalb der Integrierten Produktion (IP) im Vergleich zur IP ohne transgene Pflanzensorten durchzuführen. Indem die transgenen Sorten mit konventionell gezüchteten Pflanzensorten verglichen werden, wird allgemeine agrarökologische Forschung durchgeführt werden und es zudem möglich, zu überprüfen, inwieweit die gentechnischen Ansätze mit den Zielen der IP verträglich sind.

Bei der Bewertung der potentiellen Auswirkungen ist es allerdings gerechtfertigt, konventionell gezüchtete und transgene Pflanzen differenziert zu betrachten. Denn die Übertragung und Verbrei-

tung von Eigenschaften über Art- und Reichsgrenzen hinweg, wie sie die Gentechnik erlaubt, wird in ökologische und evolutive Prozesse anders eingreifen als es die züchterische Tätigkeit bis jetzt getan hat. So kann durch die räumlich und zeitlich veränderte Ausprägung von Merkmalen die Wahrscheinlichkeit des Eintretens von Nebeneffekten, die selbst nichts Neues sein müssen, erhöht werden. Zum Beispiel sind transgene, virusresistente Pflanzen, die Hüllproteine exprimieren, im Prinzip Pflanzen mit einer «Erstinfektion». In einem Feld mit transgenen Viruspflanzen handelt es sich somit bei jeder natürlichen Virusinfektion um eine Doppelinfektion. Doppelinfektionen zweier Virusarten und der Austausch von DNA (Rekombination) ist prinzipiell nichts neues, aber in einer Monokultur transgener Pflanzen ist die Wahrscheinlichkeit, dass rekombinatorische Prozesse auftreten, erhöht (Schütte, 1995; de Zoeten, 1995). Ein anderes Beispiel sind transgene rhizomaniar resistente Zuckerrüben, die in allen Pflanzenteilen, auch in den oberirdischen, das Hüllprotein des Rhizomania-Virus exprimieren. Das Virus selbst ist auf das Wurzelgewebe beschränkt. Durch die transgenen Pflanzen treffen jetzt andere - oberirdisch infizierende - Viren, die bisher nicht mit Rhizomania-Viren in Kontakt gekommen sind, auf Teile dieses Genoms, wodurch nicht nur die Wahrscheinlichkeit von heterologen Rekombinationen erhöht ist (Schütte, 1995), sondern theoretisch auch qualitativ neue Organismen entstehen können.

Die Notwendigkeit, aus diesen Gründen einige Parameter auch nach der Zulassung anbaubegleitend zu untersuchen, wird in vielen Ländern erkannt und es sind Bestrebungen im Gange, entsprechende Untersuchungen gesetzlich zu fordern:

- in der EU ist die Richtlinie 90/220/EU für die Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen (GVO) in der Revision. Darin wird die Pflicht zur Beobachtung von GVOs nach Marktzulassung eingeführt (vgl. Euroscope-CH, Nr. 53, 1998, S. 8).
- Frankreich hat im Sortenkatalog für den transgenen Bt-Mais für die Züchter die Auflage, bei Inverkehrbringen ein Begleituntersuchungs-Programm zu erstellen und durchzuführen, gesetzlich verankert (Arrêté du 5 février 1998 portant modification du catalogue officiel des espèces et variétés de plantes cultivées en France, Art. 3). Darin sind folgende Parameter vorgesehen: Effizienz des Bt-Mais, Resistenzentwicklung des Maiszünslers, Effekte auf Kleinsäuger, Nützlinge, Entomofauna, Bodenbakterien und Darmflora von maisfressenden Tieren.
- In Deutschland hat der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (SRU) die Empfehlung einer Dauerbeobachtung von GVO ausgesprochen (SRU, 1998). Das Umweltbundesamt (UBA) hat eine Studie in Auftrag gegeben zur Erarbeitung eines Monitoringkonzeptes, die kurz vor der Fertigstellung ist (Stand September 1998).

Mögliche negative Auswirkungen, die allgemein thematisiert werden (vgl. OECD, 1993a; Schütte, 1995; Rissler & Mellon, 1996; Schulte & Käppeli, 1996; Snow & Palma, 1997), beziehen sich auf:

- die Kulturpflanze selbst: diese umfassen eine gesteigerte Ausbreitungs- und Verwilderungstendenz der Kulturpflanzen, erhöhte Unkrautgefahr, ungewöhnliche Merkmalsausprägungen durch pleiotrope Effekte oder Positioneffekte, Produktion von Stoffwechselprodukten mit toxischem oder allergenem Potential.
- die Gene und Genprodukte: diese umfassen die Genexpression (Niveau, Stabilität, Spezifität und Induktion), die Abbaubarkeit sowohl der DNA als auch der Produkte im Pflanzengewebe und im Boden und den Transfer von DNA auf Bodenorganismen.
- Auswirkungen auf Nicht-Zielorganismen: diese können vielfältig sein, zum Beispiel die Weitergabe der eingebrachten Eigenschaft(en) auf verwandte Pflanzenarten mit möglichen Konsequenzen (zum Beispiel verbesserte Konkurrenzfähigkeit), unerwartete Nebeneffekte auf Nützlinge

und Bienen, aber auch auf Zersetzer wie Regenwürmer oder Springschwänze (kleine Insekten, die in der Streuschicht des Bodens leben) und Mikroorganismen im Boden und die Vermehrung und Verbreitung sekundärer Krankheits- und Schaderreger.

- unerwünschte Effekte auf Zielorganismen: bei krankheits- und schädlingsresistenten Pflanzen ist zu erwarten, dass sich die Zielorganismen an die pflanzlichen Eigenschaften anpassen und damit die Resistenzmechanismen unwirksam werden. Die Beobachtung dieser Anpassung (Resistenzentwicklung) und deren Vermeidung durch spezielle Managementstrategien sind zur Zeit ein wichtiger, wenn nicht sogar der wichtigste, Gegenstand von Monitoring und Begleitforschung in den USA und in Europa.
- Entstehen neuer Virusarten: virusresistente Pflanzen nehmen unter den transgenen krankheitsresistenten Kulturpflanzen aus zwei Gründen eine Sonderstellung ein: a) die Virusresistenz wird durch die Übertragung viruseigener Gensequenzen in das Pflanzengenom erreicht («pathogen-derived resistance»). b) Viren sind natürliche Gentechnologen, die nicht nur das Wirtsgenom perfekt manipulieren können, sie entwickeln sich ausserdem durch die Übernahme und den Austausch von DNA weiter. Rekombination ist bei ihnen ein normaler, evolutiv bedeutsamer Prozess, der permanent stattfindet. Durch den Anbau von Sorten, die Virushüllproteine exprimieren, kann sich die Wahrscheinlichkeit der Entstehung neuer Virusarten, unter Umständen mit verändertem Wirtskreis, erhöhen.
- Effekte auf Bodenfruchtbarkeit.

An dieser Stelle wird nicht ausführlicher auf die möglichen Auswirkungen von transgenen Pflanzen eingegangen, sondern nur nochmals auf die anfangs genannte Literatur verwiesen, die diese Thematik erschöpfend behandelt. Darüber hinaus sind die einzelnen Parameter im folgenden Kapitel genauer behandelt.

5.2 Begleitforschung nach der Zulassung und Monitoring - Begriffsbestimmung, Ziele, Inhalte

Doch wie soll die anbaubegleitende Forschung aussehen? Jepson et al. (1994) betonen bereits die Notwendigkeit, Laboruntersuchungen, Begleitforschung und langfristiges Beobachten (Monitoring) zu kombinieren, wenn man zum Beispiel die ökologischen Effekte eines Toxins, das neu räumlich und zeitlich weitverbreitet in eine Umgebung eingebracht wird, abschätzen will.

Begleitforschung wird dadurch charakterisiert, dass die Projekte zeitlich begrenzt und darauf angelegt sind, Kausalzusammenhänge zu belegen. Im Gegensatz dazu zeichnet sich Monitoring, wie es in dieser Studie verstanden wird, dadurch aus, daß die einzelnen Vorhaben zeitlich nicht begrenzt sind und es nicht zwingenderweise Kausalzusammenhänge aufdecken muss. Es handelt sich also um ein reines Beobachten, das im Sinne eines Früherkennungs oder -warnsystems Veränderungen im Agrarsystem möglichst frühzeitig aufdecken soll. Da Veränderungen oft an nicht vorhersehbaren Orten und/oder Organismen auftreten, sollte das Monitoring grossräumig durchgeführt werden. Es bietet sich an, bei bestimmten Fragestellungen mit aussagekräftigen Indikatoren zu arbeiten. Oftmals werden erst Daten aus der Begleitforschung den Anstoss für ein Monitoring liefern. Das ist zum Beispiel der Fall, wenn sich in Untersuchungen messbare Auswirkungen zeigen, die Konsequenzen im Feld jedoch auf lange Sicht nicht abzusehen sind. Da sich voraussichtlich das stufenweise Vorgehen einbürgern wird und sich ein langfristiges Monitoring in den meisten Fällen erst etablieren wird, wenn die Ergebnisse aus der Begleitforschung Anlass dazu geben, wird in dem von uns vorgeschlagenen Konzept nicht mehr zwischen den beiden unterschieden. Es wird statt

dessen allgemein aufgezeigt, welche Prozesse und Auswirkungen nach der Zulassung weiter beobachtet werden sollten. Dabei ist zu beachten, dass sowohl Begleitforschung als auch ein Monitoring nur sinnvoll sind, wenn

- a) über die Bewertung gefundener Effekte (qualitativ und quantitativ) gesellschaftlicher Konsens herrscht. Denn eine ökologische Veränderung wird erst zum Schaden durch die gesellschaftliche Bewertung im Abgleich mit deren Wertevorstellung (Kowarik, 1996).
- b) geeignete Massnahmen zur Verfügung stehen, die die Auswirkung abschwächen oder ganz beenden, zum Beispiel durch das Verbot eines weiteren Anbaus.

Wie oben bereits erwähnt, soll die Begleitforschung an transgenen Pflanzen innerhalb der Integrierten Produktion (IP) im Vergleich zur IP ohne transgene Pflanzensorten durchgeführt werden. Dabei werden die transgenen Sorten immer mit konventionell gezüchteten Pflanzensorten verglichen.

5.3 Auswahl der Parameter im Hinblick auf eine nachhaltige Landwirtschaft

Bei der Auswahl der Parameter, die im Falle eines Anbaus transgener Pflanzen in der Schweiz zu untersuchen und beobachten sind, haben wir uns einerseits nach den Leitbildern der Nachhaltigkeit und der ökologischen Verträglichkeit gerichtet, andererseits die Erfahrungen aus der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln berücksichtigt. Die Parameter beziehen sich auf die Phänologie der Kulturpflanze, auf die Gene und Genprodukte und auf die Umweltauswirkungen. Zusätzlich wurden sie durch agronomische Aspekte ergänzt, die Aussagen zu dem Nutzen transgener Pflanzen für eine ökologisch vertretbare Landwirtschaft erlauben. Das Prinzip des «case-by-case», bei dem jede neue Pflanzensorte nach den Eigenschaften der Pflanze selbst, der eingebrachten Eigenschaft und nach den Bedingungen des Gebietes, in dem sie angebaut werden soll, beurteilt wird, ist im Hinblick auf das Monitoring teilweise aufgegeben worden. Stattdessen wurde eine Liste an Parametern erarbeitet, die für alle Pflanzensorten gültig ist, aus der jedoch einzelne Punkte bei bestimmten Pflanzensorte weggelassen werden können. Dies hat folgende Gründe:

- ausgehend von dem Leitbild der nachhaltigen Landwirtschaft sind viele der möglichen negativen Auswirkungen zu vermeiden. Deshalb sollten sie, unabhängig von Pflanzenart und Eigenschaft, untersucht und beobachtet werden.
- zur Zeit ist noch nicht abzusehen, welche Pflanzensorten auf den Markt kommen werden. Es macht unseres Erachtens wenig Sinn, für jede neue Sorte ein neues Monitoring aufzubauen, das wahrscheinlich zu grossen Teilen die gleichen Untersuchungsparameter beinhalten wird wie laufende Programme. Deshalb haben wir uns entschlossen, eine allgemeine Liste an Parametern zu erstellen, die zu gegebener Zeit für die jeweiligen Pflanzen eingeschränkt werden kann. Dieses wird im Kapitel 6 an zwei Fallbeispielen exemplarisch dargestellt.
- aus organisatorischen Gründen ist es unter Umständen nicht möglich, für jede neu zugelassene Pflanze ein anderes Monitoring-Programm durchzuführen, da das Monitoring einerseits langfristig angelegt werden muss und andererseits die gesamte Agrarstruktur -und nicht nur einzelne Felder - berücksichtigen sollte.

Wie bereits oben dargelegt, war der Aspekt der Nachhaltigkeit ein wichtiges Kriterium bei der Auswahl der Untersuchungsparameter des vorliegenden Konzeptes. Deshalb soll an dieser Stelle näher auf Nachhaltigkeit und weltweit anerkannte Indikatoren, die es ermöglichen sollen, neue Techniken oder Anbausysteme auf ihren Wert für eine nachhaltige Entwicklung zu überprüfen, dargestellt.

Nachhaltigkeit ist ein ungenauer, schwer fassbarer Begriff, mit dem zahlreiche Definitionen, Interpretationen und Vorstellungen verknüpft werden. Nachhaltigkeit berücksichtigt drei Schlüsselfaktoren: Ökonomie, Ökologie und soziale Verträglichkeit (vgl. Maeschli, 1998). Um den Begriff operabel zu machen und um das Leitbild der Nachhaltigkeit zu verwirklichen, werden von verschiedenen Organisationen, zum Beispiel von der Commission on Sustainable Development (CSD) der Vereinten Nationen (UN) oder der CIAT-UNEP Listen mit Nachhaltigkeits-Indikatoren entwickelt (vgl. www.un.org/esa/sustdev/worklist.htm; www.ciat.cgiar.org/indicators/backgrnd.html).

Bei der Auswahl der Untersuchungsparameter für die anbaubegleitende Forschung haben wir in den Bereichen der Ökologie und der Landwirtschaft vielfach auf diese Nachhaltigkeits-Indikatoren zurückgegriffen. Im Folgenden sollen deshalb die Indikatoren für den Bereich Ökologie aufgelistet werden, die von der CSD (UN) und der CIAT-UNEP weltweit und vom Bundesamt für Bildung und Wissenschaft (BBW) (Bosshard et al., 1997) und im Rahmen des Biodiversitäts-Monitoring Schweiz (BDM-CH) (Hintermann & Weber, 1996) speziell für die Schweiz entwickelt wurden. Indikatoren, die kursiv gesetzt wurden, sind direkt in das vorliegende Konzept übernommen worden. In der letzten Spalte werden ausserdem bereits laufende Beobachtungsprogramme in der Schweiz aufgelistet. Unseres Erachtens wäre es sinnvoll, Monitoring- Programme von transgenen Pflanzen in diese einzubinden, bzw. mit diesen zu koordinieren.

Tabelle 1: Ausgewählte Indikatoren aus dem Bereich Ökologie zur Evaluation der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Massnahmen, die für die schweizerischen geographischen und klimatischen Bedingungen relevant sind. Für jeden Indikator ist die Quelle angegeben sowie bereits in der Schweiz laufende Programme.

	Quelle	Bereits laufende Programme
BODEN:		
Bodenphysik		
Bodentextur, -mächtigkeit	UN, BBW	Es liegen Messdaten über physikalische Bodenbelastungen (Verdichtung, Erosion) auf regionaler und lokaler Ebene vor
<i>Erosion</i>	CIAT-UNEP, BBW	Der Bund ist gesetzlich zur Ermittlung des Bodenabtrags auf Ackerflächen verpflichtet (Verordnung über Belastungen des Bodens VBB0, 1998)
Bodenchemie		
<i>Schadstoffgehalt</i>	BBW	«Nabo»: seit 1985 nationales Beobachtungsnetz Boden
<i>Nährstoffgehalt</i>	BBW, BDM-CH	
<i>Nährstoffbilanzen</i>	BBW	
<i>Humusgehalt (C_{org})</i>	BBW	
Bodenbiologie	BBW	s. Box 2; hier besteht Forschungsbedarf
WASSER		
Grund- u. Quellwasser		
Pro-Kopf Verbrauch	UN, CIAT-UNEP	
Grundwasserreserven	UN, CIAT-UNEP, BBW	
O ₂ -Verbrauch d. biol. Organismen	UN	
Gehalt an mikrobiellen Erregern (Coliforme)	UN, CIAT-UNEP, BBW	

Eintrag von Chemie (Nitrate, Phosphor, Pestizide)	BBW	Kantonale und kommunale Grundwasseruntersuchungen; «Naqua»: BUWAL ist dabei, eine systematische Beobachtung der Grundwasservorkommen aufzubauen
Oberflächengewässer/Seen		
Eintrag von Chemie (N, P, Pestizide)	UN, BBW, BDM-CH	«Naduf»: seit 1977 laufendes nat. Beobachtungsprogramm, das jährlich chemisch-physikal. Parameter der Fliessgewässer bestimmt; dazu erfolgt regelmässige Überprüfung der Gewässer durch kantonale Stellen des Gewässerschutzes
Algen-Index/Zeigerorganismen für Überdüngung	UN, BBW, BDM-CH	
ATMOSPHERE		
Emission von Treibhausgasen	UN, CIAT-UNEP	Werden aus der Energiestatistik ermittelt
Schadstoffgehalt (urbaner Bereich)	UN, CIAT-UNEP	«Nabel»: seit 1979 laufendes nat. Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe, v.a. Schadstoffe
BIODIVERSITÄT		
Fläche Naturräume (%)	UN, CIAT-UNEP, BDM-CH	
Anzahl gefährdeter Arten (%)	UN, CIAT-UNEP, BDM-CH	
Anzahl endemischer Arten (%)	CIAT-UNEP	s. auch spezieller Teil u. Teil Ammann;
Gefährdete Pflanzentaxone	CIAT-UNEP	BDM-CH (Biodiversitätsmonitoring Schweiz) wurde 1996 vom BUWAL initiiert und wird voraussichtlich 1999 beginnen;
Anzahl wildlebender Arten	BDM-CH	
Bestandstrends ausgewählter bedrohter Arten	BDM-CH	
Zahl der weit verbreiteten Arten einer taxonomischen Einheit	BDM-CH	
Bestandstrends ausgewählter weit verbreiteter oder häufiger Arten	BDM-CH	
Mittlerer Artenreichtum der Nutzflächen	BDM-CH	
LANDNUTZUNG		
Änderung der Landnutzung	UN, CIAT-UNEP	Arealstatistik des BFS im Programm «Raumbeobachtung Schweiz» des Bundes erfasst Landnutzungs- und Strukturveränderungen
Änderung der Landschafts-Struktur, Charakter; «Fragmentation»	CIAT-UNEP, BBW, BDM-CH	
Grösse der genutzten Fläche	CIAT-UNEP	
LANDWIRTSCHAFT		
Pestizideinsatz	UN, CIAT-UNEP, BBW	
Düngemiteleintrag	UN, CIAT-UNEP, BBW	Es ist zu überlegen, Ökobilanzierungen zu erstellen. Darin enthalten wären u.a. Energiebilanzen Pestizid-, Düngereinträge, Erträge etc.
Ertrag/ha	CIAT-UNEP, BDM-CH	
Energiebilanz	UN	
Fläche pro Kultur (ha)		Der Schweizerische Bauernverband, Abt. Statistik (SBV/AST) erfasst diese Angaben

Quellen: Indikatorenlisten der CIAT-UNEP, der UN und der Schweiz (Nachhaltige Landnutzung in der Schweiz/BBW und Biodiversitätsmonitoring Schweiz BDM - CH). Die Gliederung erfolgte in Anlehnung an die UN-Liste.

5.4 Anbaubegleitende Forschung und Monitoring - was muss beobachtet werden?

Die ausgewählten Parameter beziehen sich auf die Kulturpflanze selbst und auf die eingebrachten Gene bzw. die exprimierten Genprodukte. Weiterhin umfassen sie mögliche Umweltauswirkungen und agronomische Aspekte, die das Potential dieser Pflanze für eine umweltverträgliche und nachhaltige Landwirtschaft beschreiben. In der folgenden Tabelle sind die einzelnen Parameter zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 2: Parameter, die in der anbaubegleitenden Forschung und beim Monitoring innerhalb des Agrarraumes berücksichtigt werden sollten.

Bereich	Parameter
Kulturpflanze	<ul style="list-style-type: none"> • Wachstumsveränderungen und Verwilderungstendenz • Auffälligkeiten im Feld • Inhaltsstoffe • Nektarbildung
Gene und Genprodukte	<ul style="list-style-type: none"> • Genexpression und Stabilität der gewünschten Eigenschaft • Menge an Ernterückständen • Abbau des Genproduktes in Erntegut und Ernterückständen • Abbau des Genproduktes im Boden • Abbau der DNA im Boden und horizontaler Gentransfer (HGT)
Umweltauswirkungen	
Zielorganismen	<ul style="list-style-type: none"> • Anpassung von Pathogenen und Schaderregern (Resistenzentwicklung) • Entstehen neuer Virusarten, Erweiterung des Wirtskreises
Nicht-Zielorganismen	<ul style="list-style-type: none"> • Auswirkungen auf Nicht-Ziel-Krankheitserreger und Schädlinge • Auswirkungen auf Nützlinge und Gegenspieler • Auswirkungen auf Bienen und andere Bestäuber • Auswirkungen auf Zersetzer (zum Beispiel Regenwürmer, Springschwänze) • Auswirkungen auf die mikrobielle Diversität und den chemischen Zustand der Bodens • Auswirkungen auf spezifische Indikator-Organismen (zum Beispiel Mykorrhiza, Rhizobien) • Auswirkungen auf bodenbürtige Pathogene
Begleitflora und -fauna	<ul style="list-style-type: none"> • Auswirkungen auf verwandte Wildarten • Auswirkungen allgemein auf Begleitflora und -fauna
Aspekte der Agronomie und der Nachhaltigkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Standortbedingungen • Anbaupraxis • Pestizideinsätze, Düngemittelinträge, Rückstände in der Umwelt • Ertrag • Erosion • Bodenfruchtbarkeit (s. Box 2) • Durchwuchs in Folgekultur • Vertikaler Gentransfer auf Kulturpflanzen • Qualität und Lagerfähigkeit des Erntegutes

5.4.1 Kulturpflanze

Wachstumsveränderungen und Verwilderungstendenz

Eine schädliche Auswirkung, die beim Anbau von transgenen Kultursorten befürchtet wird, ist ein gesteigertes Ausbreitungsverhalten der Pflanzen auf Ruderalstandorten und von dort ausgehend in Naturhabitats (zum Beispiel OECD, 1993b; Crawley et al., 1993; Ammann et al., 1996; Kareiva et al., 1996; Barton et al., 1997; Snow & Palma, 1997). Das Ausbreitungsverhalten einer Pflanzenart ist abhängig von dem Grad der Domestikation und der Art der eingebrachten Eigenschaft, d.h. inwieweit die Eigenschaft der betreffenden Pflanze einen selektiven Vorteil in Konkurrenzsituationen vermitteln kann. Beispiele hierfür wären Resistenzen gegenüber Pathogenen und Schaderregern sowie verbesserte Standortanpassungen wie Trocken- oder Kältetoleranz. Bei transgenem, insektizidem Raps wurde zum Beispiel eine erhöhte Fitness unter Herbivorendruck festgestellt (Stewart et al., 1997).

Wachstumsparameter wie Keimungsraten, Pollen- und Samenbildung und -verbreitung etc. werden im Zulassungsverfahren im Vergleich zur untransformierten Ausgangslinie untersucht (FSV). Dabei sollten Veränderungen, die einen Einfluss auf die Ausbreitungstendenz von Kulturpflanzen besitzen, auffallen und protokolliert werden. Je nach Ausbreitungstendenz der Pflanzenart und Ausmass der in Labor- und Freisetzungsversuchen beobachteten Wachstumsveränderungen ist beim Anbau transgener Pflanzen ein Monitoring auf Ausbreitungsverhalten einzurichten.

Auffälligkeiten im Feld

Bei keiner neuen Sorte ist es gänzlich auszuschliessen, dass es trotz der umfangreichen, mehrjährigen Sortenprüfungen aufgrund von Genotyp-Umwelt-Interaktionen im Anbau zu ungewöhnlichen Merkmalsausprägungen kommt, zum Beispiel zu harmlosen Veränderungen der Blatt- oder Blütenfarbe oder zu Qualitätsveränderungen der zu erntenden Pflanzenteile. Bei transgenen Pflanzen konnten bisher unter anderem folgende unerwartete Effekte beobachtet werden:

- in Freilandversuchen mit Petunien in Deutschland wurde ein hoher Einfluss der Umwelt, vor allem der Umgebungstemperatur, auf die Genaktivität festgestellt (Hanisch, 1992). So war nach einer Hitzeperiode mit ungewöhnlich langer und hoher Temperatureinwirkung die Expression von Transgenen, die für die Blütenfarbe codierten, vermindert. Ursache war eine Methylierung der Promotorregion (Hanisch, 1992). Das Abschalten von Genen unter Streß wie Hitze ist auch an herbizidtolerantem Tabak festgestellt worden (Broer, 1995 und Zitate darin). Diese Vorgänge werden unter dem Begriff «gene silencing» eingeordnet (Finnegan & McElroy, 1994; Meyer, 1996; Maessen, 1997).
- im Herbst 1997 fielen um den Mississippi-Delta bei herbizidtoleranten Baumwollpflanzen deformierte Baumwollkapseln auf, die von den Pflanzen ungeöffnet abgeworfen wurden (Fox, 1997). Die Vertriebsfirma ist zu Schadensersatzzahlungen verpflichtet worden, um den Ertragsverlust mehrerer Anbauer auszugleichen (New York Times, 16. Juni 1998).

Da eine Risikoabschätzung solcher Effekte praktisch nicht möglich ist, wird vorgeschlagen, eine Art Meldepflicht von Seiten der Landwirte, Berater und/oder Firmen einzuführen. Es sollte eine «Hotline» zu den zuständigen Monitorstellen eingerichtet werden, damit ungewöhnliche Effekte möglichst schnell bekannt, untersucht und deren Auswirkungen abgeklärt werden können.

Inhaltsstoffe

Die Toxizität und das allergene Potential gegenüber Mensch und Umwelt von Genprodukten, vor allem wenn sie in die Nahrungskette gelangen, werden im Zulassungsverfahren untersucht. So

werden Pflanzen mit kritischen Sekundärmetaboliten (zum Beispiel Alkaloide in Kartoffeln, Glucosinolate in Raps), deren Stoffwechsel tiefgreifend verändert wurde (zum Beispiel die Stärkezusammensetzung der Kartoffel oder das Ölsäureprofil von Raps) oder die völlig neuartige Stoffe wie Pharmazeutika produzieren, auf ihre Sicherheit für Mensch und Umwelt geprüft. Solche Pflanzen würden nicht zugelassen werden, sollten sich bei Untersuchungen Hinweise auf eine potentielle Gefährdung des Menschen und der Umwelt ergeben. Da Daten aus Labor- und Freisetzungsversuchen jedoch nicht die gesamte Variabilität in den Umweltbedingungen berücksichtigen und damit nicht unbedingt die Verhältnisse im Feld vorausgesagt werden können, wäre eine längerfristige Beobachtung kritischer Stoffwechselprodukte - zumindest stichprobenartig im Erntegut - bei solchen Pflanzen dennoch wünschenswert.

Nektarbildung

Bei insektiziden Pflanzen sollte möglichst im Rahmen des Zulassungsverfahrens geprüft werden, ob und wenn ja, in welchen Konzentrationen das Genprodukt im Nektar vorhanden ist. Je nach den Ergebnissen, sollten dann mögliche Wirkungen auf Nicht-Ziel-Insekten, welche die Pflanzen als Nektarquelle benutzen, im weiteren Verfahren berücksichtigt werden.

Weiterhin sollten aber auch indirekte Auswirkungen der Transformation auf die Nektarbildung untersucht und auf ihre biologische Relevanz hin überprüft werden. So fanden Picard-Nizou et al. (1995) (s. auch Pham-Delègue et al., 1992) Unterschiede in der Nektarmenge und im Zuckergehalt zwischen einer chitinase-exprimierenden Rapsorte und deren Kontrolllinie. Diese Veränderungen hatte in diesem Fall zwar keinen Einfluss auf das Verhalten der Honigbienen bei der Nahrungssuche. Dennoch weist dieses Ergebnis darauf hin, dass Sekundäreffekte, die die Nektarbildung in Quantität und Qualität beeinflussen können, möglich sind. Die Autoren empfehlen deshalb, das Verhalten von Bienen an transgenen Pflanzen generell zu prüfen, und, sobald Veränderungen auftreten, die Inhaltsstoffe des Nektars (Zucker, aber auch Aminosäuren, Ionen etc.) zu überprüfen. Denn diese können bei der Auswahl der Nahrungspflanzen für die Bienen eine wichtige Rolle spielen (Picard-Nizou et al., 1995) (s. auch Umweltauswirkungen: Bienen).

5.4.2 Gene und Genprodukte

Genexpression und Stabilität der gewünschten Eigenschaft

Die Stabilität und das Niveau der Genexpression wird im Zulassungsverfahren untersucht. Dabei sind die erforderlichen Angaben bei der Zulassung dem wissenschaftlichen Fortschritt anzupassen. So sind zukünftig mit der Entwicklung von verbesserten Transformationstechniken zum Beispiel Daten über die Induktion und die Gewebespezifität der Genexpression vom Antragsteller zu verlangen. Dabei ist zu fordern, dass die Ergebnisse dieser Untersuchungen Aussagen über die Stabilität, das Niveau und die örtliche und zeitliche Spezifität der Genexpression bei verschiedenen Umweltbedingungen und über lange Zeiträume zulassen. Denn diese Daten sind nicht nur wichtig für die Qualität der neuen Sorte, sondern auch für Sicherheitsbeurteilungen. So beeinflusst zum Beispiel die Art der Transformation - transgen oder transplastomisch (d.h. die Transformation der Chloroplasten-DNA) - ob eine transgene Eigenschaft via Pollen verbreitet werden kann (Daniell et al., 1998; Gray & Raybould, 1998; siehe aber auch Stewart & Prakash, 1998; Cummins, 1998). Weiter kann die Gewebespezifität ein wichtiger Faktor bei Auswirkungen auf Nicht-Zielorganismen sein, zum Beispiel kann bei der Expression einer Eigenschaft im Pollen ein Einfluss auf Bienen gegeben sein. Weiterhin spielt die Stabilität und das Niveau für das Resistenzmanagement von Bt-Pflanzen eine wichtige Rolle (Onstad & Gould, 1998). So ist es bei Bt-Pflanzen bei der derzeit diskutierten Strategie «Refugium/Hohe Expression» zur Verzögerung einer Anpassung der Zielorganismen

wichtig, dass die Expression des Bt-Toxins im Pflanzengewebe im Verlauf einer Vegetationsperiode und während des Pflanzenwachstums nicht abnimmt. Denn nur so ist sichergestellt, dass bei spät auftretenden Schaderregerarten oder Arten mit mehreren Generationen im Jahr auch die spät befallenden Individuen der hohen Konzentration des Toxins ausgesetzt sind (EPA, 1997; Andow & Hutchison, 1998; s. Kapitel Bt-Mais).

Es ist daher zu überlegen, zumindest während der ersten Anbaujahre vor allem in klimatisch extremen Regionen die Genexpression auf ihr erwünschtes Niveau hin zu überprüfen.

Menge an Ernterückständen

Im Zusammenhang mit Angaben zum Abbau von Genprodukten in Pflanzengeweben und Ernterückständen liefert dieser Parameter Hinweise über die Menge an Genprodukten, die pro Jahr in den Boden gelangen können. Deshalb sollten Daten zu der Menge an Ernterückständen, wenn sie nicht während der Sortenprüfung erhoben werden, während des Anbaus erfasst werden. Letzteres könnte z.B. auf Betrieben analog zum IP-Pilotbetriebsnetz (BLW et al., 1998) geschehen, auf denen auch andere agronomisch bedeutende Daten wie Ertrag, Pestizid- und Düngereinsätze etc. (s.u.) erhoben werden könnten.

Abbau des Genproduktes in Erntegut und Ernterückständen

Daten zum Abbau von Pestiziden auf und in behandelten Pflanzen und im Boden werden im Rahmen von Pestizidzulassungen vom Antragsteller verlangt (FAW, 1994). Bei neu exprimierten Produkten in Kulturpflanzen werden ebenfalls Daten zum Verbleib der Stoffe in den Pflanzen vom Antragsteller geliefert. Die Daten sollten dabei unbedingt so erhoben sein, dass aus ihnen, in Verbindung mit der Menge an Ernterückständen, eine Mengeneinschätzung des Eintrags in den Boden erfolgen kann.

Abbau des Genproduktes im Boden

Daten zum Abbau von Genprodukten im Boden werden, wie bereits erwähnt, neben der Abbaubarkeit im Pflanzengewebe im Rahmen von Pestizidzulassungen vom Antragsteller verlangt (FAW, 1994). Analog dazu umfassen ökotoxikologische Untersuchungen im Rahmen des Zulassungsverfahrens den Verbleib und die Degradation von Genprodukten im Boden (zum Beispiel EPA, 1997). Dennoch sollten der Abbau und die Akkumulation von Stoffen, vor allem mit pestiziden Eigenschaften wie Protease-Inhibitoren, Bt-Toxine oder Chitinasen, die noch nach über einem Monat im Boden nachweisbar sind (Donegan et al., 1995; Donegan et al., 1997; Koskella & Stotzky, 1997) (s. auch Kapitel 6), auch nach der Zulassung weiter beobachtet und untersucht werden. Denn zum einen hängt der Abbau im Boden stark vom Bodentyp ab (Tapp & Stotzky, 1995; Koskella & Stotzky, 1997). Zum anderen kann aus Laboruntersuchungen und räumlich und zeitlich begrenzten Freilandversuchen nicht ohne weiteres auf Anreicherungen im Boden geschlossen werden, die bei einem weiträumigen Anbau über mehrere Jahre unter verschiedenen Klima-, Boden- und Anbaubedingungen auftreten werden. Angaben zur Anreicherung von Genprodukten und deren Wirkungsweise bilden die Grundlage, um das Gefährdungspotential für Bodenorganismen und Bodenfruchtbarkeit abschätzen zu können.

Abbau der DNA im Boden und horizontaler Gentransfer (HGT)

DNA besitzt im Boden eine hohe Persistenz (Schlüter & Potrykus, 1996 und Zitate darin). So konnten mehrmals nach Freisetzungsversuchen eine Überdauerung der DNA im Boden festgestellt werden, zum Teil bis zu einem Jahr nach Ernte der Pflanzen. Eine hohe Persistenz der DNA im Boden ist die Voraussetzung dafür, daß horizontaler Gentransfer auf Bodenmikroorganismen stattfinden kann. Unter horizontalen Gentransfer wird die Weitergabe von DNA an Organismen

finden kann. Unter horizontalen Gentransfer wird die Weitergabe von DNA an Organismen über die Kreuzungsschranke hinweg bezeichnet (Schulte & Käppeli, 1996) (im Gegensatz zum vertikalen Gentransfer, die Vererbung via sexueller Befruchtung; Miller, 1998). Bislang sind in der Natur drei Mechanismen des horizontalen Gentransfers bekannt: Transduktion, Konjugation und Transformation (Miller, 1998). Transduktion bezeichnet die virenvermittelte Übertragung von DNA von Bakterium zu Bakterium. Unter Konjugation versteht man die Weitergabe von Plasmid-DNA von Bakterium zu Bakterium. Transformation schliesslich ist die Aufnahme freier DNA von einem Bakterium aus der Umgebung.

Horizontaler Transfer von Pflanzengenen auf Bodenmikroorganismen ist möglich (Hoffmann et al., 1994b), wird aber allgemein als sehr seltenes Ereignis eingeschätzt (Prins & Zadoks, 1994; Schlüter & Potrykus, 1996; Nielsen et al., 1997), zum Beispiel $2,7 \times 10^{-10}$ bis 2×10^{-4} (Schlüter & Potrykus, 1996). So sind relativ wenig Bakterienspezies überhaupt in der Lage, aufnahmebereit (kompetent) zu werden. Darüber hinaus scheinen sich in der Natur Transformationsereignisse nur mit DNA von Artgenossen zu ereignen (Miller, 1998). In Laborexperimenten wurde weiterhin gezeigt, dass Bakterien, selbst wenn sie Erbmaterial aufnehmen, dieses rasch in Einzelbausteine zerlegen und daraus eigene DNA herstellen (Miller, 1998). Folglich bleiben Gene, auch wenn sie aufgenommen werden, nicht lange intakt.

Auf der anderen Seite kann es sein, dass die Wahrscheinlichkeit eines Gentransfers durch Anreicherungen von DNA, was bei einem mehrjährigen Anbau durchaus möglich ist, erhöht ist. Darüber hinaus kann die Häufigkeit eines Transfers von DNA erhöht sein, wenn Pflanzen vektorieell mit *Agrobacterium tumefaciens* transformiert wurden. Denn es können latente *A. tumefaciens* in den transgenen Pflanzen zurück bleiben (van der Hoeven et al., 1991; Landsmann & Graser, 1998), die beim Abbau des Pflanzengewebes in den Boden gelangen und dann DNA über Konjugation an andere Bakterien weitergeben können. Zukünftig sollte deshalb darauf gedrängt werden, dass mit Hilfe von *A. tumefaciens* transformierte Pflanzen von latenten Bakterien befreit werden, zum Beispiel durch Regeneration von Sekundärsprossen, bevor sie grossflächig angebaut werden (Landsmann & Grasser, 1998).

Die Konsequenzen eines horizontalen Gentransfers sind nicht einschätzbar. Je nachdem ob und in welchem Umfang Eigenschaften, die auf Bodenorganismen übergehen, die Fitness dieser Organismen beeinflussen, kann es zu Verschiebungen in der Artengemeinschaft und damit zu Veränderungen der Bodenfruchtbarkeit kommen (s. Nicht-Zielorganismen). Bei bestimmten Genen oder Eigenschaften ist die Ausbreitung im Bakterien- oder allgemein Mikroorganismenreich möglichst ganz zu vermeiden. Dazu gehören zum Beispiel Antibiotikaresistenzen, die immer noch als Markergene benutzt werden, Stoffe mit toxischer Wirkung gegenüber Mensch und/oder Organismen in der Umgebung oder pharmazeutische Stoffe, deren Produktion via transformierter Pflanzen zukünftig eine Rolle spielen könnten. Vor allem in diesen Fällen sollte die Weitergabe von genetischem Material von Pflanzen oder latenten *Agrobacterien* auf Bodenorganismen und die Auswirkungen eines solchen Transfers auch nach der Zulassung beobachtet werden. Das in Frankreich vorgesehene Monitoring-Konzept für Bt-Mais (Le Pensec, 1998) beinhaltet - neben der Überwachung der Resistenzentwicklung des Maiszünslers, von Nebeneffekten auf Nützlinge, und des Pollenflugs - auch Untersuchungen zur Übertragung des Antibiotika-Resistenzgens auf Bakterien. Zusätzlich sollte zukünftig die Entwicklung in der Pflanzenzüchtung unbedingt in Richtung einer Antibiotikaresistenz-freien Transformation gefördert werden.

Ein Spezialfall des horizontalen Gentransfers stellt die genetische Rekombination von Viren dar. Auf diesen Punkt wird unter «Auswirkungen auf Zielorganismen» näher eingegangen.

5.4.3 Umweltauswirkungen

Auswirkungen auf Zielorganismen

Zielorganismen sind diejenigen Krankheits- und Schaderreger, die wirtschaftlich einen relevanten Schaden anrichten und gegen welche resistente Pflanzensorten entwickelt werden. Sie sollten möglichst in frühen Entwicklungsstadien kontrolliert werden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass der Begriff «Zielorganismus» nicht gleichzusetzen ist mit «anfällig» und dass umgekehrt nicht einfach gilt, «Nicht-Zielorganismen» sind automatisch «nicht-anfällig». Diese Abgrenzung wird vor allem bei Nicht-Zielherbivoren bedeutend (s.u.).

In Bezug auf die Zielorganismen befürchtet man vor allem, dass Krankheitserreger sich an die Resistenzmechanismen von Pflanzen anpassen und diese überwinden können. Um eine dauerhafte Resistenz zu erreichen, wurden auch für konventionelle Züchtungen verschiedene Strategien entwickelt. Daneben spielt die Entstehung neuer Virusarten bei virusresistenten Pflanzen in der Sicherheitsforschung eine grosse Rolle.

Anpassung von Pathogenen und Schaderregern (Resistenzentwicklung)

Jedes Pathogen und jeder Schaderreger ist potentiell in der Lage, gegen ihn gerichtete Abwehrmechanismen zu überwinden und sich an sie anzupassen. Die Entwicklung einer Resistenz gegenüber Pflanzenstoffen oder Pestiziden ist unter anderem abhängig vom Genotyp der Pathogen- und Schaderregerpopulation und dem Selektionsdruck, der auf sie ausgeübt wird (vgl. Gould, 1998; Riegler & Stauffer, 1998). Im Pflanzenschutz ist Resistenzentwicklung nichts Neues und als Begleiterscheinung beim Einsatz von Pestiziden gegen Bakterien, Pilzen, Insekten und Unkräutern lange bekannt (Staub, 1991; Büchi 1993 und Zitate darin; vgl. Blatter & Wolfe, 1996). Gegen *Bacillus thuringiensis*-Präparate zum Beispiel sind im Labor bei verschiedenen Insektenarten Resistenzen aufgetreten; unter Praxisbedingungen hat bis jetzt eine Schmetterlingsart (die Kohlmotte *Plutella xylostella*) Resistenz entwickelt (Tabashnik, 1994). Durch die Entwicklung von krankheits- und schädlingsresistenten Pflanzensorten, die Pestizide zeitlich und räumlich ausgedehnt exprimieren, bekommt die Frage der Resistenzbildung bei den Zielorganismen jedoch eine neue Bedeutung (vgl. Blatter & Wolfe, 1996). Denn mit den transgenen Pflanzen wird der Prozess der Resistenzbildung beschleunigt, da die Zielorganismen einem kontinuierlichen Selektionsdruck ausgesetzt sind (Roush, 1997; vgl. Riegler & Stauffer, 1998) und alle bislang marktfähigen transgenen Pflanzensorten monogene Schädlingsresistenzen besitzen. Bei monogenen Schädlingsresistenzen ist aber die Wahrscheinlichkeit, dass sich die Zielorganismen anpassen, erhöht (vgl. Blatter & Wolfe, 1996). Für Bt-Pflanzen wird zum Beispiel von verschiedenen Autoren geschätzt, dass sich bei den Zielinsekten Resistenzen innerhalb von 3-5 Jahren aufbauen können (Gould et al., 1997; McGaughey et al., 1998). Gerade bei Bt bekommt die Resistenzbildung besonderes Gewicht, da die Möglichkeit besteht, dass ein ökologisch verträgliches Mittel unwirksam wird und damit der Biologische Landbau eines der wenigen zugelassenen Pflanzenbehandlungsmittel verliert. Hierbei muss allerdings berücksichtigt werden, dass die Wirkmechanismen der Bt-Pflanzen und des Bt-Spritzmittels nicht unbedingt gleich sind - Bt-Spritzmittel bestehen aus mehreren Wirkungskomponenten - und es deshalb nicht zwangsläufig zu Kreuzresistenzen kommen muss. In seinen Untersuchungen konnte Moar zum Beispiel zeigen, dass ein gegenüber dem reinen Toxin resistenter Stamm von *Spodoptera exigua* keine Resistenz gegenüber herkömmlichen Formulierungen aufwies (W. Moar, pers. Mitteilung). Der Zusammenhang zwischen Resistenzen gegenüber dem reinen Toxin und gegenüber Formulierungen bedarf somit weiterer Untersuchungen.

Generell sollte bei pestizidexprimierenden Pflanzen in zukünftigen Monitoring-Programmen das Beobachten der Anfälligkeit der Zielorganismen eine zentrale Stellung einnehmen. Bei Bt-Pflanzen, für die marktbedingt erste Konzepte für ein Monitoring vorliegen, ist die Resistenzbildung dement-

sprechend ein wichtiger, wenn nicht sogar der wichtigste Punkt, auf den sich Firmen und Gesetzgeber derzeit konzentrieren (vgl. EPA, 1997; Mellon & Rissler, 1998; EU, in Vorbereitung; Le Pensec, 1998)

Da es abzusehen ist, dass sich Zielorganismen an die zur Zeit entwickelten Pflanzensorten anpassen werden, sind, je nach Art und Umfang des Anbaus und den vorherrschenden Umweltbedingungen, vorbeugende Massnahmen im Rahmen von Resistenzmanagement-Strategien zu entwickeln. Dabei sollten Veränderungen in der Anfälligkeit der Zielorganismen von krankheits- und schädlingsresistenten Pflanzen auf den jeweiligen Resistenzmechanismus aus folgenden Gründen beobachtet werden:

- In Verbindung mit geeigneten Gegenmassnahmen übernimmt das Monitoring die Funktion eines Frühwarnsystems. Je nach Empfindlichkeit des Monitorings besteht die Möglichkeit, rechtzeitig regulierend einzugreifen und die Resistenzentwicklung zu bremsen, bzw. bestenfalls ganz zu verhindern. Nur so können wertvolle Ressourcen wie zum Beispiel *B. thuringiensis*-Proteine oder neue, aufwendig gezüchtete Pflanzensorten, lange ihre Wirksamkeit behalten.
- Das Monitoring ermöglicht es, entwickelte Resistenzmanagement-Strategien auf ihre Wirksamkeit hin zu prüfen (zum Beispiel Bt-freie Refugien beim Anbau von Bt-Baumwolle in den USA). Nur so ist es langfristig möglich, für die jeweiligen Erreger-Pflanze-Systeme die wirksamste und zugleich ökonomischste und praktikabelste Strategie zu entwickeln. Daten aus dieser Evaluation kommen zukünftig neuen Pflanzensorten zu Gute, deren Resistenz auf anderen Mechanismen beruhen werden.
- Ein Monitoring der Populationsdynamik von Schaderregern in Verbindung mit einem Monitoring der Populationsdynamik von natürlichen Gegenspielern (s.u.) ist für die Anpassung der Strategien an integrierte Anbauverfahren unerlässlich (vgl. Gould, 1998).

Bei einem Monitoring der Resistenzentwicklung sollten vorab klare Zielvorstellungen und, im Falle auftretender Resistenz, Gegenmassnahmen festgelegt werden. Dabei hat die untersuchte Ebene - geno- bzw. phänotypische Ausprägung der Resistenz - massgeblichen Einfluss auf die zu ergreifenden Massnahmen: je früher eine Resistenzentwicklung in einer Population festgestellt wird, desto vielfältiger sind die Möglichkeiten, regulierend einzugreifen (Andow & Hutchison, 1998). Dies gilt grundsätzlich für alle Erreger-Pflanze-Systeme. Resistenzmanagement-Strategien, oft in Verbindung mit Resistenzmonitoring, sind aus der Pflanzenzüchtung (Anbau von Sortenmischungen, Pyramidisierung von Resistenzgenen) (Schachermayr, 1994) und aus dem Pflanzenschutz lange bekannt. Bei der Weizenzüchtung werden pilzliche Krankheitserreger routinemässig auf ihre Resistenzgene und Virulenzen hin geprüft und ihre Entwicklung auf den resistenten Weizensorten getestet. Mit Hilfe dieser Methode wird es möglich abzuschätzen, wieviele Stämme die eingezüchteten Resistenzen brechen können. Weiterhin existiert in der Schweiz ein Resistenzmanagement für die Kraut- und Knollenfäule an Kartoffeln, *Phytophthora infestans* (P. M. Fried, pers. Mitteilung). Die Firmen sind verpflichtet, Rassen von *P. infestans* anhand von Sporenproben aus den Feldern regelmässig und mittels standardisierter Labortests auf ihre Anfälligkeit für das jeweilige Fungizid zu prüfen und über die Resistenzsituation Auskunft zu erteilen.

Für transgene Pflanzen liegen, bedingt durch die Marktsituation, erst für insektizide Bt-Pflanzen konkrete Konzepte vor. Auf die Aspekte, die für das Resistenzmanagement von Bt-Pflanzen von Bedeutung sind, wird im Fallbeispiel «Bt-Mais» (Kapitel 6) näher eingegangen. An dieser Stelle sei nur kurz darauf hingewiesen, dass es - will man Resistenzentwicklung einschätzen und wirksam bremsen - sinnvoll ist, vor einem Inverkehrbringen von krankheits- und schädlingsresistenten Kulturpflanzen Daten zur Biologie und Populationsdynamik der Krankheits- und Schaderreger zu erheben. Hier besteht vielfach Forschungsbedarf. Darüber hinaus sind Kenntnisse über Resistenzmechanismen, über Vererbungsmodi und über die Häufigkeit von Resistenzallelen (zum Beispiel

Ausgangsfrequenzen) innerhalb der Ausgangspopulationen der Pathogene und Schädlinge unerlässlich. Es ist zu überlegen, inwieweit Antragsteller im Rahmen der Zulassungsverfahren Daten über diese Punkte liefern sollten. Weiterhin ist es empfehlenswert, die Zulassung einer Sorte befristet mit der Auflage zur Re-Registrierung zu erteilen, eine Praxis, die sich bei Pestiziden seit langem bewährt hat. Wird bei Untersuchungen im Rahmen der Reregistrierung von Pflanzenbehandlungsmitteln festgestellt, dass die Wirksamkeit nachgelassen hat, wird das Mittel nicht mehr zugelassen (P. M. Fried, pers. Mitteilung.).

Entstehen neuer Virusarten, Erweiterung des Wirtskreises

Viren sind sehr effektive Gentechnologen, die bei einer Infektion von Pflanzen ihre Erbinformation in das Genom der Wirtszelle einschleusen und zur Expression bringen. Rekombination, d.h. der dauerhafte Austausch einzelner Nukleotidsequenzen zwischen zwei Nukleinsäure-Molekülen, in diesem Fall zwischen pflanzlicher und viraler Nukleinsäure, tritt regelmässig auf und wird bei Viren generell als wichtiger evolutiver Mechanismus angesehen (Farinelli & Malnoë, 1996).

Von den «Pathogen-Derived-Resistances» (PDR) ist diejenige, welche auf der Transformation und Expression von Virus-Hüllproteinen basiert, am weitesten fortgeschritten. Alle virusresistenten, transgenen Pflanzensorten, die in den USA bis jetzt in den Verkehr gebracht wurden, beruhen auf Hüllprotein-Expression (<http://www.nbiap.vt.edu>; databases) und auch die meisten Freisetzungsversuche werden mit Hüllprotein-exprimierenden Pflanzensorten durchgeführt (zum Beispiel Kawchuk et al., 1997; Lius et al., 1997; Thomas et al., 1997; Fuchs et al., 1997). Aus Rekombinationen zwischen transgener Virus-Hüllprotein-DNA und viraler DNA können neue Virusarten entstehen, die unter Umständen einen veränderten Ausbreitungsmodus aufweisen. Denn bei vielen Viren determiniert das Hüllprotein die Übertragbarkeit durch Insekten und damit die Verbreitung im Feld (de Zoeten, 1991). Darüber hinaus beeinflusst das Hüllprotein auch die systemische Verbreitung innerhalb einer Pflanze (de Zoeten, 1995). Vor und eventuell auch nach der Zulassung von Hüllprotein-exprimierenden Pflanzen sollten deshalb Untersuchungen zu Häufigkeit und Auswirkung eines solchen Gentransfers durchgeführt werden.

Weiterhin ist bei «pathogen-derived» Virusresistenzen, gerade denjenigen basierend auf Hüllproteinen, die Möglichkeit gegeben, dass durch heterologe Enkapsidierung (Umhüllung der Virus-DNA mit fremdem Hüllprotein; Schulte & Käppeli, 1996) die Ausbreitung von Viren verändert wird (de Zoeten, 1991). Anders als bei rekombinatorischen Ereignissen, wo der Code des Hüllproteins im Genom des Virus festgelegt wird und somit neue Arten entstehen können, werden Veränderungen in der Verbreitung durch heterologe Enkapsidierung oft als Einbahnstrassen bezeichnet (Neemann & Braun, 1997). Denn in der neuen Wirtspflanze können Viren wieder nur auf die von ihnen codierten Hüllproteine zurückgreifen.

Wenn virusresistente Pflanzen für den kommerziellen Anbau freigegeben werden, sollten beide Phänomene anbaubegleitend längerfristig beobachtet werden, um das Auftreten neuer Virusstämme zukünftig besser abschätzen zu können und eventuell Gegenmassnahmen, zum Beispiel ein Anbauverbot, ergreifen zu können.

Auswirkungen auf Nicht-Zielorganismen

Nicht-Zielorganismen sind Organismen verschiedener trophischer Ebenen und verschiedener Lebensweisen, zum Beispiel Phytophage, Gegenspieler/Nützlinge, Zersetzer und Mikroorganismen. Bei Pestizidzulassungen spielt die ökotoxikologische Prüfung, d.h. die Überprüfung von Nebenefekten auf Nicht-Zielorganismen, eine wichtige Rolle. Hier werden im einzelnen untersucht: Vögel, terrestrische Wirbeltiere, Honigbienen, andere nützliche Arthropoden, Regenwürmer, andere nicht zu den Zielorganismen gehörende, bodenlebende Makroorganismen, Bodenmikroorganismen und aquatische Organismen (FAW, 1994; Lynch, 1995). Analog dazu nehmen Untersuchungen zu Ne-

benefekten von pestiziden Pflanzen auf Nicht-Zielorganismen einen zentralen Teil innerhalb der Risikoforschung ein. So sind im Rahmen des Zulassungsverfahrens die Antragsteller verpflichtet, Daten zu Auswirkungen auf Nicht-Zielorganismen zu liefern. Da aus diesen auf kurzfristige, akute Effekte ausgelegte Experimenten langfristige Auswirkungen jedoch nur schwer abgeschätzt werden können, sollten darüber hinaus Nebenwirkungen auf ausgewählte Nicht-Zielorganismen auch nach der Zulassung anbaubegleitend untersucht werden.

Nicht-Zielkrankheitserreger und -schädlinge

Untersuchungen zur Wirkung auf Nicht-Zielherbivoren (hierunter werden in diesem Fall Pathogene und tierische Schaderreger gleichermaßen verstanden) waren bislang bei Pestizidzulassungen nicht unbedingt erforderlich. Teilwirkungen werden zum Teil registriert und, wenn diese ein gewisses Ausmass erreicht haben, auch deklariert. Die Besonderheiten von pestiziden Pflanzen - weiträumige, hohe Persistenz der Wirkstoffe verbunden mit einer gewissen Spezifität - macht es jedoch notwendig, deren Auswirkungen auf Nicht-Zielherbivoren zukünftig regelmässig zu berücksichtigen.

Die klare Trennung der Begriffe Ziel-Organismus und Anfälligkeit ist besonders auf phytophager Ebene bei Betrachtung der Krankheits- und Schaderreger wichtig. Denn Kulturpflanzen weisen in der Regel einen Krankheits- und Schaderregerkomplex auf, deren Organismen miteinander in einem komplexen Beziehungsnetz stehen. Innerhalb dieses Artenkomplexes ist zu erwarten, dass ein Kontinuum in der Anfälligkeit von «hoch-anfällig» bis «total-resistent» gegenüber dem jeweiligen pflanzlichen Resistenzmechanismus auftritt. Mit dem - angestrebten - Verzicht auf breitwirksame Pestizide werden damit zukünftig einzelne Arten selektiv bekämpft werden, andere dagegen nicht kontrolliert, und es kann zum Auftreten von sekundären Krankheiten und Schädlingen kommen. Dieses kann von folgenden Faktoren gefördert werden:

- durch den Wegfall breitwirksamer Pestizide werden manche, bislang unbedeutende Erreger nicht mehr «mit»-kontrolliert und sie können sich vermehren und ausbreiten.
- durch die selektive Bekämpfung zahlenmässig dominanter Erreger (der Ziel-Organismus ist der dominante Schaderreger) wird eine Nische frei, die nun von konkurrenzschwächeren Arten besetzt werden kann.
- Nützlinge/Gegenspieler können direkt oder indirekt negativ betroffen sein (s.u.) und somit ihre natürliche Kontrollfunktion nicht mehr ausüben.
- Nicht-Ziel Krankheits- und Schaderreger, die subletal betroffen sind, können sich schnell an Resistenzmechanismen adaptieren und sich plötzlich explosionsartig vermehren.

Um diese Entwicklungen abschätzen zu können, sind Untersuchungen über Nebeneffekte auf die wichtigsten Nicht-Ziel Krankheits- und Schaderreger, die für die jeweilige Kulturpflanze beschrieben worden sind, nötig. Entwicklungsbedingt liegen erste Daten für insektizide Bt-Pflanzen vor, die zeigen, dass Nicht-Zielherbivoren in ihrer Entwicklung sowohl negativ als auch positiv beeinflusst werden können (Ebora et al., 1994; Omer et al., 1997; Pilcher et al., 1997b; Hardee & Bryan, 1997). Hardee & Bryan (1997) warnen zum Beispiel davor, dass einige Herbivore (Wanzen und Käfer), die bislang in den USA in Baumwolle nicht bedeutend waren, zu einem Problem in Bt-Feldern werden könnten, wenn zukünftig weniger Pestizide gespritzt werden. Die Reaktion von Nicht-Zielherbivoren (Pathogene und Insekten) auf Resistenzmechanismen unter veränderten Managementsituationen sollte deshalb unbedingt langfristig beobachtet und durch gezielte Untersuchungen begleitet werden.

Nützlinge und Gegenspieler

Nützlinge oder natürliche Gegenspieler nehmen in der biologischen und ökologisch orientierten Landwirtschaft (IP) eine zentrale Rolle ein. Von transgenen Pflanzen ausgehende Nebeneffekte auf sie sollten deshalb gründlich untersucht werden.

Untersuchungen mit insektiziden Pflanzen zeigen, dass Nützlinge betroffen sein können. Birch et al. (1997) fütterten im Labor Blattläuse, die sich auf Lectin-exprimierenden Kartoffeln entwickelt hatten, an Marienkäfer (*Adalia bipunctata*) und fanden subletale Effekte wie verlängerte Entwicklungszeit, verkürzte Lebensdauer und reduzierte Fruchtbarkeit. Hilbeck et al. (1998a; in press) fanden bei Florfliegen (*Chrysoperla carnea*) erhöhte Mortalitätsraten und eine verlängerte Entwicklungsdauer, wenn sie in Laborexperimenten Bt-exponierte Beutetiere als Nahrung verfütterten. Darüber hinaus konnten sie dieselben Effekte nachweisen, wenn sie Bt-Toxine unmittelbar mittels künstlicher Diäten verfütterten, welches eine direkte toxische Wirkung gegenüber Florfliegen belegt (Hilbeck et al., 1998b). Diese Ergebnisse sind auch deshalb bedeutsam, als bislang keine oder nur geringe Nebeneffekte von Bt gegenüber Nützlingen gefunden wurden. Bt-Spritzmittel gelten deshalb als sehr nützlingsschonend (Croft, 1990). Die Ergebnisse der Studien verdeutlichen jetzt, wie durch eine veränderte Ausbringung von Pestiziden Nebeneffekte auftreten können und dass bei transgenen Pflanzen die Umweltsicherheit von Stoffen, auch von altbekannten, neu untersucht werden muss.

Von Antragstellern wurden bisher weder in eigenen Untersuchungen (zum Beispiel EPA, 1997) noch in anderen Studien (Sims, 1995; Pilcher et al., 1997b) Nebeneffekte von Bt-Toxinen auf Florfliegen oder andere Prädatoren gefunden. Das wirft unseres Erachtens die Frage auf, inwieweit die Toxizitätsprüfungen für Zulassungsverfahren von transgenen Pflanzen in der jetzigen Form aussagekräftig sind, bzw. ob sie angepasst und ausgeweitet werden müssen. Denn zum Beispiel wurde die Wirkung von Bt auf Nützlinge und Bienen nur auf kurzzeitige, akute Effekte wie Mortalität (LD50) überprüft (EPA, 1997). Subletale Effekte, die langfristig die Fitness beeinträchtigen können, blieben dabei unberücksichtigt. Weiterhin wurden zum Teil ungeeignete Versuchsmethodiken verwendet, zum Beispiel wurde bei der Nützlingsprüfung von Bt-Mais transgener Pollen an Larven der Florfliegen verabreicht (Pilcher et al., 1997b), obwohl diese räuberischen Larven sich nicht allein von Pollen ernähren können.

Die Untersuchungen von Birch et al. (1997) und Hilbeck et al. (1998a,b) geben Hinweise für verbesserte Testverfahren: werden in Laboruntersuchungen Nebeneffekte bestimmten Ausmasses festgestellt, müssen diese im Freiland weiter untersucht werden. Sollten sich auch hier Hinweise auf fitnessreduzierende Effekte ergeben, sollte ein langfristiges, flächendeckendes anbaubegleitendes Monitoring eingerichtet werden. Ein stufenweises Verfahren wird auch bei Pestizidzulassungen verlangt (Bigler, pers. Mitteilung) (vgl. Box 1). Das in Frankreich vorgesehene Monitoring-Programm für Bt-Mais sieht vor, unbeabsichtigte Nebeneffekte auf die Entomofauna zu untersuchen (Le Pensec, 1998). Einzelheiten des Vorhabens sind in Kapitel 6 dargestellt.

Box 1: Nützlingsprüfung bei der Zulassung von Pflanzenschutzmittel

Da die Erfahrungen mit Pestizidzulassungen generell als Hilfestellung für die Zulassung von transgenen Pflanzen dienen können, wird an dieser Stelle auf die Verfahrensweisen bei Nützlingsprüfungen bei Pestiziden eingegangen. Ab Januar 1999 müssen offiziell für alle Produkte mit neuen Wirkstoffen, sowie für neue Produkte und Neuformulierungen Nebenwirkungsdaten auf «andere Arthropoden als Bienen» eingereicht werden. Die Prüfverfahren richten sich nach dem für die EU gültigen Dokument der Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC-Dokument 1994) (Barrett et al., 1994). Die Auswahl der Nützlinge erfolgt nach der Anfälligkeit, nach der Relevanz (Abundanz, geographische Verbreitung) und nach der Verfügbarkeit. Die ausgewählten Arten sollten verschiedenen taxonomischen Gruppen angehören, um möglichst allgemeine Aussagen treffen zu können. Als Testarten für Ackerkulturen werden empfohlen:

- Parasitoide: *Aphidius rhopalosiphi*, *Trichogramma cacoeciae*
- Auf der Bodenoberfläche lebende Räuber: *Poecilus cupreus*, *Pardosa sp.*, *Aleochara bilineata*
- Pflanzenbesiedelnde Räuber: *Episyrphus balteatus*, *Chrysoperla carnea*, *Coccinella septempunctata*

Das Vorgehen ist das folgende (Bigler, pers. Mitteilung):

Fc müssen 2 Standardarten und 2 kulturrelevante Arten getestet werden

Prüfstufe Labor: Ist der Wirkungsgrad kleiner als 30% , sind die Prüfungen abgeschlossen. Bei mehr als 30 % geht es mit den gleichen Arten in die nächste Prüfstufe «Erweiterte Laborprüfung». Der Wirkungsgrad wird nach Abbott wie folgt berechnet: % Wirkung = (Befall in der Kontrollparzelle nach der Applikation K - Befall in der behandelten Parzelle nach der Applikation B) dividiert durch K multipliziert mit 100.

Prüfstufe erweiterte Laborprüfung: Auch hier gilt ein Wirkungsgrad von 30% als Grenzwert. Ist er grösser, geht es wiederum in die nächste Prüfstufe «Halb-Freiland».

Prüfstufe Halb-Freiland: Auch hier gilt der Wirkungsgrad von 30% als Grenzwert. Ist er grösser müssen Freiland-Untersuchungen durchgeführt werden.

Prüfstufe Freiland: Zeigt sich bei einem der 4 Nützlinge ein Wirkungsgrad von mehr als 30%, müssen nach dem gleichen Schema zwei weitere, kulturrelevante Arten getestet werden.

Bienen und andere Bestäuber

Aussagen zur Bienensicherheit werden generell im Rahmen von Zulassungsverfahren von transgenen Pflanzen verlangt, besonders wenn die Eigenschaft im Pollen exprimiert wird (zum Beispiel Environmental assessment für Petition 95-352-01P für virusresistenten Kürbis; <http://www.nbiap.vt.edu/biomon/petea/9535201p.eaa>). Sie sind jedoch besonders wichtig bei pestiziden Varietäten, und hier vor allem bei denjenigen Sorten, die Stoffe mit insektizider Wirkung (Bt, Protease-Inhibitoren, Chitinasen etc.) exprimieren.

Untersuchungen aus Frankreich und Neuseeland zeigen, dass Nebeneffekte auf Bienen je nach transgenem Resistenzmechanismus auftreten können. Die Studien wurden an transformierten Raps bzw. mit den Toxinen, die in den Pflanzen transformiert werden, durchgeführt. Bei der verwendeten Rapsorte handelte es sich um eine Linie, die mit einem Chitinase-Gen aus der Bohne (*Phaseolus vulgaris*) zur Erhöhung der Pilzresistenz transformiert worden ist (Picard-Nizou et al., 1995). Die Genprodukte, die untersucht wurden, sind Chitinase, β -1,3 Glucanase (aus Tomate), «Cowpea Trypsin-Inhibitor» CpTI (Picard-Nizou et al., 1997; s. auch Pham-Delègue et al., 1992) und Kartoffel-Protease-Inhibitoren (PI) (Malone et al., 1998). Chitinasen werden zur Erhöhung der Pilzresistenz verwendet (s. Kapitel 6). Da jedoch das Tegument und die Wände des Verdauungstraktes von Insekten ebenfalls Chitin enthalten, wird ihnen zur Bekämpfung tierischer Schaderreger ebenfalls Potential zugesprochen (Carozzi & Koziel, 1997) und sind Nebenwirkungen auf Bestäuber nicht auszuschliessen. Die Stoffe wurden entweder in Zuckerwasser gelöst (Picard-Nizou et al., 1997; Malone et al., 1998) oder mit Pollen vermennt (Malone et al., 1998). Transformierter Raps, Chitinase und Glucanase hatten keine Auswirkungen auf das Verhalten bei der Nahrungssuche (Anzahl und Dauer der Blütenbesuche, Aktivität) (Picard-Nizou et al., 1995) und das Lernverhalten von Adulten (Picard-Nizou et al., 1997). Auch konnte keine akute toxische Wirkung auf adulte Honigbienen (10 Tage alt) festgestellt werden (Picard-Nizou et al., 1997). CpTI erwies sich als nicht akut-toxisch, hatte aber nachweisliche Effekte auf das Lernverhalten (Picard-Nizou et al., 1997). Die Autoren weisen jedoch darauf hin, dass aufgrund von kurzfristigen Toxizitätsprüfungen keine Schlüsse auf langfristige Wirkungen gezogen werden können, da Nahrung im Bienenstock gespeichert wird und Bienen damit wochenlang den Toxinen ausgesetzt sein können. Aus diesem Grund sind sie gegenwärtig dabei, langfristige Effekte zu untersuchen.

Bei Protease-Inhibitoren aus Kartoffeln waren Effekte sowohl auf die Konzentration von Verdauungsenzymen als auch auf Lebensdauer und Mortalität von adulten Honigbienen festzustellen (Malone et al., 1998). Die letale Wirkung der PIs war dabei am höchsten, wenn Bienen diese während der ersten acht Tage nach dem Schlupf aufnahmen. Proteine sind während der ersten Lebensstage für Bienen am wichtigsten, so dass in dieser Zeit im Darm die höchsten Enzymaktivitäten vorherrschen (s. Ref. in Malone et al., 1998). Aus diesem Grund ist in dieser Entwicklungsphase der Effekt von Enzyminhibitoren am stärksten. Die einzig zur Zeit zugelassenen insektiziden Pflanzen sind Bt-Pflanzen, von denen bis jetzt keine unerwünschten Nebeneffekte auf Bienen beschrieben wurden. In den USA zeigte zum Beispiel das B.t. *kurstakii* HD-1 Protein, das im Mais von Monsanto exprimiert wird (s. Kapitel 6) bei 20 ppm keine bzw. nur geringe Auswirkungen auf die Larva-

lentwicklung von Honigbienen (Zitat: «B.t.k.HD-1 protein at 20 ppm is practically non-toxic to larval honeybees») oder die Mortalität von Adulten (EPA, 1997). Untersuchungen der Firma Novartis, in der ebenfalls Junglarven (4 Tage alt) von Honigbienen im Stock mit Pollen von Bt-Mais, Pollen von Nicht-Bt-Mais und Pollen von einer herkömmlichen Maissorte, der mit Carbaryl behandelt wurde, gefüttert wurden (je 1mg Pollen), ergaben keine Veränderungen in der Mortalität (Ahl-Goy et al., 1995).

Aufgrund der Ergebnisse von Monsanto und Novartis kann unseres Erachtens noch nicht auf die allgemeine Bienensicherheit von Bt-Pflanzen geschlossen werden. Denn die Testverfahren sind auf kurzzeitige, akute Effekte ausgerichtet, wobei langfristige Auswirkungen nicht auszuschließen sind (Picard-Nizou et al., 1997). Subletale Effekte oder Verhaltensänderungen, die über die lange Zeit zu Fitnessreduktionen innerhalb einer Bienenpopulation führen können, sind nicht berücksichtigt worden. Dabei sind es gerade diese Parameter, die zukünftig stärker überprüft und auch im Feld anbaubegleitend beobachtet werden müssen (Picard-Nizou et al., 1997). Auch ist es auffallend, dass in beiden Studien Larvalstadien untersucht wurden, wohingegen in den ökotoxikologischen Prüfungen im Rahmen der Pestizidzulassung möglichst junge, adulte Arbeiterbienen, analog zu den Methodiken von Picard-Nizou et al. (1995; 1997), verwendet werden. Es ist empfehlenswert, die Vorgehensweise (Parameter, Versuchsmethodiken etc.) mit Spezialisten auf dem Gebiet der Bienenkunde abzuklären, zum Beispiel mit der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Milchwirtschaft mit der angeschlossenen Sektion Bienen in Liebefeld. Nur so kann entschieden werden, ob zum Beispiel Toxizitätsprüfungen an Larven oder Adulten durchgeführt werden sollten. Desweiteren bleibt zu diskutieren, ob die von Picard Nizou et al. (1997) vorgeschlagene Methode des «conditioned proboscis extension assay», die das Lernverhalten von Bienen überprüft, eine Möglichkeit ist, standardisiert und schnell das Verhalten der Bienen zu untersuchen.

Zersetzer

Zersetzer sind für den Auf- und Umbau der organischen Substanz, den Abbau von Schadstoffen, die Erhaltung der Struktur und für den Gas- Stoff- und Wasserhaushalt des Bodens verantwortlich (Linden et al., 1994; BUWAL, 1997). Aus diesem Grund wird die Erfassung der Abundanz, Diversität oder Aktivität dieser Bodenlebewesen als nützlich für eine Einschätzung der Bodenqualität erachtet (Linden et al., 1994). Unter den Zersetzern sind es vor allem die Regenwürmer, die durch ihre grabende Lebensweise die Eigenschaften eines Bodens beeinflussen (Linden et al., 1994; BUWAL, 1997). Ihre Bedeutung für die Bodenqualität ist vielfältig: sie verbessern die Bodenstruktur, die Wasser- und Nährstoffverteilung, Stoffkreisläufe, die Durchwurzelung und den Gehalt an Mikroorganismen (Linden et al., 1994; BUWAL, 1997). Ihr Ansehen als Nützlinge innerhalb einer umweltverträglichen Landwirtschaft ist gross, so dass Nebeneffekte auf Regenwürmer standard-mässig zu den ökotoxikologischen Prüfungen bei der Pestizidzulassung gehören (Barrett et al., 1994; FAW, 1994; Tomlin, 1994). Da sie Pflanzengewebe verzehren, gelten sie als Nicht-Zielorganismen, die auch bei der Zulassung von transgenen Pflanzen überprüft werden müssen (Ahl-Goy et al., 1995; EPA, 1997; [ww.nbiap.vt.edu/biomon/petea/9535201p.eaa](http://www.nbiap.vt.edu/biomon/petea/9535201p.eaa)). Als Standardorganismus wird dazu der Kompostwurm *Eisenia faetida* verwendet (E. Boller, pers. Mitteilung; s. auch Ahl-Goy et al., 1995). Es handelt sich um kleine Würmer, die in Komposthaufen leben und sich von zersetzendem, organischem Material ernähren, auf Ackerflächen jedoch nicht vorkommen. In Untersuchungen zur akuten Toxizität wurden keine Nebeneffekte von transgenen Bt-Pflanzen auf sie festgestellt (Ahl-Goy et al., 1995). In Grünlandflächen der Schweiz sind jedoch 76% Prozent aller vorkommenden Arten anözisch, d.h. unterirdisch, in Röhren lebende *Lumbricus*- und *Nicodrilus*-Arten, die als Nahrung Streu von der Bodenoberfläche in die Röhren einziehen (BUWAL, 1997). Bei der Untersuchung der langfristigen Nebeneffekte von transgenen Pflanzen sind es eher diese Arten, die aufgrund ihres erhöhten Vorkommens zu berücksichtigen sind. Darüber hinaus ist von den Ergebnissen

mit *E. faetida* nicht ohne weiteres auf die Anfälligkeit von zum Beispiel *Lumbricus* spp. zu schließen.

So wurden zum Beispiel in Studien aus den 60er Jahren mit Bt-Spritzmitteln Mortalitätsraten von *Lumbricus terrestris* von bis zu 100 % festgestellt (Smirnov & Heimpel, 1961). Blutvergiftungserscheinungen im Regenwurm deuteten für die Autoren darauf hin, dass Bt-Bakterien den Darm durchdringen und im Wurm sporulieren können, d.h. eine Infektion wie bei den Zielinsekten hervorrufen kann (Smirnov & Heimpel, 1961). Die Autoren verwandten jedoch derart hohe Konzentrationen, bei denen auch ansonsten harmlose Stoffe durchaus toxisches Potential entwickeln können (W. Moar, pers. Mitteilung). Darüber hinaus arbeiteten sie mit Bakterienstämmen und Formulierungen, die auch Exotoxine produzieren. Exotoxine wirken nicht spezifisch und entfalten gegen sehr viele Organismen eine toxische Wirkung (Sebesta et al., 1981). Insgesamt ist somit über Nebenwirkungen von Bt auf unterirdische Regenwürmer wenig bekannt. Ebenso weiss man nichts über die Auswirkungen von transgenen Bt-Pflanzen, bei denen es zur Akkumulation von Toxinen im Boden kommen kann, auf diese für die Bodenfruchtbarkeit bedeutsamen Arten. Wegen ihres Vorkommens und ihrer Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit sollten deshalb bei transgenen Pflanzen, unabhängig von den Toxizitätsstudien an *E. faetida*, anbaubegleitend *Lumbricus*- oder *Nicodrilus*-Arten beobachtet werden.

Neben den Regenwürmern sind es auch Springschwänze, kleine bodenlebende Insekten, die sich von toter organischer Substanz, Pilzen und Algen ernähren und für die Streuzersetzung erhebliche Bedeutung besitzen (Hoffmann et al., 1994), deren Reaktion auf den Anbau von transgenen Pflanzen mit insektiziden Stoffen ebenfalls untersucht werden sollten. So fanden Donegan et al. (1997) signifikant verringerte Dichten von Springschwänzen in der unmittelbaren Nähe verrottender Pflanzenteile von Protease-Inhibitor-exprimierenden Pflanzen. Darüber hinaus stellten sie eine Erhöhung der Nematodendichte verbunden mit einer Verschiebung hin zu pilzfressenden Arten fest. Diese Veränderungen können auf die lange Sicht ökologisch relevant werden.

Mikrobielle Diversität und chemischer Zustand des Bodens

Mikroorganismen, inklusive Mutualisten wie Mykorrhiza und Rhizobien, sind wichtige Komponenten des Ökosystems Boden und bestimmen massgeblich die Bodenfruchtbarkeit (s. Box 2). Aus diesem Grund sollten unerwünschte Nebeneffekte auf sie so weit wie möglich vor der Zulassung abgeklärt und auch nach der Zulassung langfristig beobachtet werden. Bei Pestizidzulassungen werden Bodenmakro- und Bodenmikroorganismen in ökotoxikologischen Untersuchungen berücksichtigt (FAW, 1994; Lynch, 1995). Die Vorgaben sind dabei sehr umfassend und beinhalten die Auswahl, Sammlung und das Lagern der Böden, die Vorgehensweise zur Messung der mikrobiellen Aktivität (zum Beispiel Zugabe von organischem Substrat, Dauer der Tests) und die Untersuchungsparameter (N-Mineralisierung, C-Stoffwechsel (Basal- oder substratinduzierte Atmung) und bei Leguminosen die Symbiose mit Rhizobien) (Lynch, 1995). In Zulassungsanträgen für transgene Pflanzen werden diese Parameter bis jetzt dagegen nicht berücksichtigt (EPA, 1997; www.nbiap.vt.edu/biomon/petea/9605101p.eaa und [/9535201p.eaa](http://www.nbiap.vt.edu/biomon/petea/9535201p.eaa)), obwohl in Untersuchungen nachteilige Effekte beschrieben wurden (Donegan et al., 1995, 1997). Dabei müssen es nicht die Genprodukte selbst sein, die die Mikroorganismen beeinflussen. In den oben genannten Untersuchungen vermuten die Autoren vielmehr, dass es durch die Transformation zu Veränderungen im Nährstoffgehalt der Pflanzen, zum Beispiel im Kohlenstoffgehalt, kam, der wiederum zu Veränderungen in der Dichte und Diversität der Mikroorganismen geführt hat (Donegan et al., 1995). Donegan et al. (1997) gehen deshalb davon aus, dass Auswirkungen auf die Bodenqualität nicht nur von den Genprodukten (Pestiziden) bedingt durch ihre Wirkung auf einzelne Bodenlebewesen hervorgerufen werden können, sondern dass auch unbeabsichtigte Veränderungen des pflanzlichen Stoffwechsels, zum Beispiel des N-, und C- Metabolismus, ökologische Prozesse und damit die

Bodenfruchtbarkeit beeinflussen können. Darüber hinaus kann zum Beispiel eine verbesserte Nährstoffnutzung der Pflanzen bei gleichzeitiger verminderter Düngung eine Veränderung des Nährstoffhaushaltes bewirken oder zum Beispiel Pilz- und Insektenresistenzen einen verminderten Fungizid- bzw. Insektizideinsatz zur Folge haben, der wiederum die Schadstoffbelastung des Bodens vermindert. Um den Einfluss von transgenen Pflanzen auf die Bodenqualität zu klären, sind deshalb neben mikrobiellen Erhebungen Untersuchungen des chemischen Zustandes des Bodens im Verlauf einer Vegetationsperiode nötig. Dazu sind bei den jeweiligen Pflanzen während einer Vegetationsperiode der Nährstoffkreislauf, das ist der C-Kreislauf im Zusammenhang mit den N-, S- und P-Kreisläufen (Einträge, Transformationen, zum Beispiel Umwandlung von organischem N zu Nitrat und Austräge, zum Beispiel Nitratauswaschung) sowie bestimmte Schadstoffe, zum Beispiel Kupfer, zu bestimmen. Für die Bestimmung dieser Parameter ist auf die einschlägige Fachliteratur, vor allem jedoch auf die «Schweizerischen Referenzmethoden der Eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten» (FAL, RAC & FAW, 1998) hingewiesen.

Box 2: Überwachung der Bodenfruchtbarkeit anhand bodenbiologischer Parameter

Die Überwachung der Bodenfruchtbarkeit lässt sich gesetzlich ableiten aus der Strategie «Nachhaltige Entwicklung in der Schweiz», zu der sich die Schweiz 1992 am Erdgipfel in Rio de Janeiro verpflichtet hat. Diese Strategie hat unter anderem den langfristigen Schutz der Bodenfruchtbarkeit und die Erhaltung der biologischen Vielfalt zum Ziel (BFS & BUWAL, 1997).

Bodenbiologische Parameter sind ausschlaggebend für die Funktion eines Bodens (Turco et al., 1994; Oberholzer & Rek, 1998), alleine sind sie jedoch wenig aussagekräftig. Denn die Dichte und Abundanz von Bodenorganismen hängt entscheidend von den physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften ab (H.-R. Oberholzer, pers. Mitteilung). Um die Bodenfruchtbarkeit überwachen zu können, und um zum Beispiel die Auswirkungen von transgenen Pflanzen auf die Bodenfruchtbarkeit beurteilen zu können, müssen deshalb neben biologischen Parametern immer physikalische und chemische Kennwerte/Eigenschaften des Bodens mitbestimmt werden. Zur Zeit ist die Arbeitsgruppe Vollzug Bodenbiologie (VBB) in der Schweiz daran, bodenbiologische Untersuchungen soweit zu standardisieren, dass sie für die Bodenüberwachung eingesetzt werden können. Die Arbeitsgruppe VBB setzt sich zusammen aus Vertretern der Bodenschutzfachstellen der Kantone Aargau, Bern, Solothurn und St. Gallen, der FAL (Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau), der FAW (Eidg. Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau), der WSL (Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft), des BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) und des FiBL (Forschungsinstitut für biologischen Landbau) (Ansprechpartner ist R. von Arx, BUWAL). Die Parameter und Methodiken der Arbeitsgruppe VBB sind für anbaubegleitende Bodenuntersuchungen bei transgenen Pflanzen vor allem im Hinblick auf die in Zukunft anzustrebende Verknüpfung des Monitorings mit solch allgemeinen Bodenüberwachungsprogrammen interessant. Dann nämlich sollten die Erhebungs- und Analysemethoden den aktuellen Vorgaben der VBB (FAL, RAC & FAW, 1998) und - bei Schadstoffen - des NABO (Nationales Beobachtungsnetz Boden) angeglichen werden, um die Daten gegebenenfalls auch im landesweiten Vergleich, zum Beispiel durch die Aufnahme in Referenzdatenbanken, nutzen zu können. In Anbetracht des grossen Aufwandes bei der Bestimmung von Bodenkennwerten ist bei der Auswahl der zu untersuchenden Parameter grundsätzlich auf deren Aussagefähigkeit und die Machbarkeit zu achten. Für die Bestimmung der Bodenparameter sei auf die «Schweizerischen Referenzmethoden der Eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten» (FAL, RAC & FAW, 1998) bzw. der «Wegleitung zur Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit» (BUWAL & FAC, 1991) verwiesen. Es sei auch darauf hingewiesen, dass anhand eines ähnlich umfangreichen Untersuchungsprogrammes (physikalische, chemische und biologische Bodeneigenschaften) der Einfluss von nachwachsenden Rohstoffen auf die Bodenqualität modellhaft abgeschätzt wurde (FAT, FAL & IUL, 1997).

Die Bodenfruchtbarkeit

Nach Artikel 2 der VBBO (Verordnung über Belastungen des Bodens) von 1998 «gilt ein Boden als fruchtbar, wenn er: eine für seinen Standort typische artenreiche, biologisch aktive Lebensgemeinschaft und typische Bodenstruktur sowie eine ungestörte Abbaufähigkeit aufweist; natürliche und vom Menschen beeinflusste Pflanzen und Pflanzengesellschaften ungestört wachsen und sich entwickeln können und ihre charakteristischen Eigenschaften nicht beeinträchtigt werden; die pflanzlichen Erzeugnisse eine gute Qualität aufweisen und die Gesundheit für Menschen und Tiere nicht gefährden; Menschen und Tiere, die ihn direkt aufnehmen, nicht gefährdet werden».

Untersuchungsparameter

Auswahl des Standortes und Probennahme

Bei der Auswahl der Standorte ist darauf zu achten, dass der Bodenaufbau ein natürlicher ist, zum Beispiel ohne Auffüllungen, Planierungen etc. Für die Aussagekraft der erhobenen Daten ist die Auswahl der Vergleichsfläche von entscheidender Bedeutung. So ist für jedes Feld, das langfristig untersucht werden soll, die Vergleichsfläche sehr sorgfältig nach deren Bodeneigenschaften (Bodenart, Körnung, pH-Wert etc.) auszusuchen, da diese Eigenschaften einen grösseren Einfluss auf die Bodenorganismen ausüben können als die Bewirtschaftung (H.-R. Oberholzer, pers. Mitt.). Erfahrungen mit Dauerbeobachtungsflächen im Rahmen des NABO legen zudem nahe, vor der Aufnahme bestimmter Anbauflächen in das Monitoring, die Rahmenbedingungen bezüglich Bewirtschaftung möglichst präzise vertraglich festzulegen. Die Untersuchungen sollen exakt nach den Referenzmethoden der Eidg. Landw. Forschungsanstalten (FAL, RAC & FAW, 1998) durchgeführt werden, inkl. Probennahme, Probenvorbereitung etc. Jeder Standort wird beschrieben nach Lage, Klima, angrenzende Felder, Nähe zu Wasserschutzgebieten etc. Weiterhin sind bei jeder Fläche die während der letzten Jahre angebaute(n) Haupt- und Zwischenkulturen und die Bewirtschaftungsmassnahmen anzugeben.

Physikalische Eigenschaften

Das Porenvolumen und vor allem die Porenverteilung sind bestimmend für die Durchlässigkeit des Bodens.

Chemischer Zustand

Der pH-Wert beeinflusst die Löslichkeit der Nähr- und Schadstoffe sowie die Auswaschung der Stoffe aus dem Boden. Die optimale Nährstoffversorgung liegt für die meisten landwirtschaftlichen Nutzpflanzen und Mikroorganismen im $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ -Bereich von 5.9-7.6.

Alle organisch gebundenen Formen des Kohlenstoffes im Boden werden als Humus bezeichnet. Die organische Substanz stabilisiert den pH-Wert des Bodens und fördert durch die Verbindung mit Ton die Krümelbildung und -stabilität. Die Versorgung der Pflanzen mit Mikronährstoffen und die ökologische Wirksamkeit toxischer Schwermetalle stehen in enger Beziehung zur organischen Substanz.

Die Nährstoffe P, K, Mg und Ca stellen kein Beurteilungskriterium an sich für die Bodenfruchtbarkeit dar, dienen aber zur Beurteilung der Vergleichbarkeit von Flächen und spielen eine entscheidende Rolle für den landwirtschaftlichen Anbau.

Schadstoffgehalt

Für den «Totalgehalt» (HNO_3 -löslich) und teilweise für den löslichen Gehalt (NaNO_3 -löslich) von zehn kritischen Schwermetallen und Fluor existieren Richtwerte. Der Totalgehalt gibt Hinweise auf die Langzeitwirkung der Schadstoffe, mit dem löslichen Gehalt kann der pflanzenverfügbare Schwermetallanteil erfasst werden. Im Rahmen des NABO werden an 102 über die Schweiz verteilten Standorten, die Konzentration der Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kobalt, Kupfer, Molybdän, Nickel, Quecksilber, Thallium, Zink und Chlor bestimmt. Zusätzlich ist man bemüht, die Analyse und Interpretation des Gehaltes von organischen Schadstoffen zu verbessern, um sie in das NABO-Programm mitaufzunehmen zu können (A. Desaulles, pers. Mitt.).

Salzgehalt

Der Prozess der Versalzung kann in eine unter natürlichen Bedingungen ablaufende Versalzung und eine künstliche Versalzung (Streusalz, Niederschläge und Düngemittel) gegliedert werden. Meist treten vor allem Chloride, Sulfate und Carbonate von Na, Mg und Ca auf. Oberhalb eines Salzgehaltes von 150 mg KCl/100g Boden ist eine ungünstige Beeinflussung des Pflanzenwachstums wahrscheinlich.

Kationenumtauschkapazität KUK

Die Kenntnis der austauschbaren Menge Einzelionen an Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ , K^+ und unter Umständen Na^+ ist für pflanzenbauliche Beurteilungen von Interesse. Die potentielle KUK_{pot} ist die Summe der austauschbaren Kationen bei pH 7.0-7.5. Die KUK beim jeweiligen pH-Wert des Bodens wird als reale oder effektive KUK_{eff} bezeichnet. KUK_{pot} und KUK_{eff} sind demnach meist nur in carbonathaltigen Böden identisch, in sauren Böden dagegen ist die KUK_{eff} kleiner als die KUK_{pot} . In der Regel besitzen Böden mit hohen Gehalten an organischer Substanz, Ton sowie Oxiden eine hohe KUK, was auf einen stark gepufferten Boden schliessen lässt.

Biologischer Zustand

Die VBB empfiehlt für die Untersuchung des mikrobiologischen Zustandes eine Analyse der mikrobiellen Biomasse und der mikrobiellen Aktivität. (FAL, RAC & FAW, 1998).

Der Gehalt an mikrobieller Biomasse gibt darüber Auskunft, wieviel Bakterien- und Pilzbiomasse in einem Boden vorhanden ist. Es existieren verschiedene Möglichkeiten, die Biomasse zu bestimmen. Da die Mikroorganismen jedoch nicht direkt erfasst werden können, beschränken sich die Methoden auf indirekte Verfahren, bei denen entweder Stoffwechselaktivitäten (bei der Fumigation-Inkubations-Methode FIM oder mittels der Substrat-Induzierten-Respiration SIR) oder Inhaltsstoffe (bei der Fumigation-Extraktions-Methode FEM oder der Bestimmung von Adenosin-Triphosphat ATP) bestimmt werden. Die VBB empfiehlt die FE-Methode anzuwenden, da ihre Anwendung am wenigsten Einschränkungen aufweist. Aus Gründen der Vergleichbarkeit mit anderen Studien ist es evtl. sinnvoll, zusätzlich eine zweite Methode (SIR-Methode bzw. ATP-Bestimmung) anzuwenden.

Von den Bodenorganismen werden bis zu 80% des aufgenommenen organisch gebundenen Kohlenstoff zur Energiegewinnung genutzt, nur wenige Procente werden für den Aufbau der Biomasse benützt (BUWAL & FAC 1991). Die an der Energiegewinnung beteiligten Reaktionen sind Oxidationen, wobei Sauerstoff aufgenommen und Wasserstoff abgegeben wird. Der Prozess besteht aus vielen Teilschritten, wobei letztendlich Kohlenstoff oxidiert und Sauerstoff reduziert wird. Aus diesem Grund geht man davon aus, dass sich Redoxprozesse (Basaltmung, N-Mineralisierung) dazu eignen, die Gesamtaktivität der Bodenmikroorganismen zu charakterisieren.

Neben der Biomasse und Aktivität werden Mikroorganismengemeinschaften vor allem durch ihre Vielfalt und ihre Gemeinschaftsstruktur charakterisiert (Laczko et al. 1996). Unterschiede in der mikrobiellen Diversität können Hinweise auf tiefgreifende funktionelle Unterschiede und damit auf die Bodenqualität zwischen Anbauflächen geben (Turco et al., 1994; Donegan et al., 1997).

Die bodenmikrobiologische Gemeinschaft besteht aus ca. 10.000 verschiedenen Arten pro Gramm Boden (Turco et al., 1994). Dementsprechend schwierig ist es, geeignete Methoden zu entwickeln, die diese ungeheure Artenfülle beschreiben können. Mit dem heutigem methodischem Repertoire ist es nicht möglich, alle Mitglieder der mikrobiellen Gemeinschaft zu erfassen (Munch, 1996). Zur Zeit gibt es keine standardisierte, allgemein anerkannte Methode zur Erfassung der Diversität der Mikroorganismen im Boden, es werden jedoch verschiedene Methoden zur Zeit entwickelt und geprüft. Sie basieren auf der unterschiedlichen Substratverwertung der Bakterien (Garland & Mills, 1991; Turco et al., 1994; Munch, 1996), auf Analysen von Phospholipidfettsäuren (PLFAs) (Zelles et al., 1992; Turco et al., 1994; Laczko et al., 1996) oder auf DNA-Analysen (Turco et al., 1994; Angle, 1994; Munch, 1996) (vgl. Box 3).

Box 3: Erfassung der Diversität von Bodenmikroorganismen**Substratverwertung (BIOLOG-System)**

Dieses Verfahren nutzt die bei Bakterien unterschiedliche Verwertung von 95 organischen Substraten als C-Quellen. Es ist ein käuflich zu erwerbendes Mikrotiterplattenverfahren, das zum Zwecke von taxonomischen Studien an Mikroorganismen entwickelt wurde. Seine Anwendung setzt aller-

dings voraus, dass die zu untersuchenden Bakterien auf Medien kultivierbar sind. Aus der Summe der verwerteten Substrate wird jeweils ein Index errechnet (Shannon-Index), auf dem die Vergleiche basieren. Munch (1996) erachtet diese Methode als vielversprechend, da sie intensiv eingesetzt und weiter entwickelt wird. Donegan et al. (1995) konnten mit BIOLOG Unterschiede in der Verwertung v.a. von Asparagin, Asparaginsäure und Glutaminsäure zwischen transgenen Pflanzen und deren Kontrolllinie feststellen. Auf der anderen Seite geben Turco et al. (1994, nach Torsvik et al.) an, dass schätzungsweise 99.5 bis 99.9% der Bodenbakterien, die unter dem Fluoreszenzmikroskop bestimmt wurden, nicht isoliert oder auf Labormedien kultiviert werden konnten. Die Einschränkung, dass mit dieser Methode ein Grossteil der Mikroorganismen gar nicht erfasst wird, sollte bei der Anwendung immer bedacht werden.

Phospholipid-Fettsäuren-Muster (PLFA)

Phospholipid-Fettsäuren sind feste Bestandteile der Zellwand der meisten Mikroorganismen. Ihre Zusammensetzung ist für einzelne Gattungen und Arten spezifisch, ein Umstand, der sie neben Biomasseanalysen auch für taxonomische Untersuchungen auszeichnet (Turco et al. 1994). In mehreren Untersuchungen konnte bereits gezeigt werden, dass es möglich ist, unterschiedlich bearbeitete und bepflanzte Flächen anhand der Fettsäuremuster im Boden zu unterscheiden (Zelles et al. 1992; Laczko et al. 1996). Ähnlich wie die DNA-Analysen (s.u.) arbeitet dieses Verfahren mit Bodenextrakten und umgeht damit die Selektionsnachteile von Kulturverfahren.

DNA-Analysen

Dieses Verfahren arbeitet mit Bodenextrakten und sowohl Turco et al. (1994) als auch Munch (1996) halten es für die vielversprechendste Methode, um Fragen bezüglich Biodiversität der Bodenmikroorganismen zu klären. Die Analyse des genetischen Materials sowohl von Organismen als auch von Bodenextrakten erlauben es, in Bodenproben sowohl einzelne als auch Gruppen von Organismen ohne die Selektionsnachteile von Kulturverfahren zu erfassen. Durch eine nachfolgende Vervielfältigung einzelner DNA-Abschnitte mittels PCR (polymerase chain reaction) - Reaktionen, zum Beispiel RAPD (random amplified polymorphe DNA mit zufälligen Primern) wird es möglich, auch Organismen zu berücksichtigen, die in sehr geringen Zahlen vorliegen (Turco et al. 1994). Darüber hinaus bietet diese Methode den Vorteil, mit Hilfe von DNA-DNA-Hybridisierungen spezifische Gene, zum Beispiel Transgene und Markergene, im Boden zu verfolgen (Turco et al. 1994). Damit kann sowohl die Persistenz einzelner DNA-Abschnitte im Boden als auch die mögliche Übertragung von Genabschnitten auf Mikroorganismen (horizontaler Gentransfer) beobachtet werden.

Spezifische Indikator-Organismen

Für viele Fragestellungen, zum Beispiel ökotoxikologische Untersuchungen von Pflanzenbehandlungsmitteln, werden spezielle, repräsentative Arten als Indikatoren ausgewählt und untersucht. Deren Verhalten und Entwicklung steht stellvertretend für andere biologische Komponenten in einem System. Für die Auswahl geeigneter ökologischer Indikatoren werden folgende Kriterien genannt (Turco et al., 1994, nach Holloway & Stork 1991): ein Indikator sollte eine schnelle und exakte Reaktion auf eine Störung oder Beeinträchtigung seiner Umwelt zeigen; er sollte in Zusammenhang mit der Funktion eines Ökosystems stehen; er sollte einfach und ökonomisch zu untersuchen sein; und schliesslich sollte er weitverbreitet sein und dennoch spezifische Anpassungen auf räumliche Veränderungen und zeitliche Schwankungen in der Umwelt zeigen. Für Bodenuntersuchungen können Mikroorganismen (Viren, Bakterien, Pilze), Algen, Flechten, Einzeller, Nematoden, Regenwürmer und Gliedertiere (Krebse, Insekten und Spinnen) aus der Meso- und Makrofauna als Indikatoren dienen (Angle, 1994).

Für das Monitoring von transgenen Pflanzen sollten Organismen ausgewählt werden, die mit den transgenen Produkten bzw. deren Metaboliten in Kontakt kommen. Diese sollten entweder allgemein sensibel auf Veränderungen innerhalb ihrer ökologischen Nische oder sensibel auf bestimmte Produkte reagieren, zum Beispiel Regenwürmer oder Springschwänze, die anfällig für *Bacillus thuringiensis*-Toxine sein könnten (s.o.). In Anlehnung an die bei der Pestizidzulassung untersuchten Organismen kommen vor allem stickstofffixierende Bakterien wie Rhizobien (H.-R. Oberholzer, pers. Mitt.) oder nitrifizierende Bakterien wie *Nitrosomonas* spp. (Angle, 1994) für ein Monitoring in Betracht. Diese werden bei Pestizidzulassungen und auch bei Schadstoffuntersuchungen als Indikatoren genutzt und könnten somit ebenfalls beim Anbau von transgenen Pflanzen untersucht werden. Rhizobien sind vor allem genetisch gut untersucht; *Nitrosomonas*-Arten, verantwortlich für den ersten Schritt der Nitrifikation, das ist Umwandlung von Ammonium in Nitrat und Nitrit (Angle, 1994), sind gegenüber Umweltveränderungen, vor allem Schwermetallbelastungen, sehr anfällig (Somerville & Greaves, 1987).

Eine Indikatorfunktion könnten auch Mykorrhiza-Pilze einnehmen, die als symbiontische Wurzelpilze in über 90% aller Landpflanzen vorkommen und den biotischen und abiotischen Stofffluss zwischen Boden und Pflanzen beeinflussen oder sogar regulieren (Galli, 1997). Da die Symbiose sehr empfindlich auf ackerbauliche Pflegemassnahmen wie zum Beispiel Düngung, Bodenbearbei-

tungspraxis, Kulturfolgen oder Pestizideinsätze sowie Schadstoffbelastung oder Schwermetalleintrag reagiert (s. Galli, 1997), erscheint es sinnvoll, die Mykorrhiza in die Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit miteinzubeziehen. Auch langsame Veränderungen in Dauerbeobachtungsflächen können anhand des Mykorrhizierungsgrades festgestellt werden (Galli, 1997). Darüber hinaus ist ein Monitoring der Mykorrhizapilze vor allem beim langjährigen Anbau transgener pilzresistenter Kultursorten zu empfehlen. So konnten zum Beispiel Toth et al. (1990) zeigen, dass konventionell gezüchtete pilzresistente Maissorten signifikant weniger mykorrhiziert waren als pilzanfällige Sorten. Die Vermutung liegt nahe, dass transgene Sorten, die Chitinasen und Glucanasen konstitutiv exprimieren, eine negative Auswirkung auf die Mykorrhiza haben können (Vierheilig et al., 1995).

Bodenbürtige Pathogene

Wie bei den oberirdischen Nicht-Zielherbivoren kann es bei pestiziden Pflanzen durch ähnliche Mechanismen (Einsparung von breitwirksamen Pestiziden, Freiwerden einer Nische für bislang konkurrenzschwache Arten, Eingriff in die Wechselbeziehungen des Ökosystems Boden) zum Auftreten von sekundären, bodenbürtigen Krankheiten kommen. Deshalb sollten auch wichtige, vorkommende bodenbürtige Pathogene als Indikatoren mit untersucht werden.

Begleitflora und -fauna

Verwandte Wildarten

Die wichtigste Begleiterscheinung, die beim Anbau von transgenen Pflanzen befürchtet wird, ist das Auskreuzen der Eigenschaft auf verwandte Wildarten und damit die Ausbreitung einer Eigenschaft in zum Teil neue Habitate. Auch die Bildung von «Super-Weeds», wenn Herbizidresistenzen auf Ackerunkräuter übertragen werden, ist ein zentrales Thema der zur Zeit diskutierten Risikoforschung. Da dieses Thema in einer anderen Teilstudie erschöpfend behandelt wird (s. Teilstudie 3/6), wird hier nur kurz darauf eingegangen.

Das Auskreuzungspotential, das abhängig ist von der Fortpflanzungsweise der Kulturpflanze und dem Vorkommen verwandter Arten in der Umgebung, wird im Rahmen der Zulassung abgeklärt (s. Kapitel 3). Es sei an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass die Gefahr des Auskreuzens nicht spezifisch für transgene Pflanzen ist, sondern vielmehr von vielen Kulturpflanzen ausgeht. Lediglich die Auswirkungen einer übertragenen Eigenschaft sind unter Umständen anders. Denn die Übertragung von Eigenschaften über Art- und Reichsgrenzen hinweg kann bei der Ausbreitung dieser Eigenschaft in der Umwelt andere Implikationen für ökologische und evolutive Prozesse besitzen. Deshalb sind es primär die Auswirkungen eines Gentransfers, die im Zentrum der Nachzulassungs-Forschung stehen müssen, und nicht das Auskreuzungspotential oder der Pollenflug. Auswirkungen wären zum Beispiel veränderte Wechselwirkungen mit assoziierten Organismen der genetisch kompatiblen Wild- und Hybridart in Naturhabitaten (zum Beispiel verminderte Bestäubung durch eine Veränderung der Blütenfarbe), oder Wechselwirkungen der Wild- oder Hybridart mit der assoziierten Pflanzengesellschaft, zum Beispiel durch veränderte Konkurrenzkraft bei Resistenzen gegenüber Krankheiten und Schädlingen oder allelopathische Effekte.

Das Auskreuzen auf Nachbarfelder mit sexuell kompatiblen Kulturpflanzen wie andere Sorten der gleichen Art oder verwandte Arten, wird unter «Agronomische Aspekte» behandelt.

Mit neuartigen Transformationstechniken ist es jetzt möglich, Gene in Chloroplasten-DNA zu integrieren (McBride et al., 1995; Daniell et al., 1998; Bilanz & Potrykus, 1998). Es handelt sich dann um transplastomische Pflanzen. Die Technik hat den Vorteil, die Anzahl der Gene in einer Zelle um ein Vielfaches zu erhöhen und damit eine bessere Expression der Eigenschaften zu erreichen (Daniell et al., 1998; Bilanz & Potrykus, 1998). Da die Chloroplasten prokaryotische Transkriptions- und Translationsmechanismen haben, ist die Effektivität der Expression bakterieller

Gene nochmals erhöht (Daniell et al., 1998). Darüber hinaus reduziert sich bei transplastomischen Pflanzen auch die Auskreuzungsgefahr, denn Chloroplasten werden bei vielen Pflanzen maternal weitergegeben und sind nicht im Pollen vorhanden (Daniell et al., 1998; Gray & Raybould, 1998). Aber auch wenn die Transformation von Chloroplasten ein bedeutender Schritt in Richtung Minimierung des Auskreuzungspotentials ist, so bedeutet sie jedoch nicht die absolute Sicherheit vor einem vertikalen Gentransfer. So werden bei einigen Pflanzen Chloroplasten sowohl maternal als auch mit dem Pollen weitergegeben, unter anderem bei Tabak, Reis und Luzerne (s. Stewart & Prakash, 1998; Cummins, 1998). Darüber hinaus können auch verwandte Wildarten als Pollenspender fungieren und es so zu Hybridarten mit Unkrauteigenschaften kommen (Cummins, 1998).

Allgemeine Begleitflora und Begleitfauna

Der Schutz der belebten Umwelt gewinnt in der Agrarpolitik zunehmend an Bedeutung. So wurden auch bei der Beurteilung eines grossräumigen Anbaus von Raps, Hanf, Chinaschilf und Kenaf als nachwachsende Rohstoffe in der Schweiz die Qualität des von der Kultur zur Verfügung gestellten Lebensraumes überprüft (FAL & Uni Bern, 1997). Dazu wurden ausgewählte floristische (Artenvielfalt, Entwicklungsstadium, Deckungsgrad, Seltenheit) und faunistische Parameter (Insekten, Spinnen, Regenwürmer und Vögel) untersucht. Bei der ökologischen Beurteilung eines Anbaus transgener Pflanzen sollte unseres Erachtens ebenfalls deren Eignung als Lebensraum für Flora und Fauna abgeklärt werden. Denn viele der neuen Pflanzensorten werden direkte (bei insektiziden Stoffen oder Pharmazeutika) oder indirekte (über Veränderungen der Anbaupraxis) Effekte auf die Begleitflora und -fauna ausüben. Da es nahezu unmöglich ist, ein Ökosystem vollständig zu erfassen, ist das Prinzip der Indikation anzuwenden. In Analogie zu den neuen Pflanzenarten für nachwachsende Rohstoffe (FAL & Uni Bern, 1997) können für neue Pflanzensorten praktisch die selben Parameter herangezogen werden, da es sich auch hier vorwiegend um Ackerflächen handelte (s. Box 4).

Box 4: Erfassen der belebten Umwelt (nach FAL & Uni Bern, 1997)

Floristische Parameter

Es wurden jeweils zwei Aspekte aus folgenden vier Bereichen untersucht:

- Artenvielfalt (Gesamtartenzahl / 0,5 ha und Anzahl der quantitativ wichtigen Arten). Dieser Parameter erfasst Auswirkungen von Kulturen und Bewirtschaftung, charakterisiert den Standort und dient als Grundlage zur Interpretation der faunistischen Daten. Leitpflanzen als Indikatoren für Biodiversität können bei der Auswertung besonders berücksichtigt werden.
- Entwicklungsstadium der Pflanzen (Anzahl der versamenden Arten und Anzahl der blühenden Individuen / m²). Vor allem bei seltenen oder im Rückgang befindlichen Arten ist es wichtig zu wissen, ob diese versamen und den Fortbestand der Art an diesem Standort sichern können. Weiterhin ist das Erreichen der Blüte oder die Samenbildung oft Voraussetzung für das Vorkommen anderer Organismen.
- Deckungsgrad (Gesamtdeckungsgrad und Deckungsgrad der Begleitflora). Der Gesamtdeckungsgrad schätzt das Erosionsrisiko ab, der Deckungsgrad der Begleitflora ist bezüglich der vorkommenden Insektenarten (Krautschicht, Mikroklima) von Bedeutung. Artenvielfalt und Deckungsgrad zusammen dokumentieren über die Zeit Ausbreitungsverhalten einzelner Begleitarten und können so entstehende Unkrautprobleme ankündigen.
- Seltenheit (Anzahl Rote-Liste-Arten und Anteil der 20 häufigsten Ackerunkräuter an der Gesamtartenzahl). Die gefundenen Artenlisten werden hinsichtlich ihrer Vielfalt bewertet.

Innerhalb des Agrarraumes können mit Hilfe dieser Parameter auch gegenüber Herbiziden resistent gewordene Unkräuter festgestellt werden, da sich aus Artenvielfalt und Deckungsgrad leicht ablesen lässt, wenn eine Pflanzen im Lebensraum dominant wird.

Begleitfauna

Jede landwirtschaftliche Nutzung hat Auswirkungen auf die Tierwelt eines Standortes, wobei je nach Kulturpflanze und Anbauintensität eine bebaute Fläche nur bestimmten Tierarten als Lebensraum dient. Als Indikatoren für die Lebensraumqualität neuer Kulturpflanzen oder Pflanzensorten werden vor allem Arthropoden (Insekten und Spinnen) und Regenwürmer (s. Nicht-Zielorganismen Boden) untersucht. Arthropoden stellen die zahlen- und artenmässig größte Gruppe der Makrofauna dar und eignen sich besonders für parzellenbezogene Aussagen. In die Untersuchungen können auch Wirbeltiere (Kleinsäuger, Igel, Wild und Vögel) miteinbezogen werden. Allerdings kommt hier erschwerend hinzu, dass diese Tiere sehr mobil sind, was Begleitforschung im Vergleich zu Kontrollflächen schwierig macht. Der Forschungsschwerpunkt sollte bei diesen Tieren auf Untersuchungen zur Vogel- und Säugetier-Toxizität in Frasstests gelegt werden. Arthropoden können mit Hilfe von Fallen (Barberfallen, Gelbschalen) an der Bodenoberfläche und über den Pflanzen gesammelt und untersucht werden. Beurteilungskriterien sind zum Beispiel Artenvielfalt (v.a. von Laufkäfer und Spinnen), Seltenheit, Anteil spezifischer Ernährungsgruppen (Phytophage, Carnivore, Detritophage, Destruenten) und das Ausmass der Besiedelung.

Ausgehend von der Verpflichtung zum Schutz und Erhalt der Biodiversität wird im Auftrag des BUWAL zur Zeit ein Monitoring-Konzept für Biodiversität (BDM-CH) erarbeitet, das voraussichtlich im Jahr 1999 in die Praxis umgesetzt wird (Hintermann & Weber, 1996). Unter Umständen bestehen hier Anknüpfungspunkte für ein Monitoring der Biodiversität sowohl von landwirtschaftlich genutzten Flächen als auch Naturräume unter Berücksichtigung transgener Pflanzensorten.

5.4.4 Aspekte der Agronomie und der Nachhaltigkeit

Agronomische Aspekte sind wichtig, einerseits als Grundlage für die Interpretation der ökologischen Daten, andererseits um den Erfolg transgener Sorten abschätzen zu können. Bei diesen Daten handelt es sich weniger um Begleitforschung oder Monitoring als vielmehr um statistische Erhebungen. Zum Teil werden die Parameter auch allgemein zur Beurteilung der landwirtschaftlichen Situation in der Schweiz aufgenommen, zum Beispiel vom Schweizerischen Bauernverband oder vom Bundesamt für Statistik. Weiterhin werden in einem Netz von ca. 3000 Betrieben betriebswirtschaftliche Daten erhoben und von der FAT ausgewertet. Generell wäre es sinnvoll, in einem ähnlichen Netz den Einfluss von transgenen Pflanzen auf agronomische Parameter zu untersuchen und mit Hilfe von Ökobilanzen zu evaluieren. Folgende agronomische Aspekte sollten statistisch erfasst werden:

Standortbedingungen

Lage (angrenzende Felder, Hangneigung, Nähe zu Schutzgebieten), Klima (Luft-, Bodentemperatur, Niederschläge, Sonnenscheindauer, Ozonwerte) und Schadstoffgehalte in der Luft.

Anbaupraxis

Flächengrösse, Bodentyp (Ton-, Schluff-, Sandgehalt), Fruchtfolgen (Vor- und Nachanbau), Aussaattermine und -technik, Bodenbearbeitung, Erntezeitpunkt etc. Gerade die Anbaupraxis hat grossen Einfluss auf ökologische Parameter, zum Beispiel Nützlinge, Boden, Begleitflora und -fauna (vgl. Torgersen, 1996).

Pestizideinsätze, Düngemiteleinträge, Rückstände in der Umwelt

Diese Parameter sind weltweit anerkannte ökologische Indikatoren für eine nachhaltige Landwirtschaft. Das Ziel neuer Pflanzensorten mit Krankheitsresistenz oder verbesserten Standortanpassungen ist es, bei gleichbleibender Ertragssicherheit chemische Einträge in die Umwelt zu vermindern. Ihr Erfolg wird demnach unter anderem an Pestizideinsätzen, Düngemiteleinträgen und deren Rückständen in der Natur gemessen werden. Hier sei darauf hingewiesen, dass herbizidtolerante Sorten den Einsatz von Pestiziden vermindern helfen können, indem sie es ermöglichen, die Unkraut- bzw. Schaderregerkontrolle variabler zu gestalten. So wird es zum Beispiel mit Hilfe herbizidtoleranter Zuckerrüben möglich, die Unkrautkontrolle später in die Vegetationsperiode zu legen, da die heute zugelassenen Mittel nur im Keimblattstadium wirksam sind. «Unkräuter» fördern, wie gezeigt wurde, die Abundanz von Nützlingen, welches einen geringeren Blattlausbefall und damit weniger Virosen zur Folge hat (Dubois & Ammon, 1997). Somit wäre es möglich, die Blattlausbekämpfung zur Vermeidung von Viruskrankheiten im Zuckerrübenanbau einzuschränken.

Ertrag

Ein Nachteil der konventionellen Züchtung besteht darin, beim Einkreuzen gewünschter Eigenschaften, zum Beispiel Krankheitsresistenzen, unerwünschte Eigenschaften mit in die Kulturpflanze

zu integrieren. Da sich dieses oft negativ auf Wachstum und Ertrag auswirkt, müssen die unerwünschten Gene über langwierige Rückkreuzungen eliminiert werden. Bei transgenen Pflanzen entfällt diese aufwendige Prozedur, Gene können gezielt übertragen werden. Dennoch zeigen erste Erfahrungen mit Bt-Pflanzen in den USA, dass es unter ungünstigen Bedingungen auch bei diesen Varietäten zu Ertragsminderungen kommen kann (W. Moar, pers. Mitteilung). Die Ertragsbildung wird in der Sortenprüfung überprüft, wobei verstärkt auf Stressbedingungen geachtet werden sollte. Sie sollte jedoch auch nach der Zulassung weiterbeobachtet werden. Für die Erstellung von Ökobilanzen ist die Ertragserhebung unerlässlich.

Erosion

Bei herbizidtoleranten Sorten ist die Erosionsneigung des Bodens zu beachten. Denn der uneingeschränkte Einsatz von breitwirksamen Herbiziden kann zu mangelnder Bodenbedeckung führen, die der Erosionsgefährdung Vorschub leistet. Da Winderosion in der Schweiz fast keine Bedeutung besitzt (H.-R. Oberholzer, pers. Mitteilung), ist der Bodenabtrag vor allem an Hanglagen zu berücksichtigen.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass auf der anderen Seite gerade herbizidtolerante Sorten umweltschonende Anbaumethoden fördern und somit der Erosion entgegenwirken können, zum Beispiel bei Mais. Mais ist als C4-Pflanze den heimischen C3-Pflanzen in Konkurrenzsituationen unterlegen, was eine Unkrautbekämpfung gerade in den Anfangsstadien des Wachstums erfordert. Durch die Unkrautbekämpfung am Anfang der Vegetationsperiode schliessen sich die Reihen erst spät und ist der Boden im Frühjahr wenig durchwurzelt. Aus diesem Grund ist die Erosionsgefahr im konventionellen Maisanbau besonders gross. Eine Alternative zu der konventionellen Unkrautbekämpfung entwickelten Ammon & Bohren (1990) mit dem Prinzip der «Maiswiese», die Breitband-Frässaat von Mais in Wiesen- und Gründungsbestände. Hier werden nach der Frühjahrsnutzung Saatstreifen in einen Wiesenbestand eingefräst, die Grasnarbe zwischen den Reihen bleibt dabei weitgehend erhalten. Die Pflege des Zwischenreihenbewuchses erfolgt je nach Wasserangebot durch Mulchen oder Herbizide. Es bleibt eine permanente Bodenbedeckung erhalten, die viele ökologische Vorteile hat:

- Schutz vor Erosion und Bodenabbau
- Verbesserte Bodenstruktur und Wasserabfluss
- Hemmung der Nitrat- und Pflanzenschutzmittelauswaschung
- Klassische Maisunkräuter werden am Auflaufen gehindert, Bodenlebewesen (Regenwürmer) und Nützlinge werden gefördert
- Schneckenprobleme werden stark gemindert
- Der Herbizidaufwand kann bis zu 50-70% gesenkt werden

Anstelle von Wiesen kann der Mais auch in Vorfrüchte, zum Beispiel Grünschnittroggen (Ammon et al., 1992) oder Leguminosen (Ammon & Scherrer, 1996) eingesät werden. Leguminosen haben vor allem den Vorteil, dass sie auch bei niedrigen N-Gaben gute, dem konventionellen Anbau vergleichbare, Erträge ermöglichen. Allerdings erfordern sie eine fristgerechte, wirksame Regulation, welche mit den heute üblichen Nachauflauf-Herbiziden nicht zu erreichen ist. Gegenüber Leguminosen wirksame Herbizide sind Glyphosat und Glufosinat (Phosphinothricin), die bislang jedoch nur im Voraufbau eingesetzt werden können. Glufosinat-resistenter Mais wäre daher unter Praxisbedingungen die Voraussetzung für eine exakt definierte Nachauflaufbehandlung (Ammon & Scherrer, 1996).

Durchwuchs in Folgekultur

Besonders bei herbizidtoleranten Sorten oder Sorten mit veränderten Inhaltsstoffen und verbesserten Standortanpassungen ist auf durchwachsende Pflanzen in der Nachfolgekultur zu achten. Sorten mit Herbizidtoleranz können dann Unkrautprobleme verursachen, wenn in der Fruchtfolge ebenfalls herbizidtolerante (gegenüber dem gleichen Komplementärherbizid) Kulturarten angebaut werden. Bei Sorten mit veränderten Inhaltsstoffen kann es zu unerwünschten Ertragsmischungen kommen, zum Beispiel wenn innerhalb der Fruchtfolge Sorten einer Kulturart mit verschiedenen Zweckbestimmungen (Ernährung, industrielle Nutzung, Pharmazeutika) angebaut werden. Bei Sorten mit verbesserter Standortanpassung ist die Gefahr des vermehrten Durchwuchses gegeben.

Vertikaler Gentransfer auf Kulturpflanzen

Die Übertragung von Eigenschaften auf Kulturpflanzen der selben Art oder verwandte Kulturarten sollte in bestimmten Fällen vermieden werden, zum Beispiel bei verschiedenen Zweckbestimmungen des Erntegutes oder wenn angrenzende Flächen nach biologischen Prinzipien bewirtschaftet werden. Denn der Biolandbau garantiert seinen Kunden gentechfreie Produkte. Um die Problematik des Aus- bzw. Einkreuzens angehen zu können, sind, sofern der Pollen das Gen enthält, in erster Linie Daten über die Verbreitung des Pollens in Abhängigkeit von der Grösse der Anbaufläche erforderlich (Klinger & Ellstrand, 1998; Damgaard, 1998). Da je nach Pflanzenart Pollen sehr weit verbreitet werden kann, zum Beispiel Maispollen bis zu 2 Meilen (EPA, 1997), und eine Übertragung der Eigenschaft nicht gänzlich vermieden werden kann, müssen als weitere Schritte Mindestabstände zwischen Feldern festgelegt werden und es müssen Konzentrationslimite für ein Genprodukt im Erntegut fixiert werden.

Qualität und Lagerfähigkeit des Erntegutes

Bei Sorten mit abweichenden Inhaltsstoffen oder verändertem Reifeprozess sind langfristig Daten über die Lagerfähigkeit zu erheben. Bei Weizen zum Beispiel ist die Keimfähigkeit bzw. deren Abnahme im Laufe der Zeit ein Qualitätsmerkmal. Auch ist es interessant zu beobachten, ob sich der Befall mit Vorratsschädlingen oder -krankheiten verändert.

6. Fallbeispiel Mais (*Zea mays* L.) mit Insektenresistenz (Bt-Toxin gegen den Maiszünsler)

6.1 Kulturpflanze - Schädling - Resistenzmechanismus

6.1.1 Mais

Geschichte und wirtschaftliche Bedeutung

Mais ist neben Weizen und Reis einer der Hauptträger der menschlichen Ernährung. Während er in den Entwicklungsländern vor allem als direktes Nahrungsmittel dient, wird er in Ländern mit höherem Lebensstandard vorwiegend als Viehfutter (Silomais) angebaut (Hofmann et al., 1985). Mais ist erstmalig von Kolumbus 1493 nach Europa gebracht worden, doch erst mit der Einfuhr von Hybridmaissorten aus den USA in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts kam es zu einer Ausdehnung der Anbauflächen und der Produktion. Von 1965 an hat sich innerhalb von 25 Jahren die Weltproduktion verdoppelt, bis 1990 auf 129 Millionen Hektar 475 Millionen Tonnen Mais produziert wurden (Oerke et al., 1994). Von 1994 bis 1996 wurden weltweit im Durchschnitt mehr als 136 Millionen ha mit Körnermais und 30 bis 50 Millionen ha mit Silomais bestellt (Janinhoff, 1997). Damit nimmt Mais unter allen Ackerkulturen weltweit den zweiten Platz im Anbauumfang und den ersten Platz bei der Nahrungserzeugung ein (Janinhoff, 1997).

In der Schweiz stieg die Anbaufläche von ca. 3600 Hektar in 1960 auf ca. 66200 in 1990 (Fried et al., 1993). 1997 betrug die Fläche für Körnermais 22000 Hektar, für Silo- und Grünmais ca. 43400 Hektar (SBV/AST, 1998). Damit nimmt Mais hinter Weizen den zweiten Platz im Anbauumfang ein. Die Hauptanbauggebiete liegen im Mittelland und im Genfer Seebecken (Bigler & Bosshart, 1992). Auch in den Tälern der Nord- und Südalpen, des Wallis und von Graubünden und im St. Galler Rheintal wird Mais (Körner- und Silomais), wenn auch in geringerem Umfang, angebaut (Bigler & Bosshart, 1992).

Abstammung, Systematik, Biologie

Die Art *Zea mays* L. gehört zur grossen Familie der Gramineae, und hier zur Tribus Maydeae, der sich von den Andropogoneae durch einen monözischen (= einhäusigen) Blütenbau unterscheiden. Neben *Zea* umfasst dieser Tribus die amerikanische Gattung *Tripsacum* und andere, asiatische, Gattungen, die sich mit den amerikanischen nicht kreuzen lassen (Hofmann et al., 1985). Domestikationszentren des Maises sind im nördlichen Süd-Amerika (Peru, Bolivien, Ecuador) und in Mittelamerika (Mexiko und Guatemala) zu finden.

Die dem Mais am nächsten stehende Pflanze ist die Teosinte (*Zea mexicana*), eine einjährige Grasart, die in Mexiko, Guatemala und Honduras vorkommt. Sie hat dieselbe Chromosomenzahl ($2n=20$) und lässt sich leicht mit dem Mais kreuzen (Hofmann et al., 1985). Es ist allerdings umstritten, ob der Mais von ihr abstammt oder von einer bis heute unbekanntem wilden Urform. Die Unfähigkeit des Kulturmaises, sich ohne menschliche Hilfe fortzupflanzen deutet auf eine frühzeitige, starke Beeinflussung der Entwicklung durch den Menschen hin. Die wesentlichen Ziele in der heutigen Maiszüchtung sind der Ertrag, die Frühreife und die Kältetoleranz (Torgersen, 1996).

Der Mais ist eine tagneutrale einjährige C4-Pflanze. Sie ist monözisch, getrenntgeschlechtlich und infolgedessen überwiegend fremdbefruchtend (Hofmann et al., 1985). Bei freiem Abblühen kommt Selbstbefruchtung in einer Häufigkeit von 1 bis 15 Prozent vor. Der Pollen wird durch den

Wind übertragen (Hofmann et al., 1985). Die Temperaturansprüche von Mais sind hoch, die Keimung setzt erst bei 10°C ein, die Optimaltemperatur beträgt 20-25°C.

Pflanzenschutz im Maisanbau in Europa

Als Krankheiten des Mais werden der Beulenbrand, verursacht durch den Pilz *Ustilago maydis*, und Wurzel-, Stengel- und Kolbenfäule, vor allem verursacht durch Pilze der Gattung *Fusarium* beschrieben (Zscheischler et al., 1990). Zur Bekämpfung des Beulenbrandes werden vor allem vorbeugende Massnahmen wie eine ausgewogene und harmonische Düngung, Inkrustierungsverfahren oder eine gezielte Spritzung gegen die Fritfliege, die als Wegbereiter für den Beulenbrand dienen kann (s.u.), angewandt. Fäulniserkrankungen werden ebenfalls vorbeugend durch eine ausgewogene Fruchtfolge und eine harmonische Düngung und vor allem mit der Verwendung möglichst widerstandsfähiger Sorten bekämpft (Zscheischler et al., 1990).

Als tierische Schädlinge an Mais sind bekannt der Drahtwurm (*Agriotes* sp.), die Fritfliege (*Oscinella frit*), Blattläuse (*Rhopalosiphum maidis*), Nematoden (z.B. *Ditylenchus dipsaci*, *Pratylenchus penetrans*) und vor allem der Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*) (Zscheischler et al., 1990). Larven des Drahtwurms und der Fritfliege können dem Mais schon im Jugendstadium durch Frass an den Wurzeln oder dem Spross starke Schäden zufügen. Fritfliegenlarven können dabei sehr früh durch die Blatttüte zum Vegetationskegel vordringen und damit als Wegbereiter für den Beulenbrand dienen. Zur Bekämpfung dieser Schädlinge hat sich die Inkrustierung des Saatgutes bewährt.

6.1.2 Der Maiszünsler *Ostrinia nubilalis* L.

Der Maiszünsler *Ostrinia nubilalis* hat sich in der Schweiz seit Beginn der siebziger Jahre zum bedeutendsten Schädling in der Maiskultur entwickelt (Meier, 1985; Bigler & Bosshart, 1992). Der Schaden wird durch die Raupen verursacht, die durch den Frass an den Blättern und vor allem in den Stengeln und Kolbenspindeln die Ernährung der Pflanze bzw. der Kolben beeinträchtigt. Dazu kommen die indirekten Schadwirkungen durch Umbrechen der durchbohrten Stengel und zusätzliche Fäulnis der Stengel und Kolben (Zscheischler et al., 1990). Hauptschadensgebiete in der Schweiz sind im Mittelland (Bigler & Bosshart, 1992).

Die Raupen überwintern in Ernterückständen und Maisstoppeln und verpuppen sich im Mai. Nördlich der Alpen schlüpfen die Falter im Juni/Juli aus, die ihre weissen Eier an die Blattunterseite in dachziegelartiger Anordnung zu 10-30 Stück ablegen. Nach ca. einer Woche schlüpfen die jungen Raupen, die anfangs oberflächlich an den Blättern und Rispen fressen und sich nach ein bis zwei Häutungen in den Stengel einbohren. Während in den USA bis zu drei Generationen auftreten, entwickelt der Maiszünsler in der Schweiz nördlich der Alpen nur eine Generation im Jahr (univoltiner Zyklus), in warmen Gebieten wie im Tessin durchläuft er zwei Generationen im Jahr (bivoltiner Zyklus) (F. Bigler, pers. Mitteilung). Zur Bekämpfung des Maiszünslers werden in Deutschland und Frankreich synthetische Pyrethroide eingesetzt, die in der Schweiz jedoch nicht zugelassen sind (F. Bigler, pers. Mitteilung). Die Bekämpfung in der Schweiz konzentriert sich auf indirekte, vorbeugende Massnahmen wie der Stroh- und Bodenbearbeitung (Meier, 1985; Bigler & Bosshart, 1992) und auf biologische Verfahren wie dem Einsatz von Eiparasiten der Gattung *Trichogramma* (Meier, 1985; Bigler & Bosshart, 1991), die jährlich auf ca. 7000 ha freigelassen werden (F. Bigler, pers. Mitteilung). Seit 1997 ist ausserdem neu ein Pilzpräparat, *Beauveria bassiana*, zugelassen worden (F. Bigler, pers. Mitteilung). Für die chemische Bekämpfung sind in der Schweiz zwei Mikrogranulate basierend auf Phosphorsäureester und Carbamat registriert, die als Kontaktgifte gegen die Raupen des Maiszünslers wirken. Diese kommen jedoch ausschliesslich im Genfer Seegebiet auf ca. 200 ha zur Anwendung. Bt-Spritzmittel werden im Maisanbau nicht eingesetzt. Seit 1997 ist in Europa transgener Mais mit dem eingebauten Gen des *B. thuringiensis*-Toxins (s.u.) zur Be-

kämpfung des Maiszünslers zugelassen (www.rki.de), die Bt-Maissorte von Ciba Seeds (heute Novartis) (Bt 176) ist in der Schweiz seit Januar 1998, die von Northrup King (heute Novartis) (Bt 11) seit Oktober 1998 für den Import als Nahrungs- und Futtermittel genehmigt (www.oecd.org; NZZ vom 13.10.1998).

6.1.3 *Bacillus thuringiensis* (Bt): Spritzmittel und transgene Pflanzen

Bacillus thuringiensis ist ein weitverbreitetes Bodenbakterium, das während der Sporulation insektizide Proteinkristalle, die Bt-Toxine oder δ -Endotoxine bildet. Man vermutet, dass der Zusammenschluss der Toxine zu Kristallen einen besseren Schutz gegen den Abbau in der Umwelt bewirkt (Peferoen, 1997). In einem Kristall können verschiedene Proteine enthalten sein.

Die insektenpathogene Wirkung dieser Toxine wurde bereits Anfang dieses Jahrhunderts erkannt und Ende der zwanziger Jahre wurde *B. thuringiensis* erstmals kultiviert und zur Bekämpfung des Maiszünslers in Südwesteuropa verwendet (Peferoen, 1997). Wenige Jahre später, 1938, wurde die erste Spritzmittel-Formulierung in Frankreich verkauft (Peferoen 1997). Seit den 50iger Jahren werden Bt-Präparate als mikrobielle Insektizide kommerziell vertrieben und aufgrund ihrer nützlichkeitschonenden Wirkung (Croft, 1990) vor allem in ökologisch wirtschaftenden Betrieben genutzt.

Bis 1977 glaubte man, dass Bt-Toxine ausschliesslich und spezifisch gegen Lepidopteren wirke. Dann fanden Goldberg & Margalit (1977, zitiert in Peferoen, 1997) in der Negev-Wüste einen weiteren Stamm, *B. thuringiensis* subsp. *israelensis* mit einer hohen Spezifität gegenüber Dipterenlarven und 1983 schliesslich stiess Krieg et al. (zitiert in Peferoen, 1997) auf den Stamm *B. thuringiensis* subsp. *tenebrionis*, der toxisch auf Coleopterenlarven wirkt. Basierend auf ihrer Wirkungsspezifität werden die Kristallprotein-Gene in 4 grosse Gruppen aufgeteilt: Lepidopteren-spezifische (Typ I), Lepidopteren- und Dipteren-spezifische (Typ II), Coleopteren-spezifische (Typ III) und Dipteren-spezifische (Typ IV) Gene. Innerhalb dieses Systems werden die zur Zeit bekannten 96 Gene nach ihrer Amino-Säuren-Sequenz in 17 Untergruppen aufgeteilt (Peferoen, 1997). Verschiedene Bakterienstämme können dabei die gleichen Toxingene besitzen, so dass jeder Stamm multiple Kristallprotein-Gene besitzt (Peferoen, 1997).

Bt-Kristalle werden nach der Aufnahme durch Insekten im Mitteldarm aufgelöst, bis das «Full-length»-Protoxin vorliegt. Dieses wird dann schrittweise proteolytisch zum aktiven, trypsinresistenten Toxin abgebaut, das an spezielle Rezeptoren auf der Zellwand des Darmepithels bindet. Es kommt zur Porenformation und Lyse der Darmwand und führt schliesslich zum Tod der Herbivorenlarve.

Die Anwendung von Bt in Form von Sporensuspensionen wird erschwert durch den schnellen Abbau des Toxins in der Umwelt, welcher durch UV-Bestrahlung und viele Niederschläge gefördert wird (Behle et al., 1997). Dieser Umstand erfordert ein genaues Beobachten der Schaderregerpopulation, um den richtigen Zeitpunkt der Bekämpfung abzusichern. Darüber hinaus können Larven, die im Inneren des Pflanzengewebes leben, zum Beispiel Stengelbohrer oder Blattminierer, nicht wirksam kontrolliert werden. Um diese Misstände zu umgehen, suchte man Anfang der 80er Jahre nach Verfahren, Toxin-Gene in das Genom von Kulturpflanzen einzuschleusen und 1987 wurden die ersten erfolgreichen Transformationen an Tabak und Tomate publiziert (zitiert in Peferoen, 1997).

Bis heute wurden insgesamt wenigstens 10 Toxingene in viele verschiedene Kulturpflanzen eingebracht, darunter Luzerne, Reis, Klee, Soja, Rebe, Raps, Aubergine und auch mehrjährige Gehölze wie Apfel, Birne, Pappel, Weissfichte und Walnuss (Schuler et al., 1998). 1995 sind in den USA erstmalig Bt-Pflanzen für den freien Handel zugelassen worden, und zur Zeit sind weltweit vier Pflanzenarten auf dem Markt: Kartoffeln mit dem CryIIIa-Gen gegen den Kartoffelkäfer, Mais mit dem Cry1Ab-, Cry1Ac- und Cry9c-Gen gegen den Maiszünsler (s.u.), Baumwolle mit dem Cry1Ac-

Gen gegen verschiedene Lepidopteren-Schädlinge (Peferoen, 1997) und Tomaten mit dem Cry1Ac-Gen ebenfalls gegen bestimmte Lepidopteren-Schädlinge (EPA, 1998). Das Cry9c-Protein ist stark toxisch und besitzt eine ungewöhnlich breite Wirkung gegen den Maiszünsler, den «Black cutworm» *Agrotis ypsilon* und den «Southwestern corn borer» *Diatraea grandiosella* (Peferoen, 1997). Im Test befinden sich zur Zeit weiterhin das Cry1H-Gen im Mais gegen den Maiszünsler und das Cry2A-Gen in Baumwolle (Peferoen, 1997).

Die Anbaufläche von Bt-Pflanzen hat sich seit der ersten Zulassung stetig erhöht und betrug 1997 weltweit 4 Millionen Hektar. Davon entfielen 3 Millionen Hektar auf Bt-Mais, während der Rest der Anbaufläche sich auf Baumwolle mit ca. 1 Million Hektar und Kartoffeln mit weniger als 100.000 Hektar verteilte (James, 1997).

Bt-Mais

Mais wurde von verschiedenen Firmen mit synthetischen Konstrukten des Cry1Ab-, Cry1Ac- und - neu zugelassen im Mai diesen Jahres - Cry9c-Gens transformiert, um eine Resistenz gegen den Maiszünsler *Ostrinia nubilalis* zu erzielen (Andow & Hutchison, 1998, EPA, 1998). Je nach Bt-Gen und Expressionsniveau können die auf dem Markt erhältlichen Sorten unterschieden werden (nach Andow & Hutchison, 1998):

- DeKalb Genetics verwendete das Cry1Ac-Gen, die transformierte Linie wird DBT418 genannt und unter dem Handelsnamen «Bt-Xtra» vermarktet. Das Bt-Gen kann bis zur Ernte in hohen Mengen im Blattgewebe exprimiert werden; im Stengel, Kolben und in den Narbenfäden ist die Konzentration dagegen sehr gering und im Pollen wird das Toxin gar nicht exprimiert.
- Novartis, zusammen mit Mycogen, verwendete das Cry1Ab-Gen, die transformierte Linie wird Event 176 genannt und unter den Handelsnamen «KnockOut» bzw. «Maximizer» von Novartis und «NatureGard» von Mycogen vertrieben. Das Toxin wird in grünen Pflanzenteilen, im Pollen und im Stengel exprimiert, aber nicht im Kolben und in den Narbenfäden. Die Sorte besitzt zwar anfangs einen hohen Expressionsgrad im Blattgewebe, doch die Konzentration des Toxins nimmt nach dem Pollenflug stark ab.
- Monsanto und Northrup King (jetzt Novartis) benutzten ebenfalls das Cry1Ab-Gen, ihre Linien werden MON810 bzw. BT11 genannt und unter den Namen «Yieldgard» von Monsanto und «Bitegard» von Northrup King vermarktet. Diese Sorten exprimieren das Bt-Toxin während der gesamten Vegetationsperiode in hohen Mengen in den Blättern, im Pollen, in den Narbenfäden und in den Kolben.
- Im Mai diesen Jahres ist erstmals eine Sorte zugelassen worden, die das Cry9c-Gen besitzt. Die Linie wird CBH-351 genannt und wird von AgrEvo vertrieben. Sie soll während der gesamten Vegetationsperiode vor Maiszünsler-Schaden wirksam geschützt sein (EPA, Federal Register Document 63/94, 1998).

Die verschiedenen Expressionseigenschaften erlangen beim Resistenzmanagement eine wichtige Bedeutung (s.u.).

6.2 Zulassung des Bt-Mais - was muss an Daten geliefert werden? (Beispiel USA)

Im folgenden sollen am Beispiel des Bt-Mais «Yieldgard» (MON801 und MON810) der Firma Monsanto die geforderten Daten und die Auflagen der Zulassung dargestellt werden (EPA, 1997).

Für die Zulassung von „Yieldgard“ musste Monsanto folgende Daten vorlegen:

- Angaben zum Pestizid, in diesem Fall zum Toxin und dem genetischen Material, das für seine Herstellung benötigt wurde
- Angaben zu Nutzungsflächen entfallen, weil es sich um ein Inverkehrbringen handelt
- Angaben zu früheren Zulassungen
- Angaben zu einer potentiellen Gefährdung der menschlichen Gesundheit. Diese basieren auf drei Datensätzen:
 - einer Charakterisierung des Produktes - erfasst die Vergleichbarkeit mit *E.coli*-exprimierten Toxinen
 - Akute orale Toxizitätsuntersuchungen in vivo mit *E.coli*-exprimierten Toxinen
 - Untersuchungen zur in vitro Verdaulichkeit

Aus diesen drei Untersuchungen und dem anschließenden Studien mit Testpersonen wurde auf eine Unbedenklichkeit der Toxine geschlossen. Einbezogen wurden Unterschiede in der Empfindlichkeit und in neurologischen Prozessen von verschiedenen Verbrauchergruppen, zum Beispiel Kinder vs. Erwachsene, chronische Effekte und andere mögliche Arten der Aufnahme, zum Beispiel durch Bodenkontakt bei Kindern. Auch die Möglichkeit, dass das Toxin endokrine Effekte im Organismus hervorruft, wurde berücksichtigt.

- Möglichkeit eines Genflusses:
 - Möglichkeit des Auskreuzens und Verwilderung
 - Möglichkeit der Hybridisierung mit wilden Mais-Arten (*Teosinte* und *Tripsacum*)
 - Möglichkeit des Auskreuzens auf andere Maissorten
 - Verwilderungstendenz von Mais
- Angaben zum Abbauverhalten - betrifft sowohl den Abbau im Boden (Laborstudien) als auch das Verhalten in der Pflanze (Feldstudien)
- Angaben zu ökologischen Effekten:
 - Nebenwirkungen auf Honigbienen (Mortalität der Larven und Adulten), parasitische Hymenopteren (*Brachymeria intermedia*), Florfliegen (Larven) und Marienkäfer (*Hippodamia convergens*)
 - Nebenwirkungen auf Bodenorganismen (Regenwürmer und Collembolen: *Folsomia candida* und *Xenylla grisea*) - *E.coli*-exprimiertes Toxin in künstlichem Bodenmedium; EPA verlangt bei Collembolen zusätzliche Untersuchungen mit lyophilisiertem Pflanzengewebe, da andere Studien Effekte aufgezeigt haben
 - Nebenwirkungen auf Vögel (Northern Bobwhite Quail) und Fische (Seewolf); die Fischtox-Untersuchung ist sehr ausführlich und umfasst neben Mortalität Nahrungsaufnahme und -umsetzung, Gewicht und Gewichtszunahme in Prozent.
 - Nebenwirkungen auf wasserlebende Invertebraten (*Daphnia magna*) wurden nachträglich angefordert, da Auswirkungen über Pollen möglich wären
 - Effekte auf Säugetiere (Literaturdaten und Ergebnisse aus akuten oralen Toxizitätsversuchen mit Mäusen)
 - Effekte auf gefährdete Arten (Insekten)
- Angaben zum Resistenzmanagement gegen die Zielorganismen Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*) und dem «corn earworm» (*Helicoverpa zea*), die auch von Northrup King übernommen wurden. Da im Mais von Monsanto - vergleichbar mit dem Mais von Northrup King - Bt auch in den Körner und Narbenfäden exprimiert wird, verlangt die EPA Massnahmen zur Verringerung der

Resistenzbildung bei beiden Schädlingen. *H. zea* ist besonders im Süden zu beachten, da er auch an Baumwolle frisst und es in beiden Kulturen zu Anpassungen an Bt kommen kann.

Die Zulassung von «Yieldgard» wurde mit folgenden Auflagen versehen:

- Die Zulassung endet um Mitternacht des 1. Aprils 2001. Bis dahin will die EPA die Wirksamkeit von Monsanto's Resistenzmanagement-Plänen überprüfen und die unbefristete Reregistrierung davon abhängig machen.
- Monsanto muss der EPA bis 9.8.98 einen vorläufigen, bis 31.1.1999 einen endgültigen Plan für die Einrichtung strukturierter Bt-freier Refugien vorlegen.
- Monsanto muss die Entwicklung der Resistenz beobachten, indem die momentane Anfälligkeit als Basis genommen wird. Das Monitoring muss jährlich erfolgen. Die Daten sind jährlich (spätestens bis 31.1.) bei der EPA abzuliefern.
- Monsanto muss seine Kunden instruieren, bei ungewöhnlich hohen Schäden durch *O. nubilalis* und *H. zea* sofort die Firma zu benachrichtigen. Diese wird dann die Ursachen untersuchen (Pflanzengewebe und Schädlinge).
- Sobald Resistenzen auftreten, muss Monsanto dies innerhalb 30 Tagen der EPA melden. Ebenso müssen im betroffenen Gebiet die Landwirte und Berater informiert werden, alternative Bekämpfungsstrategien sollten eingesetzt werden und die Einarbeitung von Rückständen in den Boden erfolgen.
- Falls die Massnahmen des Resistenzmanagements nicht wirksam sind, verpflichtet sich Monsanto, in der jeweiligen Region und in angrenzenden Bezirken, Bt-Mais nicht mehr zu verkaufen.
- Monsanto muss eine Datenbank anlegen, in der sie jedes Jahr festhält, wo wieviel Bt-Mais (pro Bezirk) verkauft worden ist. Aus diesen Daten wird die Anbaufläche geschätzt und die gesammelten Informationen werden jährlich an die EPA weitergeleitet.
- Monsanto muss die Anbauer schulen und informieren.
- Monsanto muss einen Resistenz-Management-Plan entwickeln. Für *H. zea* muss dieser auf der Biologie des Schädlings und seiner Wirtspflanzen Baumwolle, Mais, Sojabohnen u.a. basieren. Für *O. nubilalis* muss die Biologie und das Verhalten (Verbreitung der Adulten, Paarungsverhalten, Verbreitung der Larven etc.) berücksichtigt werden.
- Monsanto muss mehr Daten über die Langzeit-Expression von Bt im Feld vorlegen, um die Strategie, mit hohen Bt-Konzentrationen die Adaptation der Schädlinge zu verzögern, über die gesamte Anbauperiode zu verifizieren.
- In Staaten mit Baumwollanbau (explizit genannt) darf insgesamt nicht mehr Saatgut verkauft werden als für 100.000 Hektar benötigt wird. In den Bezirken, in denen mehr als 1000 Hektar Baumwolle angebaut wird, darf der Anteil von Bt-Mais am gesamten Mais die 5% nicht übersteigen.

6.3 Begleitforschung bei Bt-Mais - was muss beobachtet werden?

Die Parameter, die bei Bt-Mais nach der Zulassung untersucht werden sollten, sind vorab zusammenfassend in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Parameter, die in der Nachzulassungsforschung von Bt-Mais innerhalb des Agrarraumes berücksichtigt werden sollten (fett und grau unterlegt).

Bereich	Parameter
Kulturpflanze	<ul style="list-style-type: none"> Wachstumsveränderungen und Verwilderungstendenz Auffälligkeiten im Feld Inhaltsstoffe Nektarbildung
Gene und Genprodukte	<ul style="list-style-type: none"> Genexpression und Stabilität der gewünschten Eigenschaft Menge an Ernterückständen Abbau des Genproduktes in den Ernterückständen Abbau des Genproduktes im Boden Abbau der DNA im Boden und horizontaler Gentransfer (HGT)
Umweltauswirkungen	
Zielorganismen	<ul style="list-style-type: none"> Anpassung von <i>O. nubilalis</i> (Resistenzentwicklung) Entstehen neuer Virusarten, Erweiterung des Wirtskreises
Nicht-Zielorganismen	<ul style="list-style-type: none"> Auswirkungen auf Nicht-Zielkrankheitserreger und -schädlinge Auswirkungen auf Nützlinge und Gegenspieler Auswirkungen auf Bienen und andere Bestäuber Auswirkungen auf Zersetzer (z.B. Regenwürmer, Springschwänze) Auswirkungen auf die mikrobielle Diversität und den chemischen Zustand der Bodens Auswirkungen auf spezifische Indikator-Organismen (z.B. Mykorrhiza, Rhizobien) Auswirkungen auf bodenbürtige Pathogene
Begleitflora und -fauna	<ul style="list-style-type: none"> Auswirkungen auf verwandte Wildarten Auswirkungen allgemein auf Begleitflora und -fauna
Aspekte der Agronomie und der Nachhaltigkeit	<ul style="list-style-type: none"> Standortbedingungen Anbaupraxis Pestizideinsätze, Düngemiteleinträge, Rückstände in der Umwelt Ertrag Erosion Bodenfruchtbarkeit (s. Box 2) Durchwuchs in Folgekultur Vertikaler Gentransfer auf Kulturpflanzen Qualität und Lagerfähigkeit des Erntegutes

6.3.1 Kulturpflanze

Wachstumsveränderungen und Verwilderungstendenz

Mais ist eine stark domestizierte Kulturpflanze, die ausserhalb der Ackerfläche unter hiesigen Bedingungen nicht wachsen würde. Sie ist anderen Pflanzen in Konkurrenzsituationen unterlegen und zudem stark wärmeabhängig. Darüber hinaus ist Maissamen in unseren Breiten während der kalten Monate im Boden nicht überlebensfähig. All dies führt dazu, dass Mais bisher weder ausserhalb der Anbaufläche noch als Durchwuchs in der nächsten Vegetationsperiode aufgetreten ist. Eine Transformation mit Bt-Genen wird an diesen Wachstumsbedingungen aller Voraussicht nach nichts verändern, so dass sich unseres Erachtens ein Monitoring des Ausbreitungsverhaltens von Bt-Mais erübrigt. Jedoch sei hier darauf hingewiesen, dass die Ausbreitungs- und Verwilderungstendenz

dann beobachtet werden sollte, wenn Maissorten mit verbesserter Standortanpassung, zum Beispiel Frosttoleranz auf den Markt kommen.

Auffälligkeiten im Feld

Für Auffälligkeiten im Feld sollte eine Meldepflicht von Seiten der Landwirte eingeführt werden. Ungewöhnliche Merkmale sind dann umgehend an die für das Monitoring zuständige Stellen oder Beratungsdienste zu melden.

Inhaltsstoffe

Bt-Toxine werden nach den bisher durchgeführten Untersuchungen toxikologisch als unbedenklich angesehen (Franck-Oberaspach & Keller, 1996; EPA, 1997). Der Mais selbst besitzt keine toxischen Sekundärmetaboliten. Aus diesem Grund ist ein Monitoring nach Inhaltsstoffen im zeitlichen Verlauf bei Bt-Mais nicht erforderlich.

Nektarbildung

Nektarbildung ist bei Mais nicht bekannt.

6.3.2 Gene und Genprodukte

Genexpression und Stabilität der gewünschten Eigenschaft

Gerade hinsichtlich der Resistenzentwicklung des Maiszünslers ist es wichtig, dass das Bt-Toxin in hohen Konzentrationen exprimiert wird. Daten diesbezüglich werden im Zulassungsverfahren verlangt. Es ist jedoch aus Gründen des Resistenz-Managements (s.u.) zu überlegen, zumindest während der ersten Anbaujahre und vor allem unter extremen Umweltbedingungen das Niveau der Genexpression zu überprüfen. Denn es zeichnet sich ab, dass die Expression des Bt-Toxins unter Stressbedingungen durchaus reduziert sein kann und damit keinen ausreichenden Schutz gegen Maiszünslarven liefert (s. Ertrag). Zudem zeigen Erfahrungen aus den USA und Australien mit Bt-Baumwolle, dass die Expression im Feld nicht in allen Pflanzengewebe einheitlich stattfindet (in unteren Pflanzenteilen ist die Expression oft nur unzureichend) und auch zum Ende der Vegetationsperiode abnehmen kann (Benbrook & Hansen, 1997).

Menge an Ernterückständen

Wenn im Rahmen der Sortenprüfung keine diesbezüglichen Untersuchungen durchgeführt werden, sollte die Menge an Ernterückstände in den ersten Jahren anbaubegleitend festgestellt werden.

Abbau des Genproduktes in Erntegut und Ernterückständen

Daten dazu werden vom Antragsteller im Rahmen der Zulassung geliefert (zum Beispiel EPA, 1997). Diese geben Hinweise darauf, wieviel Toxin in die Nahrungskette gelangt. Darüber hinaus kann zusammen mit der Menge an Ernterückständen abgeschätzt werden, wie hoch der Bodeneintrag von Bt-Toxin pro Vegetationsperiode ist.

Abbau des Genproduktes im Boden

Bt-Toxine können noch 40 Tage nach dem Einbringen in den Boden nachgewiesen werden (Tapp & Stotzky, 1995). Werden Toxine an Tonpartikel gebunden, kann auch ihre insektizide Aktivität so lange anhalten (Koskella & Stotzky, 1997). Beim Anbau von Bt-Mais kann es durch Wur-

zelexsudate und Abbau von Wurzelgewebe während der Vegetationsperiode zu einer Anreicherung des Toxins im Boden kommen. Diese Anreicherung kann über das Mass hinausgehen, welches in Labor- und Freisetzungsstudien ermittelt wurden (Sims & Holden, 1996; Sims & Ream, 1997). Es wird deshalb empfohlen, Daten über die Konzentration des Bt-Toxins im Boden auch nach der Zulassung zu untersuchen. Die Präsenz und Wirksamkeit von Bt-Toxinen im Boden lassen deren Wirkung auf Bodenlebewesen und -mikroorganismen (s.u.) besser abschätzen.

Abbau der DNA im Boden und horizontaler Gentransfer (HGT)

Der Bt-Mais der ersten Generation enthält als Markergen ein Antibiotikaresistenz-Gen. Der Abbau, die langfristige Anreicherung und der Transfer dieses Gens auf Mikroorganismen sollte auch nach der Zulassung, unter verschiedenen Umweltbedingungen, überwacht werden. Dabei sind Persistenz und Anreicherung von Genen wichtige Parameter für die Häufigkeit, mit der Gentransfer im Boden stattfinden könnte.

Das Monitoring-Konzept von Frankreich für den Bt-Mais (Le Pensec, 1998) sieht vor, den horizontalen Gentransfer auf Mikroorganismen und Veränderungen in der Mikroflora des Bodens zu überwachen. Für beide Fragestellungen ist vorgesehen, molekulare Techniken anzuwenden.

6.3.3 Umweltauswirkungen

Anpassung von *O. nubilalis* (Resistenzentwicklung)

Da die Beobachtung der Resistenzentwicklung von *O. nubilalis* gegenüber Bt-Mais weltweit die zentrale Stellung in Monitoring-Konzepten einnimmt (zum Beispiel EU, in Vorbereitung; Le Pensec, 1998; Neemann & Braun, 1997; Mellon & Rissler, 1998) und auch die Schweiz dem hohe Priorität beimisst (Hütter et al., in Vorbereitung), wird an dieser Stelle ausführlicher über zur Zeit diskutierte Konzepte zum Resistenz-Management und deren Theorien und Grundlagen eingegangen.

Resistenzentwicklung

Für die Entwicklung einer Resistenz gegenüber Bt-Pflanzen spielen massgeblich eine Rolle (vgl. Gould, 1998; Riegler & Stauffer, 1998):

- der Resistenzmechanismus,
- die genetische Grundlagen der Resistenz,
- die Biologie und Populationsdynamik des Schaderregers,
- der Selektionsdruck.

Resistenzmechanismus

Insekten sind potentiell in der Lage, sich an *B. thuringiensis* anzupassen (Tabashnik, 1994; Gould, 1998). Theoretisch kann eine genetische Veränderung an fünf Stationen im Vergiftungsprozess die Wirksamkeit von Bt herabsetzen (Gould, 1998):

- das Kristall wird schlechter gelöst
- das 'full-length'-Protein wird vermindert gespalten, so dass weniger aktives Toxin entsteht
- das aktive Toxin wird stärker proteolytisch verdaut
- das aktive Toxin wird vermindert an das Darmwandepithel gebunden

- die Porenformation wird vermindert.

Bei Bt-Pflanzen ist die Anzahl der Stationen geringer, da in den Pflanzen kein Kristall aus verschiedenen Bt-Toxinen, sondern nur eine Form des Toxins produziert wird.

Sind bei einer Resistenz die physiologischen Veränderungen bekannt, können die Anzahl der beteiligten Gene, der Vererbungsmodus (rezessiv, additiv, dominant), die Wahrscheinlichkeit von Kreuzresistenzen und die Wahrscheinlichkeit, dass die Adaptation Fitnesskosten beinhaltet, abgeschätzt werden. So weist Heckel (zitiert in Gould, 1998) darauf hin, dass Zunahmen an Aktivität, zum Beispiel gesteigerte proteolytische Verdauung, eher dominant vererbt werden im Gegensatz zu Aktivitätsverlusten, wie zum Beispiel vermindertes Binden an Rezeptoren der Darmwandzellen, die einen rezessiven Vererbungsmodus aufweisen sollten. Darüber hinaus postuliert er, dass die Proteolyse des Toxins aufgrund konservativer Genabschnitte viel eher zu Kreuzresistenten mit anderen Bt-Toxinen führen kann als Veränderungen der Darmwandrezeptoren, da viele Toxine unterschiedliche Bindungsorte besitzen. Erste Untersuchungen über Resistenzen und deren Mechanismus scheinen zu bestätigen, dass verminderte Rezeptorbindung rezessiv vererbt wird (vgl. Gould, 1998).

Genetische Grundlagen der Resistenz

Der Vererbungsmodus, d.h. ob eine Eigenschaft rezessiv, intermediär oder dominant vererbt wird, ist ein wichtiger Faktor, der die Resistenzbildung in einer Insektenpopulation beeinflusst. Daneben ist die Anzahl der beteiligten Gene an der Ausprägung der Eigenschaft und die Anzahl der Resistenzallele in der Ausgangspopulation, die Ausgangsallelfrequenz, von Bedeutung (Gould, 1998). Nach populationsgenetischen Theorien existiert eine enge Verbindung zwischen der natürlich existierenden Anzahl der Toxin-Resistenzallele in einer Schaderregerpopulation und der Zeit, bis diese Allele bei entsprechendem Selektionsdruck zahlenmässig in der Population dominieren (Gould, 1998). Gould et al. (1997) untersuchten die Ausgangsallelfrequenz verschiedener Populationen von *Heliothis virescens*, einem der wichtigsten Baumwollschädlinge in den USA, und kamen auf Häufigkeiten von $1,5 \times 10^{-3}$ Allele, ein Wert, der weit über dem vorher für Modellrechnungen eingesetzten Wert von 10^{-6} liegt. Nimmt man für *O. nubilalis* an, dass ein partiell rezessives Allel in der gleichen Häufigkeit vorkommen würde, ergeben Modellrechnungen für die Bedingungen in den USA, dass innerhalb von 3-4 Jahren Resistenzen auftreten könnten (Gould et al., 1997). Daher ist die Erfassung der Ausgangsallelfrequenz sehr wichtig für ein effizientes Resistenzmanagement.

Biologie und Populationsdynamik des Schaderregers

Für die Verbreitung der Resistenzgene innerhalb einer Population sind biologische Parameter wie Migration der Adulten vor und nach der Kopulation, Wirtswahlverhalten, Spezifität, Entwicklung auf Bt- und Nicht-Bt-Pflanzen und Migration der Larven von grosser Bedeutung (vgl. Gould, 1998). So gibt das Migrationsverhalten der Adulten Hinweise über Vermischung von Populationen und damit über Genfluss zwischen Genpools. Ist ein Schaderreger polyphag und sind potentielle Wirtsarten in der Anbauregion vorhanden, stellen diese natürliche Refugien dar, die den Selektionsdruck von Bt vermindern können. Denn auch auf diesen Pflanzen können sich anfällige Genotypen entwickeln, die sich mit resistent gewordenen Individuen paaren und - bei rezessivem Vererbungsmodus - wiederum anfällige Nachkommen produzieren können. Dieses funktioniert jedoch nur, wenn die Entwicklungsdauer auf Bt- und Nicht-Bt-Pflanzen synchron verläuft und Individuen, die sich auf Bt-Pflanzen entwickelt haben, keine subletalen Effekte zeigen und gleich attraktiv sind für Individuen aus den Refugien. Sind die Larven sehr mobil und sind sie sensitiv gegenüber dem Bt-Toxin kann es je nach Zusammensetzung des Feldes - Mischanbau von Bt- und Nicht-Bt-Pflanzen - dazu kommen, dass heterozygot anfällige Larven die Wirtspflanzen wechseln und damit überleben. Dieses führt dazu, dass die Anzahl der Resistenzallele in der Population steigt.

Das Monitoring-Konzept von Frankreich (1998) sieht vor, das Wirtswahlverhalten von *O. nubilalis* bei der Eiablage auf Bt-Mais im Vergleich von herkömmlichen Mais zu untersuchen.

Selektionsdruck

Der Selektionsdruck, der auf eine Population einwirkt, ist einerseits abhängig von der Biologie des Schaderregers, wie eben dargelegt, und andererseits von der zeitlichen und örtlichen Präsenz des Toxins. Diese wiederum hängt ab vom Expressionsniveau in den Pflanzen und der Grösse der Anbaufläche. Je nach Höhe des Expressionsniveaus und damit der Toxinkonzentrationen sterben oder überleben heterozygote Larven (Andow & Hutchison, 1998). Ab einer bestimmten Konzentration werden alle heterozygoten Individuen auf Bt-Pflanzen sterben und nur die homozygot resistenten Individuen werden überleben (Andow & Hutchison, 1998). Existieren in der Nähe Refugien, in denen sich anfällige, homo- und heterozygote, Individuen entwickeln können und ist die Distanz zwischen den anfälligen und resistenten Subpopulationen nicht zu gross, so dass Paarung stattfindet, ist die Ausbreitung der Resistenzallele in der Population stark vermindert.

Diese Grundlagen der Resistenzentwicklung schlagen sich nieder in den derzeit diskutierten Resistenzmanagement-Strategien in den USA (vgl. Mellon & Rissler, 1998), die in Box 5 näher dargestellt sind.

Box 5: Strategien des Resistenzmanagements in den USA

Zur Zeit erteilt die EPA die Zulassung, zum Beispiel von Bt-Baumwolle, nur mit der Auflage, auf 4% der Anbaufläche Nicht-Bt-Baumwolle als Refugium anzupflanzen (Gould, 1998). Dies wird jedoch von vielen Wissenschaftlern als nicht ausreichend angesehen und deshalb suchen sie nach anderen Möglichkeiten, die Resistenzentwicklung zu verzögern. Auf die zur Zeit diskutierten Strategien für Bt-Mais soll im Folgenden kurz eingegangen werden. Dabei wird der Anbau von Sortenmischungen (Bt- und Nicht-Bt-Mais) nicht mehr berücksichtigt, da sich diese Strategie aufgrund der Larvenmobilität und aufgrund der daraus resultierenden hohen Überlebensrate der Heterozygoten nicht bewähren würde. In den aktuell diskutierten Strategien wird sie deshalb auch nicht mehr empfohlen (vgl. Roush, 1997; Mellon & Rissler, 1998; Gould, 1998).

Strategie Refugium/Hohe Expression

Diese Strategie stellt das Kernstück des Resistenzmanagements für Bt-Mais dar und basiert auf drei Eckpfeilern (Andow & Hutchison, 1998):

- Die Toxinkonzentration muss so hoch sein, dass heterozygote Individuen sterben. Zur Zeit ist nicht sicher, ob alle auf dem Markt erhältlichen Sorten dieses Kriterium erfüllen, dazu sind längerfristige Untersuchungen nötig. Die Sorten «Maximizer» (in den USA «KnockOut») und «NatureGard» scheinen wegen der im Verlauf der Vegetationsperiode abnehmenden Expression für diese Strategie nicht geeignet zu sein.
- Die Resistenzallele dürfen nur sehr selten in der Population vertreten sein (weniger als 10^{-3} , besser 10^{-4}), weil dann fast alle Träger dieser Allele heterozygot sind. Die Häufigkeit von Resistenzallelen in geographisch distinkten Populationen von *O. nubilalis* ist nicht bekannt, aber Andow et al. (1998) konnten zeigen, dass in einer Maiszümler-Population in Minnesota die Frequenz weniger als 0.013 beträgt. Daten über Allelfrequenzen innerhalb Schaderregerpopulationen könnten zukünftig vom Antragsteller im Rahmen des Zulassungsverfahrens verlangt werden. Eine Methode, wie Ausgangsallelfrequenzen bestimmt werden können, ohne Laborzuchten für Kontrollstämme erhalten zu müssen, liefern Andow & Alstad (1998) mit einem F₂-Screen. Hierbei werden im Feld befruchtete Weibchen gesammelt, die Nachkommen getrennt aufgezogen (Halbgeschwisterlinien) und die F₁-Generation innerhalb der Linien untereinander gekreuzt. Die Larven der F₂-Generation werden einem Toxizitätsscreening unterzogen. Wenn in 1200 Halbgeschwisterlinien keine Resistenzen gefunden werden, kann mit 95% Wahrscheinlichkeit eine Resistenzallel-Häufigkeit von weniger als 10^{-3} angenommen werden.
- Felder mit Bt-Mais müssen in der Nachbarschaft von nicht-toxischen Refugien umgeben sein, um die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, dass homozygot-resistente Individuen sich mit homozygot-anfälligen Individuen paaren und heterozygote Nachkommen entstehen, die wiederum auf Bt-Pflanzen nicht überleben können. Die Grösse der Refugien sollte nicht unter 50% der Anbaufläche liegen, wenn die Refugien mit Insektiziden behandelt werden und kann bis auf 25% reduziert werden, wenn sie unbehandelt bleiben. Dabei muss beachtet werden, dass die effektive Refugiengrösse beeinflusst wird vom Vorkommen anderer Wirtspflanzenarten von *O. nubilalis* im Anbaugbiet, von Eigenschaften der Refugienflächen und vom Migrationsverhalten und der Populationsdynamik des Maiszümlers. Denn aufgrund des erhöhten Vorkommens des Maiszümlers in den Refugien werden zum Beispiel dichteabhängige Mortalitätsfaktoren in Refugien einen grösseren Einfluss haben als im Bt-Feld. Auch können Refugienflächen so angelegt werden, dass sie für die Eiablage weniger attraktiv sind. Daten über die Biologie und die Populationsdynamik der Schaderreger in Refugien und im Feld sind deshalb dringend erforderlich, wenn man die Resistenzentwicklung und die Wirksamkeit von Management-Strategien abschätzen will.

Bezieht man Kreuzresistenzen und multiplen Schaderregerbefall in die Betrachtungen mit ein, wird das Resistenz-Management noch komplexer. Hier sei auf die spezielle Fachliteratur, zum Beispiel Mellon & Rissler (1998) verwiesen.

Strategie der Pyramidisierung verschiedener Toxin-Gene

Pyramidisierung bedeutet, dass zwei oder mehrere verschiedene Gene in eine Pflanze eingebaut werden. Wenn die Gene unabhängig voneinander vererbt werden und unabhängig voneinander wirken, ist die Wahrscheinlichkeit für die Anpassung der Schaderreger durch spontane Mutation stark vermindert und dadurch die Resistenzbildung der Schaderreger deutlich verlangsamt (Andow & Hutchison, 1998; Gould, 1998). Modellrechnungen zeigen zum Beispiel dass ein Refugium von 5% beim Anbau von doppelt transformierten Bt-Pflanzen die gleiche Effizienz wie Refugien von 30-40% bei „einfachen“ Bt-Pflanzen besitzen (Roush, 1997). Die Schädlingarten, die bisher untersucht wurden, zeigen häufig Kreuzresistenzen zwischen Cry1Ab und Cry1Ac, weshalb eine Pyramidisierung dieser Gene kein Vorteil wäre (Andow & Hutchison, 1998). Im Gegensatz dazu wäre eine Kombination von Cry1Ab und Cry9c wahrscheinlich eine effiziente Resistenzmanagement-Strategie. Grundsätzlich sollte die Pyramidisierung von Genen

in ein übergreifendes Resistenzmanagement integriert werden, da zukünftig der Agrarraum ein Mosaik aus Feldern mit verschiedenen transformierten Pflanzen sein wird (Andow & Hutchison, 1998). Der Erfolg der Pyramidisierung hängt aber auch von der Ausgangsallelfrequenz in der Schädlingspopulation ab. Wäre sie zum Beispiel für beide Toxinklassen relativ hoch ($>10^{-3}$), könnte sich der Schaderreger durch natürliche Rekombination und entsprechendem Selektionsdruck Resistenzen gegen komplexe Toxine erwerben.

Strategie Niedrige Expression

Diese Strategie entspricht Ideen der klassischen Züchtung, wo partielle Resistenzen in Pflanzen genutzt werden, um Schädlingsdichten in Kombination mit natürlichen Gegenspielern unterhalb der Schadensschwelle zu halten (Andow & Hutchison, 1998; Gould, 1998). Diese Strategie wird empfohlen, wenn die Toxinexpression nicht hoch genug ist oder dominante Resistenzallele in der Schaderregerpopulation auftreten (Andow & Hutchison, 1998). Die Refugien bei einem Anbau von niedrig-exprimierenden Pflanzen sollten deutlich grösser, bei Bt-Mais mindestens 50%, sein und dürfen nicht gespritzt werden. Dabei ist die optimale Grösse der Refugien zur Zeit nicht wissenschaftlich fundiert abzuschätzen (Andow & Hutchison, 1998). Darüber hinaus bestehen Wissenslücken über die Interaktionen von Schädlingen und deren natürlichen Gegenspielern und wie diese die Anpassung der Schädlinge an das Bt-Toxin beeinflussen (Gould, 1998). Prinzipiell soll mit dieser Strategie der Selektionsdruck auf die Schädlingspopulation reduziert werden, so dass resistente Schaderreger keinen grossen Selektionsvorteil haben und dementsprechend die Frequenz von Resistenzen nicht drastisch zunehmen wird.

Spezifische Toxin-Expression

Die Resistenzentwicklung bei Schädlingen kann theoretisch auch verlangsamt werden, wenn das Toxin gewebespezifisch, zeitabhängig oder induziert exprimiert wird, weil dadurch der Selektionsdruck auf die Schädlinge vermindert wird (Andow & Hutchison, 1998). Gewebespezifität ist dann ein wirkungsvolles Werkzeug, wenn ein Teil der Population der Toxinexposition entginge. Das ist allerdings für den Maiszünsler nicht zutreffend, da dieser während seiner Entwicklung an verschiedenen Pflanzengeweben (Blatt, Stengel, Korn) frisst. In Folge davon wäre er unterschiedlichen Konzentrationen ausgesetzt, mehr heterozygote Individuen würden überleben und die Resistenzentwicklung würde sogar noch beschleunigt (Andow & Hutchison, 1998).

Zeitspezifische Expression ist nur dann ein probates Mittel, wenn eine schnelle Toxinabnahme im Gewebe gewährleistet ist. Wenn jedoch die Konzentration langsam zurückgeht, sind Schädlinge einem gemässigten Selektionsdruck, ausgehend von mittleren bis geringen Toxinkonzentrationen, ausgesetzt, welches wiederum der Resistenzbildung Vorschub leisten würde (Andow & Hutchison, 1998; Onstad & Gould, 1998).

Die induzierte Expression von Bt-Toxin, zum Beispiel durch Frass, Stress oder Verletzungen, ist zur Zeit weit davon entfernt, in die Praxis umgesetzt zu werden. Mit zukünftig verbesserten Transformationstechniken wird diese spezifische Expression aber ein wertvolles Mittel darstellen, um zum Beispiel kostenintensivere Abwehreigenschaften, die bei konstitutiver Expression zu Ertragsminderungen führen könnten, in Pflanzen zu integrieren (Andow & Hutchison, 1998). Für das Resistenzmanagement wäre die Toxin-Induktion durch Schädlingsfrass nur dann gut in die Refugium-/HoheExpression-Strategie zu integrieren, wenn die Toxinproduktion schnell und stark ansteigt. Denn das würde garantieren, dass alle Individuen einer tödlichen Toxindosis ausgesetzt sind (Andow & Hutchison, 1998). Die Resistenzentwicklung innerhalb der Schaderregerpopulation selbst wird jedoch nicht durch eine Induktion der Toxinexpression beeinflusst.

Resistenzmonitoring

Die Resistenzentwicklung kann auf genotypischer oder phänotypischer Ebene beobachtet werden. Ein Problem des Monitorings besteht sicherlich darin, dass alle derzeit zur Verfügung stehenden Methoden es nicht erlauben, auch geringe Veränderungen in der Anzahl von Resistenzallelen in Maiszünslerpopulationen zu erfassen. Diese wäre jedoch nötig, wenn die Resistenzentwicklung frühzeitig entdeckt und wirkungsvolle Massnahmen dagegen unternommen werden sollen. Regelmässige Messungen zum Beispiel der LD50 oder LD90 ist zu unempfindlich, so dass sich ausbreitende Resistenzgene in der Population nicht festgestellt werden (Andow & Hutchison, 1998). Manifestiert sich dann in diesen Untersuchungen eine Resistenz, kann es unter Umständen bereits zu spät für Gegenmassnahmen sein (W. Moar, pers. Mitteilung). Aber auch Genotyp-Analysen sind problematisch, solange die genetischen Grundlagen der Resistenz nicht geklärt sind. Denn zum einen werden mit grosser Wahrscheinlichkeit seltene Gene in kleinen Stichproben gar nicht entdeckt werden. Zum anderen lässt diese Analyse nur Aussagen zu, wenn es bei dem untersuchten Allel um den einzigen Resistenzfaktor in den Population handelt. Sobald jedoch mehrere Gene an der Resistenz beteiligt sind, können Ergebnisse falsch interpretiert werden (vgl. Andow & Hutchison, 1998). Diese Einschränkungen sollten bedacht werden, wenn im Folgenden die zur Zeit angewandten Methoden vorgestellt werden (nach Andow & Hutchison, 1998):

«Discriminating concentration assay»

Der «discriminating concentration assay» testet die Anfälligkeit von der zu untersuchenden und einer Kontroll-Population gegenüber **einer** Toxin-Konzentration, die eine sichere Unterscheidung der beiden Population erlaubt. Diese Konzentration wird vorab bestimmt, indem man für beide Populationen Mortalitätsraten in Abhängigkeit von der Toxin-Konzentration erstellt. Dabei kann die

optimale Konzentration («discriminating dose») nur dann sicher festgelegt werden, wenn die Konzentrationen für zum Beispiel LD50 deutlich voneinander abweichen (zum Beispiel 1:100) (W. Moar, pers. Mitteilung).

Diese Methode erlaubt es, dominante Allele in der Population aufzuspüren. Bei rezessiv oder teilweise rezessiv vererbten Resistenzen erweist sich die Methode rechnerisch jedoch als ungenügend: Untersucht man die für dominante Allele erforderlichen 1400 Individuen, kann die Häufigkeit von Resistenzallelen lediglich mit 27 von 1000 Individuen geschätzt werden. Die Refugium/Hohe-Expression-Strategie soll, nach Modellrechnungen, jedoch bereits bei Allelhäufigkeiten von 1 von 1000 Individuen versagen. Hinzu kommt, dass die Ergebnisse dieses Assays unter der Annahme interpretiert werden, dass alle Larven unabhängig voneinander, d.h. nicht miteinander verwandt sind. Beim Maiszünsler - wie bei vielen anderen Schmetterlingsarten - ist diese Annahme jedoch nicht ohne weiteres zulässig, da die Weibchen die Eier in Paketen ablegen und es wahrscheinlich ist, dass Larven, die in einem bestimmten Umfeld gesammelt werden, Geschwister sind.

Screening der Bt-Mais-Felder nach befallenen Pflanzen

Diese Methode kann bei der ersten Maiszünslergeneration im Jahr benutzt werden, um die Häufigkeit von Resistenzallelen oder auch den Beginn einer Resistenzentwicklung zu beobachten. Allerdings müssten dazu im Feld die befallenen Pflanzen auf die Toxin-Expression hin untersucht werden, denn in jedem Feld ist ein Anteil an nicht-exprimierenden Pflanzen vorhanden (0.5-4%).

F2 Screen

Diese in Box 5 erläuterte Methode stellt wahrscheinlich die beste Methode dar, um Veränderungen von Resistenzallelen festzustellen (Andow & Hutchison, 1998). Wenn in 1200 Halbgeschwisterlinien keine Resistenzallele gefunden werden, kann mit 95 % Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass die Ausgangsallelfrequenz der Resistenz in einer Population unter 10^{-3} liegt (Andow & Alstad, 1998). Wenn Resistenzallele gefunden werden, können diese charakterisiert (Fitness des Genotyps, Kosten der Resistenz) und kann die Resistenzentwicklung realistisch abgeschätzt werden. Das Untersuchen der F2 erfordert grossen technischen, zeitlichen und finanziellen Aufwand, welches im Vergleich zu anderen Methoden nachteilig ist. Allerdings liefert der F2 Screen vergleichsweise viel mehr an Wissen und lässt mehr Handlungsoptionen offen, sollten Resistenzen entdeckt werden. Deshalb sollte er, solange nicht für alle Methoden sorgfältige Kosten-Nutzen-Abwägungen durchgeführt worden sind, nicht aus reinen Kostengründen verworfen werden (Andow & Hutchison, 1998).

Toxizitäts-Screenings im Vergleich zu Laborzuchten

Gould et al. (1997) sammelten im Feld Männchen von *Heliothis virescens* und paarten diese im Labor mit homozygoten Weibchen eines resistenten Stammes, so dass alle F1 heterozygot-resistent waren. Mit einem Toxizitäts-Test, der die Trennung von heterozygot-resistenten und homozygot-anfälligen Individuen erlaubte, konnten sie dann die Anzahl der Männchen, die ein Resistenzallel besaßen, bestimmen. Der Nachteil dieser Methode ist, dass ein Resistenzgen bekannt sein muss, bevor seine Häufigkeit bestimmt werden kann. Weiterhin ist dieser Test nur zuverlässig, wenn in der Population nur monogene Resistenzen, basierend auf diesem bekannten Gen, auftreten. Sobald sich jedoch polygene Resistenzen entwickeln, lässt sich lediglich ein «Best-Case-Szenario» voraussagen, d.h. der längste Zeitraum bis zum Auftreten von Resistenz.

Meldepflicht durch den Landwirt

Sollten Landwirte Resistenzen im Feld feststellen, haben Resistenzmanagement-Strategien versagt und müssen Massnahmen gegen die resistenten Schädlinge ergriffen werden. Es können dann nur noch alternative Bekämpfungsstrategien eingesetzt und/oder die insektizide Sorte vom Markt genommen werden. Trotzdem sind Meldepflichten sinnvoll, weil durch diese der Erfolg oder Misserfolg von Management-Strategien schnell festgestellt werden kann. Darüber hinaus bieten Meldepflichten eine gute Möglichkeit, Anbauer im Umgang mit transgenen Pflanzen zu schulen analog zu dem Beratungsnetz für Pflanzenschutzmittel via Pflanzenschutzberater.

Resistenzmanagement

Resistenzmonitoring ist nur in Verbindung mit geeigneten Managementstrategien sinnvoll, d.h. dass sie an verpflichtende Gegenmassnahmen verknüpft sein sollten (Andow & Hutchison, 1998). Dazu ist es jedoch erforderlich, vorher festzulegen, wann (Schwellenwert) welche Massnahmen zu ergreifen sind, sollten Resistenzen entdeckt werden. In Box 5 sind Resistenzmanagement-Strategien für Bt-Mais, die derzeit in den USA entwickelt und diskutiert werden, näher dargestellt. Für die Schweiz stellt sich allerdings die Frage, ob ein Resistenzmanagement für Bt-Mais unbedingt nötig ist. Denn der Anbau erfolgt hier generell kleinräumiger als in den USA, so dass unter Umständen natürliche Refugien vorhanden sind. Ausserdem besitzt der Maiszünsler nur eine bis maximal zwei Generationen im Jahr. Um diese Frage beantworten zu können, sind sicherlich Daten über den Maiszünsler, zum Beispiel das Migrationsverhalten, die Bildung von distinkten Populationen oder das Vorkommen alternativer Wirtspflanzen nötig. Auch werden die Menge der angebauten Fläche, Feldgrössen und Befallsituationen inklusive der Anzahl Generationen pro Jahr eine Rolle spielen. Für diese Fragen sei auf die Studie von Hütter et al. (in Vorbereitung) verwiesen.

Vorgesehene und laufende Resistenz-Monitorprogramme

Die in der EU und in Frankreich geplanten Untersuchungen der Resistenzentwicklung von *Ostrinia nubilalis* auf Bt-Mais zielen auf phänotypische Resistenzerscheinungen ab (EU, in Vorbereitung; Le Pensec, 1998).

EU

Die Anfälligkeit in der Ausgangspopulation soll laut den Vorgaben der EU analysiert werden, indem vor dem kommerziellen Anbau von Bt-Mais Larven des ersten Stadiums auf künstlichem Medium mit fünf verschiedenen Toxin-Konzentrationen gesetzt werden. Nach sieben Tagen wird die Mortalitätsrate bestimmt und eine Regressionsgerade der Mortalität in Abhängigkeit der Konzentration erstellt. Die Resistenzentwicklung soll dann alle vier Generationen beobachtet werden. Dazu werden aus 10 Feldern jeweils 100 zufällig ausgewählte Maispflanzen gesammelt und die daraus erhaltenen Larven (im 5. Larvalstadium L5) weitergezüchtet. Die nächstfolgende Generation (Larven des ersten Stadiums) werden analog zur Analyse der Ausgangsanfälligkeit untersucht und Abweichungen davon vermerkt. Darüber hinaus will man Vorhersagen zur Resistenzentwicklung treffen. Dazu ist vorgesehen, alle acht Generationen wiederum aus 10 Feldern zufällig 100 Maispflanzen zu sammeln und die daraus gewonnenen Larven im Labor bis zur vierten nachfolgenden Generation weiter unter Selektionsdruck zu züchten. Parallel dazu wird eine Linie ohne Selektionsdruck gezüchtet. Das erste Larvenstadium der fünften Generation wird dann jeweils fünf verschiedenen Bt-Konzentrationen ausgesetzt und aus der Anzahl der toten Larven wird die Anfälligkeit für beide Linien berechnet und miteinander verglichen. Zur Toxin-Präparation, die für die Laboruntersuchungen verwendet werden soll, wird lediglich die Vorgabe gemacht, dass das Toxin demjenigen der Bt-Pflanzen entsprechen soll und dass dabei Sporen und Kristalle verwendet werden sollen.

Frankreich

In Frankreich ist die Anfälligkeit vier verschiedener Ausgangspopulationen im Elsass, im Bassin Aquitain, im Bassin Parisien und im Rhonetal bereits untersucht worden, in dem für das erste Larvalstadium (L1) die LD50 und LD90 bestimmt wurde und daraus eine Regressionsgerade ermittelt wurde (Le Pensec, 1998). Das Monitoring-Programm gleicht im Prinzip demjenigen der EU mit der Einschränkung, dass Untersuchungen zur Vorhersage der Resistenzentwicklung nur dann durchgeführt werden sollen, wenn das regelmässige Resistenz-Monitoring Abweichungen ergibt. So sollen ein Jahr nach dem ersten Anbau des Bt-Mais in den 4 Regionen ebenfalls je 1000 Pflanzen (5 Felder zu je 200 Pflanzen) gesammelt werden, die nach Möglichkeit je eine L5 enthalten. Diese werden bis zur nächsten Generation weitergezüchtet und für die Junglarven der nachfolgenden Generation wird die LD50 bestimmt. Diese wird mit der LD50 der Ausgangspopulation verglichen und sobald sich Verschiebungen in der Anfälligkeit zeigen, werden die nachfolgenden vier Generationen im Labor einem Selektionsdruck ausgesetzt. Daneben wird eine Linie ohne Selektionsdruck ebenfalls für vier Generationen gezüchtet. Die LD50 der fünften Generation (erstes Larvenstadium) beider Linien wird schliesslich bestimmt und miteinander verglichen. Es werden keine Vorgaben zur Herstellung des Toxins gemacht.

Zu den beiden Monitoring-Konzepten ist folgendes anzumerken (W. Moar, pers. Mitteilung):

- (1) Beide Programme liefern keine Konzepte zu Gegenmassnahmen, sollten Resistenzen entdeckt werden.
- (2) Das Sammeln der Larven sollte bevorzugt in den Regionen durchgeführt werden, die den grössten Anteil an Bt-Feldern aufweist.
- (3) Das Sammeln sollte jährlich stattfinden.
- (4) Es ist davon auszugehen, dass in den ersten Jahren keine Larvalentwicklung von *O. nubilalis* auf Bt-Mais möglich ist, d.h. dass diejenigen Larven, die gefunden werden, mit grosser Wahrscheinlichkeit falsch-positive Individuen sind, die sich auf nicht-exprimierenden Pflanzen entwickelt haben. Bei 100 zufällig ausgewählten Pflanzen ist die Wahrscheinlichkeit, überhaupt Larven zu finden, zudem sehr gering. Das Sammeln sollte sich deshalb besser gezielt auf Larven des ersten Stadiums konzentrieren, die im Labor weitergezüchtet werden können und deren F1 dann getestet werden kann.
- (5) Die Testsubstanz, d.h. das Toxin, das in den Laboruntersuchungen verwendet wird, sollte standardisiert sein. Formulierungen, die Sporen und Kristalle enthalten, sind nicht geeignet, da die Zusammensetzung variieren kann (s. Kapitel 6.1.1). Statt dessen sollte reines Toxin verwendet werden, das zum Beispiel von transformierten *E.coli* produziert wird (wird auch in Toxizitätsprüfungen im Rahmen von Zulassungsverfahren verwendet, s. EPA, 1997). Wichtig ist, dass von Anfang an alle Laboratorien, die Resistenz-Analysen durchführen, das gleiche Toxin und das über Jahre hinaus besitzen, d.h. dass man auf einmal grosse Mengen produziert und diese verteilt. Denn bei jeder Neuproduktion können Veränderungen in der Wirksamkeit auftreten, die die Ergebnisse verfälschen.

Als Beispiel für ein phänotypisches Resistenzmonitoring kann das Konzept des amerikanischen Bundesstaates Alabama dienen, wo seit letztem Jahr Screenings an Baumwolle durchgeführt werden (W. Moar, pers. Mitteilung). Finanziert werden die Untersuchungen von Monsanto, die per Gesetz zu einem Monitoring verpflichtet sind, es aber an unabhängige Forschungseinrichtungen delegiert haben, und einem Zusammenschluss von Farmern. Jedes Jahr werden in Baumwollfeldern in verschiedenen Regionen Alabamas vier bis fünf Tage alte Larven (L1/L2) gesammelt, auf künstliche Nährmedien gesetzt und diese nach Mississippi geschickt. Dort werden die Tiere gezüchtet

und die L1 der nächsten Generation untersucht. Die LD50 wird mit derjenigen eines im Labor gezüchteten Stammes verglichen.

Auswirkungen auf Nicht-Zielorganismen

Nicht-Zielkrankheitserreger und -schädlinge

In der Schweiz werden keine breitwirksamen Mittel gegen den Maiszünsler eingesetzt. Infolgedessen ist die Gefahr, dass es zu einem verstärkten Auftreten von Sekundärschädlingen, die bislang chemisch mit-behandelt und somit kein Problem dargestellt haben, relativ gering. Offenbar werden Schaderreger wie Blattläuse (*Rhopalosiphum padi*, *R. maidis* oder *Sitobion avenae*) oder Spinnmilben (*Tetranychus urticae*) und Thripse in der Schweiz von natürlich Gegenspielern kontrolliert. Sollte es jedoch über tritrophische Interaktionen zu einer Beeinträchtigung von Nützlingspopulationen kommen, könnten diese Schädlinge dennoch vermehrt auftreten. Neben Untersuchungen der Nützlingspopulationen (s.u.) sollte deshalb das Verhalten der Sekundärschädlinge, v.a. *R. padi* und *T. urticae*, auf Mais in den ersten Jahren anbaubegleitend untersucht und beobachtet werden.

Nützlinge und Gegenspieler

In den Toxizitätsuntersuchungen für Bt-Pflanzen wurde kein Effekt des Bt-Toxins auf Nützlinge festgestellt (zum Beispiel EPA, 1997; Sims, 1995). Allerdings waren diese Untersuchungen auf kurzzeitige, akute Nebenwirkungen ausgerichtet und wurden zum Teil mit ungeeigneten Versuchsmethodiken durchgeführt. In tritrophischen Versuchen konnte gezeigt werden, dass sowohl der Bt-Mais als auch das Bt-Toxin die Larvalentwicklung des polyphagen Prädatoren *C. carnea* negativ beeinflussen können (Hilbeck et al. 1998a; Hilbeck et al., 1998b; Hilbeck et al., in press). Bei diesen Untersuchungen handelt es sich um Laborstudien, deren ökologische Relevanz im Freiland noch getestet werden muss. Deshalb sollten jetzt in Freisetzungsversuchen oder anbaubegleitend die Populationsdynamik von *C. carnea* überprüft werden.

Analog zu den Pestizidzulassungen sollten bei der Zulassung insgesamt zwei Standardarten (zum Beispiel *C. carnea*, *T. cacoeciae*) und zwei kulturell relevante Arten (zum Beispiel *A. rhopalosiphum*, *C. septempunctata*) untersucht werden. Dabei ist in Zukunft vermehrt auf geeignete Versuchsmethodiken zu achten. Zeichnet sich im Labor ein Nebeneffekt ab, sollte dieser - ab einem Schwellenwert, der festgesetzt werden muss - nachfolgend in Freisetzungsversuchen weiter überprüft werden (analog zu der Nützlingsprüfung bei der Pestizidzulassung). Sind die Ergebnisse im Labor - eine aussagekräftige Versuchsmethodik vorausgesetzt - negativ, können fortführende Untersuchungen unterbleiben. Sollte Bt-Mais für den Anbau freigegeben werden, sollten Nützlinge, darunter möglichst ein spezialisierter Antagonist gegenüber Blattläusen, anbaubegleitend beobachtet werden.

Diese Untersuchungen können in Zusammenhang mit den Erhebungen der Begleitfauna durchgeführt werden (s.u.).

Im Monitoring-Konzept für Bt-Mais von Frankreich (1998) ist vorgesehen, Marienkäfer (Larven und Adulte), Florfliegen (Eier und Larven) und Schwebfliegen (Eier, Larven und Puppen) als Gegenspieler von Blattläusen und Tachiniden (Raupenfliegen) als Parasitoide des Maiszünslers zu beobachten. Gleichzeitig soll der Blattlausbefall auf den untersuchten Pflanzen miterfasst werden. Zusätzlich enthält das Untersuchungsprogramm auch Studien über das Eiablageverhalten von *O. nubilalis* unter dem Einfluss von Bt-Pflanzen.

Bienen und andere Bestäuber

Mais wird von Bienen besucht. Nebeneffekte auf Bienen sollten deshalb einen Kernpunkt in der Risikoforschung darstellen. Die Bienensicherheit von Bt-Mais ist zwar von Antragstellern unter-

sucht worden, jedoch stellt sich auch hier die Frage, wie aussagekräftig diese Daten sind. Denn wie bei den Nützlingen wurden lediglich akute Kurzzeiteffekte überprüft (EPA, 1997; Ahl-Goy et al., 1995; vgl. auch Kapitel 5), aus denen nur sehr schwer Rückschlüsse auf langfristige Nebenwirkungen gezogen werden können. Eine Anpassung der Versuchsmethodiken an die Bedingungen von transgenen Pflanzen ist auch hier erforderlich. Am besten werden hierfür Bienen-Spezialisten zu Rate gezogen. Sollte Bt-Mais basierend auf den gegenwärtigen Daten für den Anbau freigegeben werden, muss der Einfluss von Bt-Mais auf Bienen nach der Zulassung anbaubegleitend weiter untersucht werden.

Zersetzer

Anbaubegleitend sollte langfristig das Vorkommen unterirdisch lebender Regenwürmer, zum Beispiel *L. terrestris*, beobachtet werden.

Andere Zersetzer, die als Indikatoren anbaubegleitend geprüft werden könnten, sind Springschwänze. Die zur Zeit vorliegenden Ergebnisse hinsichtlich Nebenwirkungen auf Springschwänze sind widersprüchlich. Untersuchungen von Yu et al. (1997) mit Bt-exprimierender Baumwolle (Cry1Ab und Cry1Ac) und Kartoffeln (CryIIIa) zeigten keine Nebenwirkungen auf Collembolen. Die Versuche dauerten einen Monat, eine relativ lange Zeit, wurden jedoch nicht wiederholt. Somit können sie lediglich als ein Hinweis darauf dienen, dass keine relevanten Nebenwirkungen auf Collembolen zu erwarten sind. Um definitive Aussagen machen zu können, müssten sie aber in einer Wiederholung belegt werden. Demgegenüber weist die EPA (1997) auf eine Studie hin, in der lyophilisierte Blattextrakte von Bt-Pflanzen toxische Wirkungen gegenüber Collembolen aufwiesen.

Mikrobielle Diversität und chemischer Zustand des Bodens

Die mikrobielle Diversität und der Nährstoffkreislauf, das ist der C-Kreislauf im Zusammenhang mit den N-, S- und P-Kreisläufen (Einträge, Transformationen, zum Beispiel Umwandlung von organischem N zu Nitrat und Nitrit und Austräge, zum Beispiel Nitratauswaschung) sollte aufgrund ihrer Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit längerfristig anbaubegleitend beobachtet werden. Wünschenswert wäre eine umfassende Überwachung der Bodenfruchtbarkeit, wie sie in Box 2 dargestellt ist. Eine Koordination mit bodenbiologischen Monitoringprogrammen, sollten diese in der Schweiz etabliert werden, ist unbedingt empfehlenswert.

Begleitflora und-fauna

Verwandte Wildarten

Mais hat hier in Europa keine verwandten Arten, eine Auskreuzung des Bt-Gens ist nicht möglich.

Das Auskreuzen auf Nachbarfelder ist ein agronomisches Problem und wird unter «Aspekte der Agronomie und Nachhaltigkeit» behandelt.

Allgemeine Begleitflora und Begleitfauna

Der Schutz der Umwelt gewinnt in der Agrarpolitik zunehmend an Bedeutung. Deshalb ist es sinnvoll, die Lebensraumqualität von Bt-Mais, vor allem für Tiere, allgemein zu evaluieren. Wie bereits in Kapitel 5 dargestellt, könnten folgende Parameter erhoben werden:

Floristische Parameter: Artenvielfalt, Seltenheit, Entwicklungsstadium der Pflanzen, Deckungsgrad.

Faunistische Parameter: Abundanz von Insekten zum Beispiel Laufkäfer, Spinnen, aber auch Sekundärschädlinge, Nützlinge und Regenwürmer.

6.3.4 Aspekte der Agronomie und der Nachhaltigkeit

Wichtige agronomische Aspekte beim Anbau von Bt-Mais, die ermittelt werden sollten, sind neben der Charakterisierung des Standortes und der Anbaupraxis vor allem der Einsatz von Pestiziden und Düngemittel und der Ertrag. Erste Erfahrungen mit Bt-Baumwolle zeigen, dass der Ertrag geringer ist als bei herkömmlichen Sorten (W. Moar, pers. Mitteilung). Dies ist als Hinweis darauf zu sehen, dass zusätzlich exprimierte Gene durchaus Kosten verursachen können und Pflanzen unter befallsfreien Bedingungen eventuell mit Ertragsdepression reagieren können.

Durchwuchs in Folgekultur

Durchwuchsprobleme von Bt-Mais sind wegen der geringen Kältetoleranz in der Schweiz nicht zu erwarten.

Vertikaler Gentransfer auf Kulturpflanzen

Der Pollenflug sollte beobachtet und das Auskreuzen auf Mais in Nachbarfelder möglichst vermieden werden. Gerade in Zuchtgebieten oder der Nähe von biologisch bewirtschafteten Feldern - 16 % der offenen Ackerfläche im biologischen Landbau werden von Silo- und Körnermais eingenommen (Freyer & Hartnagel, 1997) - sollten Mindestabstände eingehalten werden, die gesetzlich festgelegt werden müssen. Mindestabstände sind auch zwischen verschiedenen Maisarten, zum Beispiel 300 m zwischen Körner- und Verzehrmais (Zscheischler et al., 1990), oder bei der Saatgutproduktion (200m für Hybrid-Produktion, 300 m bei Herstellung des Basissaatgutes; M. Menzi, pers. Mitteilung) festgelegt. Ausserdem sollten Maximalkonzentrationen des Toxins, die in gentechfreien Produkten enthalten sein dürfen, gesetzlich festgelegt werden. Auflagen für Mindestabstände können entfallen, wenn die Sorten unterschiedliche Blühzeitpunkte besitzen oder Gegenmassnahmen, die ein Auskreuzen verhindern, ergriffen werden, zum Beispiel männliche sterile Pflanzen angebaut werden oder männliche Blütenstände mechanisch entfernt werden.

Angaben zu der Reichweite von Maispollen variieren von 50 Meter (Le Pensec, 1998) bis zu 2 Meilen (EPA, 1997). Deshalb ist in dem Monitoring-Konzept von Frankreich vorgesehen, den Pollenflug von Mais experimentell zu untersuchen (Le Pensec, 1998).

Qualität und Lagerfähigkeit des Erntegutes

Im Hinblick auf die Lagerung in Genbanken sollte die Keimfähigkeit des Maiskorns nach fünf und zehn Jahren im Vergleich zu konventionellen Maissorten überprüft werden.

7. Fallbeispiel Weizen mit Pilzresistenz (Überexpression von Chitinase)

7.1 Kulturpflanze - Schädling - Resistenzmechanismus

7.1.1 Weizen *Triticum aestivum* L.

Wirtschaftliche Bedeutung

Weizen ist eine einjährige, einheimische Langtag-Getreidepflanze, die seit der Eiszeit gezüchtet wird. Er ist neben Reis die wichtigste Getreideart für die menschliche Ernährung, gefolgt von Mais, Gerste und Hirsearten (Hofmann et al., 1985). Etwa 32% der Weltanbaufläche entfallen auf Getreide und 28% der Getreideproduktion auf Weizen (Hofmann et al., 1985). Der Weizenanbau ist bis in Höhen von 500-1000 m verbreitet. In der Schweiz werden auf rund 95.000 ha Weizen (Winter- und Sommerweizen) angebaut, das entspricht ca. 23% der totalen Ackerlandfläche (ca. 420.000 ha) (SBV, 1997). Winterweizen nimmt mit ca. 90.000 ha flächenmässig den Hauptteil ein, Sommerweizen ist von untergeordneter Bedeutung (3000-5000 ha). Beide Weizenformen werden hauptsächlich zur Brotherstellung angebaut. Hartweizen (*T. durum* Desf.), der für die Teigwarenproduktion verwendet wird, wird in der Schweiz nicht angebaut (Fried et al., 1993).

Systematik, Abstammung, Biologie

Die Gattung *Triticum* (Tribus Triticeae) gehört innerhalb der Ordnung Poales zur Familie der Poaceae (Hofmann et al., 1985). Der Tribus Triticeae umfasst 18 verschiedene Gattungen, die in zwei Untergruppen, die Triticinae und die Hordeinae, unterteilt werden. Die wichtigsten Gattungen der Triticinae sind *Triticum*, *Aegilops*, *Secale* (Roggen), *Agropyron* (Quecke) und *Haynaldia* (Hofmann et al., 1985). Innerhalb der Triticinae sind die Arten verschiedener Gattungen bedingt kreuzbar.

Brotweizen *T. aestivum* setzt sich aus drei Genomen, dem A-, B- und D-Genom zusammen, die Chromosomengrundzahl jedes Genoms ist 7 (Hofmann et al., 1985). Es ist eine hexaploide Weizenform (AA BB DD; $2n = 42$), deren Abstammung bis heute nicht endgültig geklärt ist. Die drei unterschiedlichen Genome belegen, dass er ein Bastard aus drei verwandten Wildgrasarten ist. Dabei ist bekannt, dass das Genom A von *Triticum monococcum* L. und das Genom D von *Aegilops squarrosa* L. stammt (Fried et al., 1993). Die Herkunft des Genoms B ist bis heute unbekannt. Archäologische Funde lassen vermuten, dass *T. aestivum* vor ca. 10.000 Jahren entstanden ist (Hofmann et al., 1985). Die primären Ziele der Weizenzüchtung in der Schweiz sind hohe Krankheitsresistenz kombiniert mit guten Backeigenschaften. Erst in zweiter Linie wird auf agronomisch wichtige Eigenschaften wie Ertragsleistung und -sicherheit oder Frühreife selektiert (Fried et al., 1993). Der Einsatz gentechnologischer Methoden in der Weizenzüchtung hat in letzter Zeit immer mehr zugenommen. Für viele Resistenzgene sind diagnostische Marker entwickelt worden und in vitro Selektionssysteme gegen Pilzkrankheiten wurden etabliert. Die Transformation der Pflanzen gestaltet sich wegen der Grösse und Komplexität des Genoms jedoch nach wie vor schwierig (Fried et al., 1993). Ausserdem stehen momentan noch wenig Kandidatengene zur Verbesserung der Resistenz zur Verfügung. Deshalb wird intensiv an der Charakterisierung und Isolierung von Resistenzgenen aus der *Triticea*-Gruppe gearbeitet.

Weizen stellt an den Boden, das Klima und die Wasserversorgung höhere Ansprüche als andere Getreidearten (Geisler, 1988). Nährstoffreiche Böden mit günstigen Wasserhaushaltsverhältnissen und guter Pufferung, zum Beispiel Löss-Lehm, fördern die Ertragsbildung. Das Temperaturminimum für die Keimung liegt bei 3-4 °C, 6-8 °C sind Voraussetzung für eine gleichmässige und rasche Keimung. Die Winterformen weisen bis -20°C eine ausreichende Winterfestigkeit auf. Bei

tiefere Temperaturen, in höheren Breiten oder grösseren Höhenlagen ist der Weizenanbau nicht mehr möglich. Die Konkurrenzkraft des Weizens reicht nicht für eine Persistenz ausserhalb des Ackers, daher verwildert er nicht (Torgersen, 1996). Weizenarten sind selbstbefruchtend, aber ein gewisser Prozentsatz an Fremdbefruchtung (<5 %) ist regelmässig vorhanden (Geisler, 1988). Spontanes Auskreuzen auf Roggen ist möglich (Torgersen, 1996).

Pflanzenschutz im Weizenanbau

Die wichtigsten Getreidekrankheiten, gegen die durch systematische Resistenz-Züchtungsprogramme in der Schweiz angegangen wird, sind Braunrost (*Puccinia recondita*), Gelbrost (*P. striiformis*), Echter Mehltau (*Erysiphe graminis*), Spelzenbräune (*Septoria nodorum*), Blattdürre (*Septoria tritici*) und Ährenfusariosen (*Fusarium* spp.). Andere Pilzkrankheiten, zum Beispiel die Halmbruchkrankheit (*Pseudocercospora herpotrichoides*), der Flugbrand (*Ustilago* spp.), der Weizensteinbrand (*Tilletia caries*) und die Schwarzbeinigkeit (*Gaeumannomyces graminis*) werden durch Fruchtfolgen oder vorsorgende Massnahmen wie Saatgutbeizung bekämpft (Fried et al., 1993).

Tierische Schaderreger, die eine Bekämpfung in der Schweiz erfordern sind das Getreidehähnchen (*Oulema melanopus*), die Fritfliege (*Oscinella frit*), Drahtwürmer (*Agrotis lineatus*) und, in starken Befallsjahren, Blattläuse (Haferblattlaus *Rhopalosiphum padi*, Grosse Getreideblattlaus *Sitobion avenae*) (Fried et al., 1993). Gegen das Getreidehähnchen kommen dabei breitwirksame Insektizide zum Einsatz, während Blattläuse mehr oder weniger selektiv mit dem Kontaktgift Pirimor, das natürliche Gegenspieler und Bienen weitgehend unbeeinflusst lässt, bekämpft werden (Börner, 1990; Fried et al., 1993). In der Schweiz existieren keine Resistenz-Züchtungsprogramme gegen Schädlinge (Fried et al., 1993).

7.1.2 Pilzliche Schaderreger

Basidiomyceten: Gelb- und Braunrost (*Puccinia* spp.)

Die Basidiomycotina sind die am höchsten entwickelten Pilze. Die Gattung *Puccinia* gehört innerhalb der *Basidiomycetes* zur Ordnung der *Uredinales* (Rostpilze). Die *Uredinales* sind obligate Parasiten, deren Entwicklung nur auf der Wirtspflanze möglich ist (Börner, 1990; Fried et al., 1993). Bei beiden Pilzen können Rassen mit verschiedenen Avirulenzgenen unterschieden werden.

Entwicklungskreislauf der *Uredinales* (nach Hoffmann et al., 1994): Nach Infektion von Pflanzen mit haploiden Basidiosporen mit sexueller Determination (+ und -) entstehen auf dem Blatt Aecidien (+) und Spermatien (-). Durch Verschmelzung der beiden Thalli reift das Aecidium heran und es entwickeln sich diploide Aecidiosporen, die über den Wind verbreitet werden und bei autözischen Formen (ohne Wirtswechsel) den gleichen Wirt, bei heterözischen Formen (mit Wirtswechsel) den entsprechenden Dikaryontenwirt infizieren. Aus ihnen entwickeln sich Uredolager mit Uredosporen, die auf dem Dikaryontenwirt das epidemiologisch wichtige Stadium darstellen. Nach mehreren Generationen entwickeln sich schliesslich Teleutolager mit Teleutosporen, die widerstandsfähig sind und das Überwinterungsstadium verkörpern. Nach Karyogamie und Meiose bilden sie eine in vier Zellen geteilte Basidie mit den vier haploiden Basidiosporen. Diese werden mit Wind und Regen verbreitet und gelangen so wieder auf den Haplontenwirt.

Gelbrost (*P. striiformis*): Der Gelbrost ist wahrscheinlich heterözisch, jedoch ist der Aecidienwirt nicht bekannt (Hoffmann et al., 1994). Die Ausbreitung im Bestand und Übertragung erfolgt ausschließlich durch Uredosporen. Der Pilz überwintert als Myzel in Ausfall- oder Wintergetreide, das bereits im Herbst infiziert wird (Börner, 1990). Hauptsymptome der Krankheit sind leuchtend gelbe, strichförmige Uredosporenlager vor allem auf der Blattspreite und den Spelzen. Gegen Ende der Vegetationszeit sind auf allen Pflanzenteilen dunkelbraune Teleutosporenlager zu finden.

Braunrost (*P. recondita*): Der Braunrost ist heterözisch, seine Aecidienwirte sind häufig *Anchusa*-Arten (Ochsenszunge, Fam. Boraginaceae), können aber zahlreiche Arten der Ranunculaceae, Hydrophyllaceae und Balsaminaceae umfassen (Hoffmann et al., 1994). Teleutosporen können auf vielen Arten der Poaceae gefunden werden zum Beispiel *Agropyron*, *Agrostis*, *Bromus* und *Secale*. Die Ausbreitung im Bestand erfolgt wie beim Gelbrost durch Uredosporen. In gemässigten Klimaten überwintert der Pilz ohne obligaten Wirtswechsel in der Uredophase in Ausfallgetreide oder an im Herbst gesäten Wintergetreide. Nur in extremen Regionen (zum Beispiel Sibirien) wechselt er auf den Zwischenwirt *Thalictrum* (Wiesenraute, pigamon) (Departement of Agriculture and Food Science, ETH Zürich, www.pa.ipw.agrl.ethz.ch/pathology/courses). Hauptsymptome des Braunrostes sind orange-gelbe bis braune Uredosporenlager auf den Blättern, zum Teil auch auf den Blattscheiden, Halmen und Spelzen. Später treten dunkler gefärbte Teleutosporen auf.

Die Bekämpfung erfolgt über den Anbau von resistenten Sorten oder Sortenmischungen. Ausserdem wird empfohlen, nach der Ernte das Stroh auf dem Feld abzutragen und die Stoppelreste unterzupflügen.

Ascomyceten: Echter Mehltau (*Erysiphe graminis*), Spelzenbräune und Blattdürre (*Septoria* spp.)

Ascomyceten besitzen septierte Hyphen. Die geschlechtliche Fortpflanzung erfolgt über Ascosporen, die in einem Sporangium, dem Ascus, gebildet werden (Hauptfruchtform). Die Asci befinden sich in Fruchtkörpern, den Ascokarpien, die je nach Form unterschieden werden in Kleisto-, Peri-, und Apothecien. Die ungeschlechtliche Vermehrung und Verbreitung erfolgt über Konidiosporen (Nebenfruchtform).

Entwicklungskreislauf (nach Börner, 1990): Im Laufe des Sommers entstehen an speziell ausgebildeten Konidienträger durch Abschnürung Konidien, die durch Wind und Regen übertragen werden. Gegen Ende der Vegetationsperiode setzt die sexuelle Vermehrung ein, indem an Hyphen weibliche und männliche Geschlechtszellen gebildet werden, die über eine Dikaryonphase und Kariogamie die Ascusmutterzellen bilden. Nach zweimaliger Mitose entstehen darin 8 haploide Ascosporen.

Echter Mehltau (*E. graminis*) (vgl. Departement of Agriculture and Food Science, ETH Zürich, www.pa.ipw.agrl.ethz.ch/pathology/courses): Die Gattung *Erysiphe* gehört zur Ordnung der *Erysiphales* innerhalb der *Ascomycotina*. Der Echte Getreidemehltau ist weltweit verbreitet und befällt ausser Weizen und Gerste auch Roggen, Hafer und zahlreiche Gräser. Er kommt in mehreren, spezialisierten Varietäten oder «formae speciales» vor, so dass ein Übergang von einer Getreideart auf die andere praktisch nicht möglich ist. Jedoch können die einzelnen Spezialformen ihren Wirtsbereich auf andere Gräsergattungen ausdehnen. Weiter gibt es für jede Spezialform eine Vielzahl von Rassen mit sortentypischen Virulenzunterschieden. In der Regel liegen die Ertragsausfälle bei Gerste und Weizen bei 5 bis 15%, können in Einzelfällen aber bis 25% betragen. Die Ausbreitung im Bestand erfolgt über die auf den Blättern massenhaft gebildeten Konidien. Gegen Ende der Vegetationsperiode entstehen Kleistothecien, die nach der Ernte am Stroh und an Stoppelresten verbleiben. Die darin entstehenden Ascosporen können neu ausgesätes Wintergetreide und Ausfallgetreide infizieren. Die Überwinterung des Pilzes erfolgt als Mycel an den unteren Blattscheiden oder als Kleistothecien. Hauptsymptome sind weissliche, watteartige Mycelbeläge auf Blättern und Blattscheiden («Mehltaupusteln»). Diese werden später braun mit kleinen, schwarzen Kleistothecien. Beim Weizen kann die Infektion vom befallenen Fahnenblatt auch auf die Ähren übergehen.

Zur Bekämpfung werden resistente Weizensorten, besser Mischungen von Sorten mit unterschiedlichen Resistenzen, angebaut, da monogen gestützte Resistenzen wegen schneller Rassenbildung rasch durchbrochen werden können. Weiterhin wird empfohlen, Pflanzenreste und Ernterück-

stände auf dem Feld zur Elimination der Kleistothecien möglichst komplett zu vernichten (Fried et al., 1993).

Die Spelzenbräune (*S. nodorum*) gehört ebenfalls zu den *Ascomycetes* (Hauptfruchtform *Phaeosphaeria nodorum*). Sie ist eine weitverbreitete Krankheit, die sich vor allem in regenreichen Sommern zu einer der häufigsten und gefährlichsten Weizenkrankheiten entwickeln kann. Bei Ährenbefall können Verluste bis zu 60% entstehen. Phytopathologisch bedeutsam ist das Konidienstadium. Die Konidien können frei auf der Oberfläche sein, in kugel- oder flaschenförmigen Behältern mit derber Außenwand und Öffnung (Pyknidium) oder in flachen Lagern auf dichtem Mycelgeflecht (Acervulus) (Hoffmann et al., 1994).

Entwicklungskreislauf: *S. nodorum* ist ein nekrotropher, d.h. ein sich von totem Material ernährend, fakultativer Parasit. Er überdauert mit Ascosporen im Saatgut oder auf Pflanzenrückständen. Von hier aus erfolgt die Erstinfektion, indem Ascosporen durch Wind und Regen übertragen werden (Börner, 1990). Nach der Keimung auf dem Pflanzengewebe bilden die Ascosporen ein Mycel, an dem ungeschlechtlich Pyknidien mit Pyknosporen entstehen. Die Pyknosporen wiederum werden mit Regen und Wind zunächst an die unteren Teile der aufwachsenden Pflanzen herangebracht, wo ständig neue Pyknidien und Pyknosporen entstehen. Sie treten vor allem bei hoher Feuchtigkeit auf und werden durch abprallende Regenspritzer stufenweise von Blatt zu Blatt bis zur Ähre übertragen. Befallene Keimlinge zeigen ca. drei Wochen nach dem Auflaufen braune, knotenartige Verdickungen der Sprossscheide. Später entstehen auf den Blättern und Halmen gelbe bis braune Flecken, die später absterben, mit braun-schwarzen, kleinen Pyknidien. Auch auf den Spelzen sind braune Flecken mit Pyknidien zu sehen. Bei starkem Befall kann die ganze Pflanze absterben. Die Getreidekörner sind deformiert und geschrumpft und von schlechter Backqualität.

Der Krankheitsverlauf der **Blattdürre** (*S. tritici*) ist der gleiche wie bei der Spelzenbräune. Als Hauptsymptome treten auf den unteren Blättern ovale, später streifenförmige Flecken auf, die von den Blattadern begrenzt werden. Die Flecken sind erst grünlich verwaschen, dann hellbraun, bis das Blattgewebe schliesslich abstirbt.

S. nodorum und *S. tritici* sind sehr ähnliche Krankheitserreger, die symptomatisch lediglich an der Form der Blattflecken zu unterscheiden sind. Entwicklungsbiologisch zeigen neueste Untersuchungen, dass im Gegensatz zu *S. nodorum* bei *S. tritici* Rassenspezifität auftritt.

Die Bekämpfung beider Krankheiten erfolgt über den Anbau von wenig anfälligen Sorten und der Verwendung von gesundem Saatgut. Auf sauberes Unterpflügen von Pflanzenresten und Ausfallgetreide sollte geachtet werden.

Deuteromyceten: Blatt- und Ährenfusariosen (*Fusarium* spp.)

Bei den Deuteromyceten ist die Hauptfruchtform (Sexualstadium) nicht bekannt oder fehlt.

Phytopathologisch bedeutsam ist das Konidienstadium. Die Untergliederung der Pilze erfolgt nach Form, Septierung und Farbe der Konidiosporen und der Entwicklungsart der Konidienträger. Wegen des Fehlens der Hauptfruchtform ist der biologische Kreislauf unkompliziert. Nach der Keimung der Konidien dringt das Mycel in die Pflanzen ein und erzeugt wieder Konidien, die die Krankheit im Bestand weiterverbreiten (Börner, 1990).

Die verschiedenen Fäuleerreger *Fusarium nivale*, *F. culmorum*, *F. avenaceum* und *F. graminearum* gehören innerhalb der Deuteromycetes zu den Hyphomycetes. Ährenfusariosen können zu bedeutenden Ertragsausfällen führen (bis 10 % und mehr), starker Befall beeinträchtigt die Keimfähigkeit und die Mehlqualität (Pilzgifte) (vgl. Departement of Agriculture and Food Science, ETH Zürich, www.pa.ipw.agrl.ethz.ch/pathology/courses). Die Pilze überdauern in Mycelform auf oder im Saatgut oder auf Pflanzenresten im Boden. Als Sekundärerreger besiedeln sie Wurzeln, später ältere Blätter, von wo sie auf die Ähren gelangen. Auf den Blättern verursachen *Fusarium* sp. grün-

lich verwässerte Blattflecken, Ährenbefall führt zum Absterben einzelner Ährchen oder ganzer Ährenpartien (Taubährigkeit). Manchmal sind die befallenen Stellen von rötlichen Konidien bedeckt.

Zur Bekämpfung wird zertifiziertes und gebeiztes Saatgut verwendet. Fungizide wirken unvollständig, auch die Rotteförderer der Ernterückstände wirkt nur bedingt, da *F. culmorum* dennoch überlebt.

In der Schweiz werden die meisten Pestizide im Getreideanbau eingesetzt. Fungizide machen davon den grössten Anteil aus (Fried et al., 1993). Die Züchtung pilzresistenter Varietäten stellt damit ein effektives Mittel für die Zukunft dar.

7.1.3 Pilzresistenz durch Erhöhung der Chitinase-Expression

Chitinase

Chitinasen sind pflanzeigene, antifungale Proteine, die zusammen mit den α -1,3-Glucanasen und den Proteinasen zu den Hydrolasen gehören. Diese spalten ein Polymer unter Wasserabspaltung. Chitinasen zerlegen das Kohlenhydratpolymer Chitin, eine wichtige Gerüstsubstanz vieler phytopathogener Pilze (vgl. Franck-Oberaspach & Keller, 1996). Chitin ist allerdings auch ein wichtiger Bestandteil des Tegumentes und der Wände des Verdauungstraktes von Insekten, so dass auch in der Kontrolle von Schadinsekten den Chitinasen ein grosses Potential zugesprochen wird (Carozzi & Koziel, 1997).

Die Strategie zur Erhöhung der Pilzresistenz mit Hilfe von Chitinasen beruht auf einer Überexpression dieser Enzyme in den Pflanzenzellen. Da der Grad der Resistenz abhängig von der Konzentration des Enzyms ist, bezeichnet man diese Art der Resistenz auch als quantitative Resistenz. Bei der Erzeugung transgener Pflanzen stammen die Chitinasen oft aus anderen Pflanzenarten (Bliffeld et al., 1999); bei manchen Pflanzenarten können sie aber auch endogen vorhanden und lediglich unter die Kontrolle eines neuen, konstitutiven Promotors gebracht worden sein (Franck-Oberaspach & Keller, 1996). Quantitative Resistenzen sind im Gegensatz zu rassenspezifischen Resistenzen, die nach dem Gen-für-Gen-Konzept (Flor, 1955) wirken, nicht vollständig, d.h. das Wachstum und die Entwicklung der Pilze wird gebremst und eingeschränkt, aber nicht ganz gestoppt. Wegen des verminderten Selektionsdruckes und der geringeren Spezifität sind quantitative Resistenzen meist dauerhafter, weshalb die Züchtung vermehrt an solchen Resistenzen interessiert ist (Sautter, pers. Mitteilung). Allerdings ist die Verbesserung der quantitativen Resistenz mit konventioneller Züchtung nur sehr schwer zu erreichen, da die Ausprägung solcher Resistenzen meist polygen gesteuert ist und durch Umwelteinflüsse stark modifiziert werden kann.

Chitinase-Weizen

Die molekulare Resistenzforschung im Weizen in der Schweiz konzentriert sich auf die Verbesserung der Resistenz gegen Gelb- und Braunrost, Echten Mehltau und die Spelzenbräune. Eine Strategie ist dabei die Erhöhung der unspezifischen Pilzabwehr. Weizen wird zum Beispiel mit der Chitinase aus Gerste transformiert, die unter die Kontrolle eines konstitutiven Promotors gebracht wird (Bliffeld et al., 1999). Damit ist das Enzym zu jeder Zeit und in allen Organen vorhanden. Das Enzym ist nicht neu im Weizen, denn er selbst produziert ebenfalls eine Chitinase. Diese wird allerdings induktiv exprimiert (Sautter, pers. Mitteilung). Die überexprimierte Chitinase soll den Weizen vor pathogenen Pilzen schützen, indem die Zellwände der Pilze abgebaut werden.

Erste Freisetzungsversuche mit pilzresistentem Weizen werden in den USA vor allem von der Firma Monsanto durchgeführt. Aus den Angaben geht jedoch nicht hervor, mit welchen Resistenzmechanismen die Firma arbeitet oder aus welchen Organismen die Gene stammen (vgl. www.nbiap.vt.edu). Zur Zeit ist noch nicht abzusehen, wann die ersten pilzresistenten Weizensorten

auf den Markt kommen werden. In der Schweiz sind erste Freisetzungsversuche mit diesen Pflanzen nicht vor dem Jahr 2000 vorgesehen (Sautter, pers. Mitteilung).

7.2 Begleitforschung bei Chitinase-Weizen

Die Parameter, die beim Anbau von Chitinase-Weizen nach der Zulassung untersucht werden sollten, sind zusammenfassend in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Parameter, die in der Nachzulassungsforschung von Chitinase-Weizen innerhalb des Agrarraumes berücksichtigt werden sollten (fett und grau unterlegt).

Bereich	Parameter
Kulturpflanze	<ul style="list-style-type: none"> Wachstumsveränderungen und Verwilderungstendenz Auffälligkeiten im Feld Inhaltsstoffe Nektarbildung
Gene und Genprodukte	<ul style="list-style-type: none"> Genexpression und Stabilität der gewünschten Eigenschaft Menge an Ernterückständen Abbau des Genproduktes in den Ernterückständen Abbau des Genproduktes im Boden Abbau der DNA im Boden und horizontaler Gentransfer (HGT)
Umweltauswirkungen	
Zielorganismen	<ul style="list-style-type: none"> Anpassung von <i>Puccinia</i> spp., <i>E. graminis</i>, <i>S. nodorum</i> (Resistenzentwicklung) Entstehen neuer Virusarten, Erweiterung des Wirtskreises
Nicht-Zielorganismen	<ul style="list-style-type: none"> Auswirkungen auf Nicht-Zielkrankheitserreger und -schädlinge Auswirkungen auf Nützlinge und Gegenspieler Auswirkungen auf Bienen und andere Bestäuber Auswirkungen auf Zersetzer (z.B. Regenwürmer, Springschwänze) Auswirkungen auf die mikrobielle Diversität und den chemischen Zustand der Bodens Auswirkungen auf spezifische Indikator-Organismen (z.B. Mykorrhiza, Rhizobien) Auswirkungen auf bodenbürtige Pathogene
Begleitflora und -fauna	<ul style="list-style-type: none"> Auswirkungen auf verwandte Wildarten Auswirkungen allgemein auf Begleitflora und -fauna
Aspekte der Agronomie und der Nachhaltigkeit	<ul style="list-style-type: none"> Standortbedingungen Anbaupraxis Pestizideinsätze, Düngemiteleinträge, Rückstände in der Umwelt Ertrag Erosion Bodenfruchtbarkeit (s. Box 2) Durchwuchs in Folgekultur Vertikaler Gentransfer auf Kulturpflanzen Qualität und Lagerfähigkeit des Erntegutes

7.2.1 Kulturpflanze

Wachstumsveränderungen und Verwilderungstendenz

Die Konkurrenzkraft des Weizens reicht nicht für eine Persistenz ausserhalb des Ackers, daher ist die Gefahr des Verwilderns nicht gegeben. Die Transformation mit Chitinase wird die Ausbreitungstendenz nicht ändern, eine Begleitforschung nach der Zulassung ist deshalb nicht erforderlich.

Auffälligkeiten im Feld

Für Auffälligkeiten im Feld sollte eine Meldepflicht von Seiten der Landwirte eingeführt werden. Ungewöhnliche Merkmale sind dann umgehend an die für das Monitoring zuständigen Stellen oder Beratungsdienste zu melden.

Inhaltsstoffe

Chitinase ist zwar endogen im Weizen vorhanden, jedoch in niedrigeren Konzentrationen als in transgenem Weizen zu erwarten ist. Die Chitinase in transgenem Weizen wird neu konstitutiv exprimiert, womit ihre Konzentration auch in den Körnern hoch sein wird. Die Toxizität und Allergenität von Chitinase für den Menschen muss also sorgfältig abgeklärt werden, bevor neue Pflanzensorten für den Markt zugelassen werden (s. Kapitel 3). Weiterhin sollte der Einfluss der Transformation und der Chitinase auf den Glutenin- und Gliadin-Gehalt des Mehls untersucht werden, da Glutenin massgeblich für die Backqualität (Zähigkeit des Teiges) ist (Shewry et al., 1995). Denn es könnte sein, dass die konstitutive Expression von Chitinase in Konkurrenz steht zur Expression dieser Proteine. Diese Parameter sollten im Rahmen des Zulassungsverfahrens (FSV, Sortenprüfung) geprüft werden, wobei der Einfluss auf den Glutenin-Gehalt unter verschiedenen Umwelt-, vor allem Stressbedingungen, zu untersuchen ist. Da standardmässig bei allen neuen Weizensorten vor der Zulassung Backversuche durchgeführt werden, würde auch ein möglicher negativer Effekt der erhöhten Chitinaseproduktion auf die Bäckerhefe auffallen. Da Weizen keine toxischen Sekundärmetaboliten besitzt, ist ein weiteres Monitoring von Inhaltsstoffen nach der Zulassung nicht erforderlich.

Nektarbildung

Nektarbildung ist bei Weizen nicht bekannt. Er ist zum grössten Teil selbstbefruchtend und windbestäubend, d.h. er ist nicht auf bestäubende Insekten angewiesen. Meist blüht er mit geschlossener Blüte ab.

7.2.2 Gene und Genprodukte

Genexpression und Stabilität der gewünschten Eigenschaft

Eine hohe Expression auch während ungünstiger Umweltbedingungen ist Voraussetzung für eine erfolgreiche Verminderung des Pilzbefalls. Stabilität und Niveau der Expression und Stabilität der Pilzresistenz werden während des Zulassungsverfahrens, im Rahmen von Freisetzungsverordnung und Sortenprüfung, getestet. Eine Nachzulassungs-Monitoring ist also nicht unbedingt erforderlich. Erfahrungen mit Bt-Pflanzen (s.o.) zeigen jedoch, dass die Resistenz im Feld nicht den Erwartungen aus den eingeschränkten Freisetzungsversuchen entsprechen muss. Es ist deshalb anzuraten, auf die Wirksamkeit des Resistenzmechanismus insbesondere unter extremen Umweltbedingungen auch nach der Zulassung zu achten.

Menge an Ernterückständen

Wenn im Rahmen der Sortenprüfung keine diesbezüglichen Untersuchungen durchgeführt werden, sollte die Menge an Ernterückständen in den ersten Jahren anbaubegleitend festgestellt werden.

Abbau des Genproduktes im Erntegut und Ernterückständen

Der Antragsteller sollte beim Inverkehrbringen der Pflanzen Angaben zum Abbau bzw. der Anreicherung der Chitinase im Erntegut und in Pflanzenteilen und Ernterückständen liefern. Das gibt Hinweise, wieviel Chitinase in die Nahrungskette gelangt. Darüber hinaus kann zusammen mit der Menge an Ernterückständen abgeschätzt werden, wie hoch der Bodeneintrag von Chitinase pro Vegetationsperiode ist.

Abbau des Genproduktes im Boden

Eine Anreicherung von Chitinase im Boden könnte durch ihre Wirkung gegen Insekten und Pilze langfristige Folgen für die Bodenfruchtbarkeit haben. Um eine Risikoabschätzung zu ermöglichen, sollte deshalb der natürlich vorkommende Chitinasegehalt im Boden untersucht und geklärt werden, inwieweit Chitinasen über Wurzeln (Exsudate, Gewebeabbau) oder von chitinaseexprimierenden Mikroorganismen freigesetzt werden. Daraufhin sollte im Vergleich dazu festgestellt werden, inwieweit der Anbau von chitinaseexprimierenden Weizen diesen Gehalt beeinflussen kann. Es ist zum Beispiel möglich, dass die Enzymaktivität in Abhängigkeit von der Beschaffenheit des Bodens ebenso lange anhält wie bei dem Bt-Toxin. Da Ergebnisse aus Labor- und Freisetzungsversuche nicht auf die grossräumigen Verhältnisse schliessen lassen, wird es erforderlich sein, die Persistenz von Chitinasen im Boden in Abhängigkeit von Umweltbedingungen und Bodeneigenschaften zu untersuchen.

Abbau der DNA im Boden und horizontaler Gentransfer

Der Abbau, die langfristige Anreicherung und der Transfer von Antibiotikaresistenzgenen, soweit diese noch als Markergene verwendet werden, auf Mikroorganismen sollte auch nach der Zulassung unter verschiedenen Umweltbedingungen überwacht werden. Dabei sind Persistenz und Anreicherung von Genen ausschlaggebende Parameter für die Häufigkeit, mit der transformativische Ereignisse im Boden stattfinden.

Inwieweit auch die Aufnahme des Chitinasegens ökologische Relevanz besitzt, sollte entschieden werden, sobald Fragen nach dem natürlich vorkommenden Chitinasegehalt im Boden und dem Selektionsvorteil für die jeweiligen Mikroorganismen beantwortet sind.

7.2.3 Umweltauswirkungen

Anpassung von *Puccinia spp.*, *E. graminis*, *S. nodorum* (Resistenzentwicklung)

Die Resistenzentwicklung von Seiten der Krankheitserreger wird generell beeinflusst von dem Resistenzmechanismus, der genetischen Grundlage der Resistenz, dem Selektionsdruck und der Biologie und Populationsdynamik des Schaderregers. Um eine Resistenz gegenüber Chitinase zu entwickeln, müssten die Pilze entweder den Aufbau ihrer Gerüstsubstanz ändern - ein Vorgang der äusserst unwahrscheinlich ist - oder sie könnten mit der Verstärkung der Chitinhülle reagieren, welches eher vorstellbar ist. Der Selektionsdruck auf die Pilze, Resistenzen zu entwickeln, ist jedoch im Vergleich zu den Zielherbivoren auf Bt-Pflanzen nicht sehr gross. Die Pilze werden nicht vollständig bekämpft, sondern lediglich in ihrer Entwicklung beeinträchtigt. Auf der anderen Seite durchlaufen Pilze während einer Vegetationsperiode viele Generationen und haben dadurch das

Potential, sich schnell an veränderte Umweltbedingungen anzupassen. Die erhöhte Präsenz von Chitinasen im Feld kann deshalb schneller als vermutet zu einer Anpassung der Schaderreger an diese veränderten Bedingungen führen. Eine langfristige Analyse der vorkommenden Stämme und die Beobachtung der Befallsintensität und der Virulenz der Schaderreger während des Anbaus von Chitinase-Weizen ist daher anzuraten. Vergleichbare Virulenzanalysen, die Virulenzverschiebungen einzelner Pathogenstämme erfassen, werden an der FAL für alle wichtigen Krankheitserreger durchgeführt, um eine effektive Resistenzzucht betreiben zu können. Die Bedeutung dieses Screenings wird am Beispiel der Sommerweizensorte <Walter> deutlich, die 1980 in die offizielle Sortenliste der Schweiz aufgenommen wurde. Sie enthält vier Resistenzgene gegen *E. graminis*. Die Anbaufläche stieg während der ersten Anbaujahre stark an, mit der Folge, dass mit nur einem Jahr Verzögerung in der Mehлтаupopulation der Anteil der auf 'Walter' virulenten Rassen bis auf über 20% anstieg (Winzler et al., 1990). Dies führte zu einem stark erhöhten Mehлтаubefall.

Das Monitoring sollte als ein Früherkennungs- und -warnsystem dienen, um Resistenzentwicklung möglichst frühzeitig zu erkennen. Es sollte bei transgenem, pilzresistentem Weizen unbedingt berücksichtigt werden.

Auswirkungen auf Nicht-Zielorganismen

Nicht-Zielkrankheitserreger und -schädlinge

Chitinasen wirken unspezifisch und sind gegenüber Pilzen, die Chitin als Gerüstsubstanz besitzen, breit wirksam. Darüber hinaus können auch phytophage Insekten von Chitinasen beeinträchtigt werden, da auch sie Chitin im Exoskelett und den Wänden des Verdauungstraktes enthalten (Chitin-Synthesehemmer sind wirksame Insektizide). Umgekehrt enthalten viele Krankheitserreger kein Chitin, so dass diese bei weiträumiger Populationsabnahme der wichtigsten Krankheiten und eventuell tierischer Schaderreger einen selektiven Vorteil besitzen und sich ausbreiten könnten. So besitzen zum Beispiel niedere Pilze (Myxomycota, Oomycetes, Plasmodiophora etc.) kein Chitin, sondern Zellulose als Gerüstsubstanz. An Getreide kommt ein Oomycet (*Sclerophthora macrospora*) als obligater Parasit vor. Er verursacht die Narrenkopfkrankheit, eine Krankheit die bislang wirtschaftlich bedeutungslos ist (Obst & Paul, 1993), die aber unter Umständen an Chitinase-Weizen verstärkt auftreten könnte. Auch Bakteriosen wie zum Beispiel die bakterielle Spelzenbräune, verursacht von *Pseudomonas syringae* pv. *atrofaciens* könnten zunehmen. Mögliche Auswirkungen der Chitinase auf Pathogene und tierische Schaderreger gleichzeitig machen komplexe Veränderungen innerhalb des Krankheits- und Schaderregerkomplexes - und auch auf der nächsten trophischen Ebene (s. Nützlinge und Gegenspieler)- von Weizen wahrscheinlich. Der Befall von Chitinase-Weizen mit Krankheits- und Schaderregern sollte deshalb unbedingt anbaubegleitend beobachtet werden.

Durch den Eintrag von Chitinasen in den Boden ist zu erwarten, dass es zu Verschiebungen innerhalb der Pilzgesellschaft kommt. Dadurch kann auf lange Sicht der Verbreitung wirtschaftlich relevanter Oomyceten, wie zum Beispiel *Phytophthora infestans* (Erreger der Kraut- und Knollenfäule an Kartoffeln), Vorschub geleistet werden. Deshalb sollte bei Chitinase-Weizen der Pathogengehalt des Bodens (s.u.) langfristig beobachtet werden.

Nützlinge und Gegenspieler

Im Rahmen der Zulassung muss als ökotoxikologische Prüfung die Nebenwirkung von Chitinase auf Nützlinge untersucht werden. Es ist dabei auf adäquate Versuchsmethodiken zu achten. Neben diesen direkten toxischen Effekten kann der Anbau von Chitinase-Weizen aber auch indirekte Effekte auf Nützlingspopulationen haben, die nach der Zulassung längerfristig beobachtet werden

sollten. So kann es zu Entwicklungsbeeinträchtigungen von Nützlingen kommen, wenn die Beutetiere von schlechter Qualität sind. Das ist möglich, wenn Chitinase auf phytophage Insekten negative Auswirkungen hat. Hat Chitinase in den exprimierten Konzentrationen letale Effekte auf Herbivoren, kann es zu einem Beutemangel und darauffolgend zu Reduktionen in der Abundanz von Nützlingen kommen. Komplexe tritrophische Interaktionen müssen bei der anbaubegleitenden Sicherheitsforschung unbedingt beachtet werden.

Bienen und andere Bestäuber

Die Nebenwirkung von Chitinase auf Bienen stellt ebenfalls einen Bestandteil von Ökotox-Untersuchungen dar. Wie bei Bt-Mais ist dabei das Prüfverfahren auf die Aussagefähigkeit zu überprüfen. Eine anbaubegleitende Forschung ist bei Weizen aber nicht erforderlich, da er von Bienen nicht besucht wird, er also keine Nahrungsquelle für sie darstellt.

Zersetzer

Anbaubegleitend sollte langfristig die Abundanz unterirdisch lebender Regenwürmer, zum Beispiel *Lumbricus terrestris*, beobachtet werden. Auch Nebenwirkungen auf Springschwänze als Vertreter der Insekten sind abzuklären und längerfristig zu beobachten.

Mikrobiologische Diversität und chemische Zusammensetzung des Bodens

Der Eintrag von erheblichen Mengen von Chitinasen in den Boden wird bei persistenter Aktivität vermutlich weitreichende Veränderungen der Mikroorganismenpopulationen, vor allem innerhalb der Pilze, nach sich ziehen. Deshalb ist gerade hier das Monitoring bodenbiologischer Parameter erforderlich. So sind die mikrobielle Biomasse, Aktivität und Diversität aufgrund ihrer Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit anbaubegleitend zu beobachten. Um die Daten interpretieren zu können, sind darüber hinaus physikalische und chemische Parameter mit in die Untersuchungen einzubeziehen. Ein Untersuchungsprogramm könnte analog demjenigen für nachwachsende Rohstoffe (FAT, FAL & IUL, 1997) aufgebaut werden (Einzelheiten s. Kapitel 5).

Spezifische Indikator-Organismen: Mykorrhiza

Neben allgemeinen mikrobiologischen Eigenschaften sollte der Effekt auf mutualistische Pilze der Gattung Mykorrhiza untersucht werden. Sie reagieren empfindlich gegenüber ackerbaulichen Massnahmen und können so eine Indikatorfunktion für Bodenfruchtbarkeit übernehmen (Galli, 1997). Mykorrhizapilze reagieren im Feld auf pilzresistente Kulturpflanzen (Toth et al., 1990), und im Labor konnten vereinzelt Effekte von transgenen chitinase-exprimierenden Pflanzen festgestellt werden (Vierheilig et al., 1995).

Bodenbürtige Pathogene

Durch übermäßige Mengen an Chitinase im Boden ist zu erwarten, dass es zu Veränderungen in der Gesellschaft bodenbürtiger pilzlicher Pathogene kommt, die auf lange Sicht auch andere Kulturen betreffen kann. So kann es im zum Beispiel zu einer Zunahme von *Phytophthora infestans*, dem Erreger der Kraut- und Knollenfäule kommen, der den Kartoffelanbau auf diesem Acker erschweren kann. *P. infestans* ist ein Oomycet, der kein Chitin in der Zellwand enthält und daher von einer Abnahme der Dichte höherer bodenbürtiger Pilze profitieren kann. Das Vorkommen und die Verbreitung pathogener Pilze in Boden sollte möglichst Teil des Bodenmonitorings sein.

Begleitflora und -fauna

Verwandte Wildarten

Als potentieller Kreuzungspartner kommt in der Schweiz *Aegilops cylindrica* in Frage, wobei die Verbreitung dieses Grases sehr gering ist. Bislang wurden drei Populationen im Tessin in Gebieten gefunden, wo Weizen nicht vorrangig angebaut wird. Auch ist die erfolgreiche Hybridisierung der beiden Arten nicht endgültig geklärt; diese Frage ist momentan Gegenstand eines Forschungsprojektes des Nationalfonds (Felber F., Ammann K. & Küpfer P.: Gene flow in selected Swiss crops and related weeds). Dazu kommt, dass Weizen nahezu ausschliesslich selbstbefruchtend ist, Fremdbefruchtung ist je nach Witterung und Sorte unterschiedlich und liegt durchschnittlich bei 5%. Meist blüht er ab, ohne dass die Blüten sich öffnen. Aufgrund der geringen Auskreuzung sind bei der Züchtung und Sortenvermehrung keine Abstände zwischen Feldern vorgeschrieben (Getreide-Saatgutverordnung des Volkswirtschaftsdepartementes, 1994). Die Wahrscheinlichkeit, dass Chitinase-Gene auf die verwandte Grasart übergehen, ist also sehr gering. Dementsprechend ist ein Monitoring nicht unbedingt erforderlich. Falls dennoch Begleitforschung initiiert wird und Hybridisierungen festgestellt werden, sollte die Introgression des Gens in *A. cylindrica* - Populationen und mögliche Auswirkung untersucht werden, zum Beispiel die Veränderungen der Fitness und Populationsdynamik von *A. cylindrica*, des Herbivoren- und Pathogenbefalls, der Mykorrhizierung, unter Umständen der Besiedelung mit endophytischen Pilzen (vgl. Clay, 1988) etc. Für Einzelheiten hierzu sei auf die Teilstudie von Ammann et al. (in Vorbereitung) verwiesen, die sich mit dem Monitoring in Naturräumen befasst.

Das Auskreuzen auf Nachbarmfelder wird unter «Agronomische Aspekte» behandelt.

Allgemeine Begleitflora und Begleitfauna

Der Schutz der Umwelt gewinnt in der Agrarpolitik zunehmend an Bedeutung. Deshalb ist es sinnvoll, die Lebensraumqualität von Chitinase-Weizen allgemein zu evaluieren. Wie bereits in Kapitel 5 dargestellt, könnten folgende Parameter erhoben werden:

Floristische Parameter: Artenvielfalt, Seltenheit, Entwicklungsstadium der Pflanzen, Deckungsgrad.

Faunistische Parameter: Abundanz von Insekten zum Beispiel Laufkäfer, Spinnen, aber auch Sekundärschädlinge, Nützlinge und Regenwürmer (s.o.).

7.2.4 Aspekte der Agronomie und der Nachhaltigkeit

Wichtige agronomische Aspekte beim Anbau von Chitinase-Weizen, die ermittelt werden sollten, sind neben der Charakterisierung des Standortes und der Anbaupraxis der Einsatz von Pestiziden, v.a. der Fungizide und Düngemittel, der Pestizidrückstand (Schadstoffgehalt im Boden und Gewässer) und der Ertrag. Erste Erfahrungen mit Bt-Baumwolle in den USA zeigen, dass der Ertrag geringer sein kann als bei herkömmlichen Sorten (W. Moar, pers. Mitteilung). Dies ist als Hinweis darauf zu sehen, dass zusätzlich exprimierte Gene durchaus Kosten verursachen können und Pflanzen unter befallsfreien Bedingungen eventuell mit Ertragsdepression reagieren können.

Durchwuchs in Folgekultur

Erhöhte Durchwuchsprobleme von Chitinase-Weizen sind nicht zu erwarten.

Vertikaler Gentransfer auf Kulturpflanzen

Pollenflug und Auskreuzung bei Weizen ist vernachlässigbar. Dementsprechend werden bei Züchtungen oder Saatgutvermehrung keine Mindestabstände zwischen den Feldern verlangt sondern lediglich Isolationsabstände, d.h. dass die Felder deutlich voneinander abgetrennt sein müssen (Getreide-Saatgutverordnung des Volkswirtschaftsdepartementes, 1994). Infolgedessen scheinen gewisse Abstände zu biologisch bewirtschafteten Feldern - 47 % der offenen Ackerfläche im biologischen Landbau werden von Wintergetreide eingenommen (Freyer & Hartnagel, 1997) - wünschenswert, jedoch nicht zwingend notwendig zu sein. Es sollten jedoch Maximalkonzentrationen an Chitinasen, die in gentechfreien Produkten enthalten sein dürfen, gesetzlich festgelegt werden.

Qualität und Lagerfähigkeit des Erntegutes

Die konstitutive Chitinase-Expression kann negative Auswirkungen auf die Backqualität des Weizens haben. So könnte zum Beispiel durch die erhöhte Chitinaseexpression (s.o. Genexpression) der Gehalt an Gluten (Glutenin und Gliadin) vermindert sein. Auch kann Chitinase, wenn sie nach der Ernte und dem Mahlen des Korns noch aktiv ist, Hefepilze, die beim Backen eingesetzt werden, in ihrer Wirksamkeit beeinträchtigen. Diese Qualitätsmerkmale werden bei der Sortenprüfung im Rahmen von Backversuchen sorgfältig abgeklärt (s.o.). Falls Veränderungen nach der Zulassung auftreten, sollte eine Meldepflicht der Landwirte bzw. der Müller und Bäcker eingeführt werden.

Es muss weiterhin gewährleistet werden, dass der hohe Chitinaseanteil im Korn keine Auswirkungen auf die Krankheitsanfälligkeit oder die Lagerfähigkeit des Erntegutes besitzt.

Im Hinblick auf die Vorratslagerung und die Lagerung in Genbanken sollten in Begleitstudien die Keimfähigkeit des Weizenkorns nach einem, zwei, fünf und zehn Jahren untersucht werden. Auch wäre es interessant zu beobachten, inwieweit sich der Befall von Vorratskrankheiten und -schädlingen verändert. Es ist denkbar, dass der erhöhte Chitinasegehalt im Korn sich positiv auf den Vorratsschutz auswirkt.

8. Literatur

- Ahl-Goy P., Warren G., White J., Privalle L., Fearing P. & Vlachos D. 1995. Interaction of an insect tolerant maize with organisms in the ecosystem. in: Landsmann, J. & Casper R. (Eds.): Key biosafety aspects of genetically modified organisms. 10.-11. April 1995, Braunschweig. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem, Heft 309. Berlin Wien, Blackwell Wissenschafts-Verlag GmbH.
- Ammann K., Jacot Y. & Rufener Al Mazyad P. 1996. Field release of transgenic crop in Switzerland, an ecological risk assessment. in: Schulte E. & Käppeli O. (Eds.): Gentechnisch veränderte krankheits- und schädlingsresistente Nutzpflanzen - eine Option für die Landwirtschaft?. Bern, SPP Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds. pp. 101-157.
- Ammon H.U. & Bohren, C. 1990. Breitband-Frässeedung von Mais in Wiesen- und Gründungsbestände mit Mulch-Schnitt zwischen den Reihen. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XII, 229-235.
- Ammon H.U. & Scherrer C. 1996. Streifenfrässeedung von Mais in Leguminosen und Grasbestände und gezielte Regulation der Bodenbedeckung mit Glyphosat und Glufosinat. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XV, 275-280.
- Ammon H.U., Bohren C. & Anken T. 1992. Bandfrässeedungen von Mais in grüne Pflanzenbestände mit mechanischer oder chemischer Regulierung der Grünbedeckung. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XIII, 647-656.
- Andow D.A. & Alstad D.N. 1998. F2 Screen for rare resistance alleles. Journal of Economic Entomology 91(3), 572-578.
- Andow D.A. & Hutchison W.D. 1998. Bt-corn resistance management. in: Mellon M. & Rissler J. (Eds.): Now or Never: serious new plans to save a natural pest control. Cambridge Massachusetts, Union of Concerned Scientists. pp. 19-66.
- Andow D.A., Alstad D.N., Pang Y.-H., Bolin P.C. & Hutchison W.D. 1998. Using an F2 screen to search for resistance alleles to *Bacillus thuringiensis* Toxin in European Corn Borer (Lepidoptera: Crambidae). Journal of Economic Entomology, 91(3), 579-584.
- Angle J.S. 1994. Release of transgenic plants: biodiversity and population-level considerations. Molecular Ecology 3, 45-50.
- Barrett K.L., Grandy N., Harrison E.G., Hassan S.A. & Oomen P.A. (Eds.) 1994. Guidance document on regulatory testing procedures for pesticides and non-target arthropods. 28-30 March 1994, IAC Wageningen, The Netherlands. British Library.
- Barton J., Crandon J., Kennedy D. & Miller H. 1997. A model protocol to assess the risks of agricultural introductions. Nature Biotechnology 15, 845-848.
- Behle R.W., McGuire M.R. & Shasha B.R. 1997. Effects of sunlight and simulated rain on residual activity of *Bacillus thuringiensis* formulations. Journal of Economic Entomology 90(6), 1560-1566.
- Benbrook C.M. & Hansen M. 1997. Return to the «Stone-Age» of Pest-Management. EPA Public Meeting, 21 March 1997. Washington D.C., <http://www.pcmac.net/stoneage.htm>.
- BFS (Bundesamt für Statistik) & BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) 1997. Umwelt in der Schweiz. Bern, BFS & BUWAL.

- Bigler F. & Bosshart S. 1992. Der Maiszünsler in der Schweiz - Ausbreitung und Befallssituation 1991. *Landwirtschaft Schweiz* 5(6), 287-292.
- Bilang R. & Potrykus I. 1998. Containing excitement over transplastomic plants. *Nature/Biotechnology* 16, 333-334.
- Birch A.N.E., Geoghegan I.E., Majerus M.E.N., Hackett C. & Allen J. 1997. Interactions between plant resistance genes, pest aphid populations and beneficial aphid predators. Annual Report of the Scottish Crop Research Institute, pp. 68-72.
- Blatter R. & Wolfe M.S. 1996. Die Verwendung molekularbiologischer Technologien zur Erzeugung von Wirtsresistenz gegen Schaderreger - Mögliche Folgen einer Anpassung der Krankheiten und Schaderreger. in: Schulte E. & Käppeli O. (Eds.): *Gentechnisch veränderte krankheits- und schädlingsresistente Nutzpflanzen - Eine Option für die Landwirtschaft?*. Bern, SPP Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds. pp. 254-295.
- Bliffeld M., Mundy J., Potrykus I. & Fütterer J. 1999. Genetic engineering of wheat for increased resistance to powdery mildew disease. *Theoretical and Applied Genetics* 98: 1079-1086.
- BLW (Bundesamt für Landwirtschaft), FAT (Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik Tänikon), FiBL (Forschungsanstalt für Biologischen Landbau), LBL (Landwirtschaftliche Beratungsstelle Lindau) & SRVA (Service romand de vulgarisation agricole Lausanne) (Eds.) 1997: *Ökologische und produktionstechnische Entwicklung landwirtschaftlicher Pilotbetriebe 1991 bis 1996 - Schlussbericht der Nationalen Projektgruppe Öko-Pilotbetriebe*. Tänikon, FAT, 1998.
- Börner H. 1990. *Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*. 6. Auflage. Stuttgart, Ulmer.
- Bosshard A., Eichenberger M. & Eichenberger R. (Auftragsausführenden) 1997. *Nachhaltige Landnutzung in der Schweiz - Konzeptionelle und inhaltliche Grundlagen für ihre Bewertung, Umsetzung und Evaluation*.
- Botterman J. 1996. Pollination control in transgenic oilseed rape and maize. in: *Transgenic plants - from the lab into the field*, March 1-2 1996. Köln-Vogelsang, Gesellschaft für Pflanzenzüchtung e.V 33.
- Brandt P. 1995. *Transgene Pflanzen - Herstellung, Anwendung, Risiken und Richtlinien*. Basel, Birkhäuser.
- Broer I. 1995. Folgenforschung an transgenen Pflanzen: Ein Beitrag zur Technikfolgenabschätzung? in: Albrecht S. & Beusmann V.(Eds.): *Ökologie transgener Nutzpflanzen*. Frankfurt/Main New York, Campus Verlag. pp. 99-109.
- Büchi R. 1993. Resistenz von Insekten gegen Pestizide. *Landwirtschaft Schweiz* 6(4), 235-242.
- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) (Ed.) 1997. *Die Regenwurmfauna von Dauergrünland des Schweizer Mittellandes*. BUWAL Schriftenreihe Umwelt 291. Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).
- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) & FAC (Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene) 1991. *Wegleitung zur Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit*.
- Carozzi N. & Koziel M. (Eds.) 1997. *Advances in Insect Control: The role of transgenic plants*. London, Bristol, Taylor & Francis.
- Clay K. 1988. The ecology and evolution of endophytes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 44, 39-64.

- Crawley M.J., Hails R.S., Rees M., Kohn D. & Buxton J. 1993. Ecology of transgenic oilseed rape in natural habitats. *Nature* 363, 620-623.
- Croft B.A. 1990. *Arthropod biological control agents and pesticides*. New York, Wiley.
- Cummins J.E. 1998. *Natur/Biotechnology* 16, 401.
- Damgaard C. 1998. Modelling the spread of disease resistance genes in natural populations (Abstract). *Ecological risks and prospects of transgenic plants, where do we go from here? A dialogue between biotech industry and science*. 28-31 January 1998, Bern.
- Daniell H., Datta R., Varma S., Gray S. & Lee S.-B. 1998. Containment of herbicide resistance through genetic engineering of the chloroplast genome. *Natur/Biotechnology* 16, 345-348.
- de Zoeten G.A. 1991. Risk Assessment: Do we let history repeat itself? *Phytopathology* 81(6), 585-586.
- de Zoeten G.A. 1995. Virus resistance: biosafety research needs. in: Landsmann J. & Casper R. (Eds.): *Key biosafety aspects of genetically modified organisms*. Biologische Bundesanstalt für Land-Forstwirtschaft Berlin-Dahlem, 10-11 April 1995. Braunschweig Berlin Wien, Blackwell-Wissenschafts Verlag. pp. 11-16.
- Donegan K.K., Palm C.J., Fieland V.J., Porteus L.A., Ganio L.M., Schaller D.L., Bucuo L.Q. & Seidler R.J. 1995. Changes in levels, species and DNA fingerprints of soil microorganisms associated with cotton expressing the *Bacillus thuringiensis* var *kurstaki* endotoxin. *Applied Soil Ecology* 2, 111-124.
- Donegan K.K., Seidler R.J., Fieland V.J., Schaller D.L., Palm C.J., Ganio L.M., Cardwell D.M. & Steinberger Y. 1997. Decomposition of genetically engineered tobacco under field conditions: persistence of the proteinase inhibitor I product and effects on soil microbial respiration and protozoa, nematode and microarthropod populations. *Journal of Applied Ecology* 34, 767-777.
- Dubois D.M. & Ammon H.U. 1997. Habitat-Management of sugar beet pests by a different strategy of weed control. *Proceedings of the 60th IIRB Congress, July 1997, Cambridge (UK)*. pp. 243-251.
- Ebora R.V., Ebora M.M. & Sticklen M.B. 1994. Transgenic potato expressing the *Bacillus thuringiensis* CryIA(c) gene effects on the survival and food consumption of *Phthorimea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae) and *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology* 87, 1122-1127.
- EPA (Environmental Protection Agency). 1997. Pesticide Fact Sheet: *Bacillus thuringiensis* CryIA(b) delta-endotoxin and the genetic material necessary for its production in corn. <http://www.epa.gov/fedrgstr/EPA-PEST/1997/September/Day-10/cry.html>.
- EPA (Environmental Protection Agency). 1998. Federal Register Document, 15 May 1998, Vol. 63, No. 94. www.epa.gov/fedrgstr/EPA-Pest/1998/May/Day-15/p13006.htm.
- EU in Vorbereitung. Draft protocol for the monitoring of European Corn Borer resistance to Bt-maize (Rev.2).
- FAL, RAC & FAW 1998. Schweizerische Referenzmethoden der Eidg. landwirtschaftlichen Forschungsanstalten, Band 2, Bodenuntersuchungen zur Standortcharakterisierung.
- FAL & Uni Bern 1997. Belebte Umwelt. in: Wolfensberger U. & Dinkel, F. (Projektleitung): *Beurteilung nachwachsender Rohstoffe in der Schweiz in den Jahren 1993-1996*. Bern, Bundesamt für Landwirtschaft. pp. 105-143.

- Farinelli L. & Malnoë P. 1996. Heterologous encapsidation and recombination in transgenic plants containing viral sequences. in: Schulte E. & Käppeli O. (Eds.): Gentechnisch veränderte krankheits- und schädlingsresistente Nutzpflanzen - eine Option für die Landwirtschaft?. Bern, SPP Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds. pp. 194-252.
- FAT, FAL & JUL 1997. Bodenfruchtbarkeit. in: Wolfensberger U. & Dinkel F. (Projektleiter): Beurteilung nachwachsender Rohstoffe in der Schweiz in den Jahren 1993-1996. Bern, Bundesamt für Landwirtschaft. pp. 89-103.
- FAW (Eidgenössische Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau) 1994. Richtlinien für das Einreichen von Gesuchen für die Prüfung und Bewilligung von Pflanzenbehandlungsmitteln in der Schweiz. Wädenswil, FAW.
- Finnegan J. & McElroy D. 1994. Transgene inactivation: plants fight back! *Bio/Technology* 12, 883-888.
- Flor H.H. 1955. Host-parasite interaction in flax rust - its genetics and other implications. *Phytopathology* 45, 680-685.
- Fox J.L. 1997. Farmers say Monsanto's engineered cotton drops bolls. *Nature/Biotechnology* 15.November, 1233.
- Franck-Oberaspach S. & Keller B. 1996. Produktesicherheit von krankheitsresistenten Nutzpflanzen: Toxikologie, allergenes Potential, Sekundäreffekte und Markergene. in: Schulte E. & Käppeli O. (Eds.): Gentechnisch veränderte krankheits- und schädlingsresistente Nutzpflanzen - eine Option für die Landwirtschaft? Bern, SPP Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds. pp. 17-100.
- Freyer B. & Hartnagel S. 1997. Biologischer Landbau mit kontinuierlichem Wachstum. in: Bundesamt für Statistik (Ed.): Einblicke in die Schweizerische Landwirtschaft, Ausgabe 1997. Bern, Bundesamt für Statistik. pp. 35-39.
- Fried P.M., Barben H., Keller S., Müller M.D., Winzeler H., Winzeler M. & Weisskopf P. 1993. Experts Report on application possibilities of biotechnology to increase disease and pest resistance of important swiss crop plants. Bern, Schwerpunktprogramm Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds.
- Fuchs M., McFerson J.R., Tricoli D.M., McMaster J.R., Deng R.Z., Boeshore M.L., Reynolds J.F., Russell P.F., Quemada H.D. & Gonsalves D. 1997. Cantaloupe line CZW-30 containing coat protein genes of cucumber mosaic virus, zucchini yellow mosaic virus, and watermelon mosaic virus-2 is resistant to these three viruses in the field. *Molecular Breeding* 3, 279-290.
- Galli U. 1997. Der Einbezug von Methoden aus dem Bereich der Wurzelpilzsymbiose zur Bodenbeurteilung. Literaturstudie. Arbeitsgruppe Vollzug Bodenbiologie (VBB), Projektgruppe Mykorrhiza.
- Garland J.L., Mills A.L. 1991. Classification and characterization of heterotrophic microbial communities on the basis of patterns of community-level sole-carbon-source utilization. *Applied and environmental microbiology* 57(8), 2351-2359.
- Geisler G. 1988. Pflanzenbau, Ein Lehrbuch - biologische Grundlagen und Technik der Pflanzenproduktion. 2. Auflage. Berlin Hamburg, Paul Parey.
- Gould F. 1998. Sustainability of transgenic insecticidal cultivars: integrating pest genetics and ecology. *Annual Review of Entomology* 43, 701-726.
- Gould F., Anderson A., Jones A., Sumerford D., Heckel D.G., Lopez J., Micinski S., Leonard R. & Laster M. 1997. Initial frequency of alleles for resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins in field

- populations of *Heliothis virescens*. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 94, 3519-3523.
- Gray A.J. & Raybould A.F. Reducing transgene escape routes. *Nature* 392, 653-654.
- Haas A. 1998. Der Biolandbau wächst weiter. *Bauernzeitung* 20. März, 11.
- Hanisch C. 1992. Der Petunien-Freilandversuch. Max-Planck-Institut für Züchtungsforschung, Köln. Pflanzenproduktion und Biotechnologie. Brühl, Druck- und Verlags GmbH Becher. pp. 227-237.
- Hardee D.D. & Bryan W.W. 1997. Influence of *Bacillus thuringiensis*-transgenic and nectariless cotton on insect populations with emphasis on the tarnished plant bug (Heteroptera: Miriridae). *Journal of Economic Entomology* 90, 663-668.
- Hilbeck A., Baumgartner M., Fried P.M. & Bigler F. 1998a. Effects of transgenic *Bacillus thuringiensis*-corn-fed prey on mortality and development time of immature *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Environmental Entomology* 27(2), 480-487.
- Hilbeck A., Moar W.J., Pusztai-Carey M., Filippini A. & Bigler F. 1998b. Toxicity of the *Bacillus thuringiensis* Cry1Ab Toxin on the predator *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) using diet incorporated bioassays. *Environmental Entomology* 27(5), 1255-1263.
- Hilbeck A., Moar W.J., Pusztai-Carey M., Filippini A. & Bigler F. accepted. Prey-mediated effects of Cry1Ab toxin and protoxin and Cry2A protoxin on immature fitness of the predator *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Entomologica experimentalis et applicata*.
- Hintermann & Weber AG (Auftragsausführende) 1996. Biodiversitätsmonitoring Schweiz - Bericht zum ersten Teil der Vorbereitungsphase.
- Hoffmann G.M., Nienhaus F., Poehling H.-M., Schönbeck F., Weltzien H.C. & Wilbert H. 1994a. Lehrbuch der Phytomedizin. 3. Auflage. Berlin, Blackwell-Wissenschaftsverlag.
- Hoffmann T., Golz C. & Schieder O. 1994b. Foreign DNA sequences are received by a wild-type strain of *Aspergillus niger* after co-culture with transgenic higher plants. *Current Genetics* 27, 70-76.
- Hofmann W., Mudra A. & Plarre W. 1985. Lehrbuch der Züchtung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Band 2. Spezieller Teil. 2. Auflage. Berlin Hamburg, Paul Parey.
- Horn R. & Friedt W. 1997. Molecular mechanisms of hybrid breeding in sunflower. *Bulletin der Schweizerischen Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften SGPW/SSA* 8, 7.
- Hütter E., Büchi, R., Fried, P. M., Hilbeck, A., Raps, A. & Bigler F. in Vorbereitung. Verwendung transgener schädlingsresistenter Nutzpflanzen in der Schweiz. Bern, BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft).
- James C. 1997. Global status of transgenic crops in 1997. ISAAA Briefs No. 5. Ithaca N.Y., International Service for the Acquisition of Agri-biotech (ISAAA).
- Janinhoff A. 1997. Mais: Zahlen und Fakten. *Mais* 25(4), 137-139.
- Jepson P.C., Croft B.A. & Pratt G.E. 1994. Test system to determine the ecological risks posed by toxin release from *Bacillus thuringiensis* genes in crop plants. *Molecular Ecology* 3, 81-89.
- Kareiva P., Parker I.M. & Pascual M. 1996. Can we use experiments and models in predicting the invasiveness of genetically engineered organisms? *Ecology* 77, 1670-1675.

- Kawchuk L.M., Lynch D.R., Martin R.R., Kozub G.C. & Farries B. 1997. Field resistance to the potato leafroll luteovirus in transgenic and somaclone potato plants reduces tuber disease symptoms. *Canadian Journal of Plant Pathology* 19, 260-266.
- Klinger T. & Ellstrand N.C. Transgene movement via gene-flow: recommendations for improved biosafety assessment (Abstract). Ecological risks and prospects of transgenic plants, where do we go from here? A dialogue between biotech industry and science. 28-31 January 1998, Bern.
- Koskella J. & Stotzky G. 1997. Microbial utilization of free and clay-bound insecticidal toxins from *Bacillus thuringiensis* and their retention of insecticidal activity after incubation with microbes. *Applied and Environmental Microbiology* 63(9), 3561-3568.
- Kowarik I. 1996. Auswirkungen von Neophyten auf Ökosysteme und deren Bewertung. in: UBA (Umweltbundesamt) (Ed.): Langzeitmonitoring von Umwelteffekten transgener Organismen (Arbeitstagung am 5./6. Oktober 1995 in Berlin). Heft 58/96. Berlin, Umweltbundesamt. pp. 119-155.
- Laczko E., Rudaz A. & Aragno M. 1996. Mikrobielle Diversität in Böden - Stabilität von anthropogen beeinflussten oder gestörten Mikroorganismengemeinschaften in Böden. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 81, 279-282.
- Landsmann J. & Graser E. 1998. Elimination of agrobacteria from transgenic plants (Abstract). Ecological risks and prospects of transgenic plants, where do we go from here? A dialogue between biotech industry and science. Bern, 28-31. January 1998. pp. 12.
- Le Pensec L. 1998. Arrêté du 5 février 1998 portant modification du Catalogue officiel des espèces et variétés de plantes cultivées en France (semences de maïs); Art. 3.
- Lehrman S. 1993. Rules eased for US field tests. *Nature* 362, 483.
- Linden D.R., Hendrix P.F., Coleman D.C. & van Vliet P.C.J. 1992. Faunal Indicators of Soil Quality. in: Doran J.W., Coleman D.C., Bezdicek D.F. & Stewart B.A. (Eds.): Defining soil quality for a sustainable environment. 4-5 November 1992. Minneapolis Madison, Soil Science Society of America. pp. 91-106.
- Lius S., Manshardt R.M., Fitch M.M.M., Slightom J.L., Sanford J.C. & Gonsalves D. 1997. Pathogen derived resistance provides papaya with effective protection against papaya ringspot virus. *Molecular breeding* 3, 161-168.
- Lupi C. 1995. Genetic engineering for plant protection - methods, state of the art and applications. Basel, BATS.
- Lynch M.R. (Ed.) 1995. Procedures for assessing the environmental fate and ecotoxicity of pesticides. Essex Aimprint Saffron Walden, Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC-Europe).
- Maeschli C. 1998. Das Leitbild Nachhaltigkeit - Eine Einführung. Nachhaltige Landwirtschaft - Kriterien für Pflanzenzüchtung und Pflanzenproduktion unter besonderer Berücksichtigung des Potentials der modernen Biotechnologie. Basel, BATS.
- Maessen G.D.F. 1997. Genomic stability and stability of expression in genetically modified plants. *Acta Botanica Neerlandica* 46(1), 3-24.
- Malone L.A., Burgess E.P.J., Christeller J.T. & Gatehouse H.S. 1998. In vivo response of honey bee midgut proteases to two protease inhibitors from potato. *Journal of Insect Physiology* 44(2), 141-147.

- McBride K.E., Svab Z., Schaaf D.J., Hogan P.S., Stalker D.M. & Maliga P. 1995. Amplification of a chimeric *Bacillus* gene in chloroplasts leads to an extraordinary level of an insecticidal protein in tobacco. *Bio/Technology* 13, 362-365.
- McGaughey H., Gould F. & Gelernter W. 1998. Bt resistance management. *Nature/Biotechnology* 16.
- Meier, W. 1985. Pflanzenschutz im Feldbau - Tierische Schädlinge und Pflanzenkrankheiten. Frauenfeld, Huber & Co. AG.
- Mellon M. & Rissler J. (Eds.) 1998: Now or Never: Serious new plans to save a natural pest control. Cambridge Massachusetts, Union of Concerned Scientists.
- Meyer P. 1996. Inactivation of gene expression in transgenic plants. in: Tomiuk J., Wöhrmann K. & Sentker A. (Eds): *Transgenic Organisms: Biological and Social Implications*. Basel Boston Berlin, Birkhäuser. pp. 5-19.
- Miller R.V. 1998. Gentransfer zwischen Bakterien in der Natur. *Spektrum der Wissenschaft*, März, 50-56.
- Munch J.C. 1996. Neue methodische Ansätze in der Bodenmikrobiologie - neue Möglichkeiten? *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 81, 3-6.
- Neemann G. & Braun P. 1997. Freisetzungspraxis und ökologische Begleitforschung. in: Brandt P. (Ed.): *Zukunft der Gentechnik*. Basel Boston Berlin, Birkhäuser. pp. 189-207.
- Nielsen K.M., Gebhard F., Smalla K., Bones A.M. & van Elsas J.D. 1997. Evaluation of possible horizontal gene transfer from transgenic plants to the soil bacterium *Acinetobacter calcoaceticus* BD413. *Theoretical and Applied Genetics* 95, 815-821.
- Oberholzer H.-R. & Rek J. 1998. Methoden und Kriterien zur bodenmikrobiologischen Charakterisierung der Bodenfruchtbarkeit. Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit und Schutz der Bodenfruchtbarkeit in der Landwirtschaft, 13. Februar 1998, FAL Zürich-Reckenholz.
- Obst A. & Paul H. 1993. Krankheiten und Schädlinge des Getreides. Gelsenkirchen-Buer, Th. Mann.
- OECD 1993a. Field releases of transgenic plants, 1986-1992. An analysis. Paris, OECD.
- OECD. 1993b. Safety considerations for biotechnology: Scale-up of crop plants. Paris, OECD.
- Oerke E.-C., Dehne H.-W., Schönbeck F. & Weber A. 1994. Crop production and crop protection - estimated losses in major food and cash crops. Amsterdam, Elsevier.
- Omer A.D., Granett J., Dandekar A.M., Driver J.A., Uratsu S.L. & Tang F.A. 1997. Effects of transgenic petunia expressing *Bacillus thuringiensis* toxin on selected lepidopteran pests. *Bio-control Science and Technology* 7, 437-448.
- Onstad D.W. & Gould F. 1998. Modeling the dynamics of adaptation to transgenic maize by european corn borer (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Economic Entomology* 91(3), 585-593.
- Peferoen M. 1997. Insect control with transgenic plants expressing *Bacillus thuringiensis* crystal proteins. in: Carozzi N. & Koziel M. (Eds.): *Advances in insect control: the role of transgenic plants*. London Bristol, Taylor & Francis Ltd. pp.21-48.
- Pham-Delègue M.-H., Picard-Nizou A.-L., Arnold G., Grison R., Toppan A., Olsen L. & Masson C. 1995. Impact of genetically modified rapeseed on insect pollinators (honeybees). in: Casper R. & Landsmann J. (Eds.): *The biosafety results of field tests of genetically modified plants and microorganisms*. May 11-14, 1992, Goslar, Germany. Braunschweig, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft. pp. 209-228.

- Picard-Nizou A.L., Grison R., Olsen L., Pioche C., Arnold G. & Pham-Delègue M.H. 1997. Impact of proteins used in plant genetic engineering: toxicity and behavioral study in the honeybee. *Plant Resistance* 90(6), 1710-1716.
- Picard-Nizou A.L., Pham-Delègue M.H., Kerguelen, V., Douault P., Marilleau R., Olsen L., Grison R., Toppan A. & Masson C. 1995. Foraging behaviour of honey bees (*Apis mellifera* L.) on transgenic oiseed rape (*Brassica napus* L. var. *oleifera*). *Transgenic Research* 4, 270-276.
- Pilcher C.D., Obrycki J.J., Rice M.E. & Lewis L.C. 1997a. Preimaginal development, survival, and field abundance of insect predators on transgenic *Bacillus thuringiensis* corn. *Environmental Entomology* 26(2), 446-454.
- Pilcher C.D., Rice M.E., Obrycki J.J. & Lewis L.C. 1997b. Field and laboratory evaluation of transgenic *Bacillus thuringiensis* corn on secondary lepidopteran pests (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology* 90(2), 669-678.
- Prins T.W. & Zadoks J.C. 1994. Horizontal gene transfer in plants, a biohazard? Outcome of a literature review. *Euphytica* 76, 133-138.
- Regenass-Klotz M. 1998. Grundzüge der Gentechnik. Basel Boston Berlin, Birkhäuser.
- Riegler M. & Stauffer C. 1998. Rekombinante *Bacillus thuringiensis* Toxin Pflanzen in Land- und Forstwirtschaft. Wien, Bundesministerium für Gesundheit und Konsumentenschutz.
- Rissler J. & Mellon M. 1996. The ecological risks of engineered crops. United States of America, Massachusetts Institut of Technology.
- Roush R.T. 1997. Bt-transgenic crops: just another pretty insecticide or a chance for a new start in resistance management?. *Pesticide Science* 51, 328-334.
- SBV (Schweizerischer Bauernverband) (Ed.) 1997. Statistische Erhebungen und Schätzungen über Landwirtschaft und Ernährung.
- SBV (Schweizerischer Bauernverband)/AST 1998. www.agri.ch.
- Schachermayr G. 1994. Identification and localization of molecular markers linked to leaf rust resistance genes in wheat (*Triticum aestivum* L.). Thesis, Zürich, Swiss Federal Institute of Technology.
- Schlüter K. & Potrykus I. 1996. Horizontaler Gentransfer von transgenen Pflanzen zu Mikroorganismen (Bakterien und Pilzen) und seine ökologische Relevanz. in: Schulte E. & Käppeli O. (Eds.): Gentechnisch veränderte Krankheits- und schädlingsresistente Nutzpflanzen - eine Option für die Landwirtschaft? Bern, SPP Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds. pp. 159-191.
- Schuler T., Poppy G.M., Kerry B.R. & Denholm I. 1998. Insect-resistant transgenic plants. *Tibtech* 16, 168-175.
- Schulte E. & Käppeli O. (Eds.) 1996. Gentechnisch veränderte krankheits- und schädlingsresistente Nutzpflanzen - Eine Option für die Landwirtschaft? Bern, Schwerpunktprogramm Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds.
- Schütte G. 1995. Pflanzenschutz mit Hilfe der Gentechnik am Beispiel einer virusresistenten Zuckerrübensorte. Denkbare Folgen, Risiken und offene Fragen. in: Albrecht S. & Beusmann V. (Eds.): Ökologie transgener Nutzpflanzen. Frankfurt New York, Campus Verlag. pp. 183-213.
- Sebesta K., Farkas J., Horska K. & Vankova J. 1981. Thuringiensin, the Beta-exotoxin of *Bacillus thuringiensis*. in: Burges H.D. (Ed.): Microbial Control of Pests and Plant Diseases 1970-1980. London, Academic Press. pp. 249-281.

- Shewry P.R., Tatham A.S., Barro F., Barcelo P. & Lazzeri P. 1995. Biotechnology of breadmaking: unraveling and manipulation the multi-protein gluten complex. *Bio/Technology* 13, 1185 ff.
- Sims S.R. 1995. *Bacillus thuringiensis* var *kurstaki* (CryIA(c)) protein expressed in transgenic cotton: effects on beneficial and other non-target insects. *Southwestern Entomologist* 20(4), 493-500.
- Sims S.R. & Holden L.R. 1996. Insect Bioassay for determining soil degradation of *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* CryIA(b) protein in corn tissue. *Environmental Entomology* 25(3), 659-664.
- Sims S.R. & Ream J.E. 1997. Soil inactivation of the *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* CryIIA insecticidal protein within transgenic cotton tissue: laboratory microcosm and field studies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45, 1502-1505.
- Smirnoff W.A. & Heimpel A.M. 1961. Notes on the pathogenicity of *Bacillus thuringiensis* var. *thuringiensis* Berliner for the earthworm, *Lumbricus terrestris* Linnaeus. *Journal of Insect Pathology* 3, 403-408.
- Snow A.A. & Palma P.M. 1997. Commercialization of transgenic plants: potential ecological risks. *BioScience* 47(2), 86-96.
- Somerville L. & Greaves M.P. 1987. Pesticide effects on soil microflora. London New York Philadelphia, Taylor & Francis.
- SRU (Rat von Sachverständigen für Umweltfragen) 1998. Umweltprobleme der Freisetzung und des Inverkehrbringens gentechnisch veränderter Pflanzen. in: SRU (Ed.): Umweltgutachten 1998. Stuttgart, Metzler-Poeschel. pp. 267-312.
- Staub T. 1991. Fungicide resistance: practical experience with antiresistance strategies and the role of integrated use. *Annual Review of Phytopathology* 29, 421-442.
- Stewart C.N. Jr. & Prakash C.S. 1998. Chloroplast-transgenic plants are not a gene flow panacea. *Nature/Biotechnology* 16, 401.
- Stewart C.N., All Jr. J.N., Raymer P.L. & Ramachandran S. 1997. Increased fitness of transgenic insecticidal rapeseed under insect selection pressure. *Molecular Ecology* 6, 773-779.
- Tabashnik B.E. 1994. Evolution of resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Annual Review of Entomology* 39, 47-79.
- Tapp H. & Stotzky G. 1995. Dot blot enzyme-linked immunosorbent assay for monitoring the fate of insecticidal toxins from *Bacillus thuringiensis* in soil. *Applied and Environmental Microbiology* 61(2), 602-609.
- Thomas P.E., Kaniewski W.K. & Lawson E.C. 1997. Reduced field spread of potato leafroll virus in potatoes transformed with the potato leafroll virus coat protein gene. *Plant Disease* 81, 1447-1453.
- Tomlin A.D. 1994. Transgenic plant release: comments on the comparative effects of agriculture and forestry practices on soil fauna. *Molecular Ecology* 3, 51-52.
- Torgersen H. 1996. Ökologische Effekte von Nutzpflanzen - Grundlage für die Beurteilung transgener Pflanzen? Wien, Umweltbundesamt.
- Toth R., Toth D., Starke D. & Smith D.R. 1990. Vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization in *Zea mays* affected by breeding for resistance to fungal pathogens. *Canadian Journal of Botany* 68, 1039-1044.

- Turco R.F., Kennedy A.C. & Jawson M.D. 1994. Microbial indicators of soil quality. in: Doran J.W., Coleman D.C., Bezdicek D.F. & Stewart B.A. (Eds.): Defining soil quality for a sustainable environment. 4-5 November 1992. Minneapolis. Madison, USA. Soil Science Society of America, Inc. pp. 73-90.
- van der Hoeven C., Dietz A. & Landsmann J. 1991. Latente Agrobakterien in transgenen Pflanzen nachgewiesen. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes (Braunschweig) 43, 249-251.
- Vierheilig H., Alt M., Lange J., Gut-Rella M., Wiemken A. & Boller T. 1995. Colonization of transgenic tobacco constitutively expressing pathogenesis-related proteins by the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mossae*. Applied and Environmental Microbiology 61(8), 3031-3034.
- Winzeler M., Streckeisen Ph., Winzeler H. & Fried P.M. 1990. Züchtung auf dauerhafte Mehltreue-sistenz bei Weizen und Dinkel. Vereinigung österreichischer Pflanzenzüchter, Arbeitstagung 1990 der "Arbeitsgemeinschaft der Saatzuchtleiter" innerhalb der Vereinigung österreichischer Pflanzenzüchter, 20.-22. November 1990. Irnding, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, pp. 173-179.
- Yu L., Berry R.E. & Croft B.A.. 1997. Effects of *Bacillus thuringiensis* toxins in transgenic cotton and potato on *Folsomia candida* (Collembola: Isotomidae) and *Oppia nitens* (Acari: Oribatidae). Journal of Economic Entomology 90(1), 113-118.
- Zelles L., Bai Q.Y., Beck T. & Beese F. 1992. Signature fatty acids in phospholipids and lipopolysaccharides as indicators of microbial biomass and community structure in agricultural soils. Soil Biol. Biochem 24(4), 317-323.
- Zscheischler J., Estler M.C., Staudacher W., Gross F., Burgstaller G., Streyl H. & Rechmann T. 1990. Handbuch Mais - Umweltgerechter Anbau, Wirtschaftliche Verwertung. Frankfurt, Verlagsunion Agrar, DLG-Verlags-GmbH.

Anhang

Tabelle I: Erforderliche Angaben bei Gesuchen für die Freisetzung und Inverkehrbringung von gentechnisch veränderten Pflanzen in der Schweiz (Freisetzungsverordnung FSV). Die Angaben sind der Richtlinie 90/220/EG, Anhang II B der Europäischen Union entnommen.

Bereich	FSV - CH
Allgemeine Informationen	<ul style="list-style-type: none"> Name und Anschrift des Anmelders Name, Qualifikation und Erfahrung des verantwortlichen Wissenschaftlers Bezeichnung des Vorhabens
Empfänger- oder Elternpflanzen:	
Bezeichnung	Familie, Gattung, Spezies, Unterspezies, Zuchtlinie/Sorte, Trivialbezeichnung
Fortpflanzung	<ul style="list-style-type: none"> Form(en) der Fortpflanzung gegebenenfalls spezielle, die Fortpflanzung beeinflussende Faktoren Generationsdauer geschlechtliche Kompatibilität mit anderen Kultur- oder Wildpflanzenarten
Überlebensfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> Überlebens- und Dormanzstrukturen gegebenenfalls spezielle, die Überlebensfähigkeit beeinflussende Faktoren
Verbreitung	<ul style="list-style-type: none"> Art und Umfang der Verbreitung gegebenenfalls spezielle, die Verbreitung beeinflussende Faktoren Geographische Verbreitung der Pflanze Bei Pflanzenarten, die in Europa normalerweise nicht angebaut werden: Beschreibung des natürlichen Lebensraumes, inklusive Information über Epiphyten, Parasiten, Konkurrenten und Symbionten
Wechselwirkungen	möglicherweise bedeutsame Wechselwirkungen der Pflanze mit nicht-pflanzlichen Organismen im Ökosystem, in dem sie normalerweise angebaut wird, inklusive Information über toxische Effekte auf Menschen, Tiere oder andere Organismen
Vektor/Gentechnische Veränderung	<ul style="list-style-type: none"> Beschreibung der angewandten Verfahren Art und Herkunft des verwendeten Vektors Grösse, Quelle des Spenderorganismus und geplante Funktion jedes konstituierenden Fragments, das für Transfer vorgesehen ist
Genetisch veränderte Pflanze	<ul style="list-style-type: none"> Eingeführte oder veränderte Merkmale und Eigenschaften Tatsächlich eingeführte/deletierte Sequenzen: <ul style="list-style-type: none"> Grösse, Struktur des Inserts und Verfahren zu seiner Charakterisierung inklusive Information über Teile des Vektors oder Träger von Fremd-DNA, der in der Pflanze verbleibt Deletion: Grösse und Funktion Lage des Inserts (Chromosom, Chloroplast, Mitochondrium, nicht-integriert) und Verfahren zu seiner Bestimmung Kopienzahl des Inserts Expression: <ul style="list-style-type: none"> Information über Expression und Verfahren zu seiner Bestimmung Pflanzenteile in denen das Insert exprimiert wird (z.B. Wurzeln, Stiel, Pollen) Unterschiede gentechnisch veränderte Pflanze / Empfängerpflanze: <ul style="list-style-type: none"> Form(en) und/oder Rate der Fortpflanzung Verbreitung Überlebensfähigkeit genetische Stabilität des Inserts Transfer von genetischem Material auf andere Organismen Toxische Effekte auf menschliche Gesundheit und Umwelt, hervorgerufen durch genetische Veränderung Mechanismus der Wechselwirkung zwischen gentechnisch veränderten Pflanze und Zielorganismen (falls zutreffend.) Möglicherweise bedeutsame Wechselwirkungen mit Nichtzielorganismen Beschreibung von Nachweis- und Identifizierungsverfahren Information über frühere Freisetzungsversuche, falls vorhanden
Ort des Freisetzungsversuchs	<ul style="list-style-type: none"> Lage/Grösse des Versuchsgeländes Beschreibung des Ökosystems, einschl. Klima, Flora, Fauna Vorhandensein geschlechtlich kompatibler, verwandter Arten von Wild- oder Kulturpflanzen Nähe zu Schutzgebieten inklusive anerkannte geschützte Biotope, die betroffen werden könnten
Durchführung des Freisetzungsversuchs	<ul style="list-style-type: none"> Zweck voraussichtlicher Zeitpunkt und Dauer Verfahren für Ausbringen ins Versuchsgelände Verfahren zur Vorbereitung und Überwachung des Versuchsgeländes vor, während und nach dem Versuch, inklusive Anbaupraktiken und Ernteverfahren ungefähre Anzahl Pflanzen oder Pflanze pro m²

Überwachung, Kontrolle, Abfallentsorgung, Notfallpläne (nur bei Freisetzungsversuch)	<ul style="list-style-type: none"> • Vorsichtsmaßnahmen im Hinblick auf: <ul style="list-style-type: none"> - Entfernungen zu geschlechtlich kompatiblen Pflanzenarten - Massnahmen zur Minimierung/Vermeidung von Pollen- oder Samenverbreitung • Verfahren zur Behandlung des Geländes nach Versuch • Verfahren zur Behandlung der Pflanzen, inkl. Abfall, nach dem Versuch • Überwachungsmassnahmen und -techniken • Notfallpläne
Umweltauswirkungen	<ul style="list-style-type: none"> • Wahrscheinlichkeit einer gegenüber Empfänger- oder Elternpflanzen gesteigerten Persistenz in landwirtschaftlichen Lebensräumen bzw. einer gesteigerten Invasivität in natürliche Lebensräume • Vor- oder Nachteile gegenüber geschlechtlich kompatiblen Pflanzenarten, die aus dem genetischen Transfer von der gentechnisch veränderten Pflanze resultieren könnten • mögliche Umweltauswirkungen der Wechselwirkung zwischen der gentechnisch veränderten Pflanze und den Zielorganismen (falls zutreffend) • mögliche Umweltauswirkungen aufgrund von potentiellen Wechselwirkungen mit Nichtzielorganismen

Weltweit für den Anbau zugelassene Varietäten (Quellen: www.aphis.usda.gov; www.rki.de; www.gibip.org; Stand: August 1998).

Tabelle II: Pflanzen mit Herbizidresistenz

Land	Pflanze	Eigenschaft	zugel. seit
USA	Baumwolle (Calgene)	Bromoxynil tolerant	15.02.94
	Baumwolle (Monsanto)	Glyphosat tolerant	11.07.95
	Baumwolle (Du Pont)	Sulfonylhurea tol.	25.01.96
	Baumwolle (Calgene)	Bromoxynil tol. + Insektenresistenz	30.04.97
	Mais (Monsanto)	Glyphosat tolerant + Insektenresistenz	27.05.97
	Mais (Monsanto)	Glyphosat tolerant	18.11.97
	Mais (AgrEvo)	Phosphinothricin tolerant	22.06.95
	Mais (DeKalb)	Phosphinothricin tolerant	19.12.95
	Mais (Plant Genetic Sys.)	Phosphinothricin tol. + männl. steril	22.02.96
	Mais (AgrEvo)	Phosphinothricin tol. + Insektenres.	08.05.98
	Mais (Pioneer)	Phosphinothricin tol. + männl. steril	14.05.98
	Raps (AgrEvo)	Phosphinothricin tol.	29.01.98
	Sojabohne (Monsanto)	Glyphosat tolerant	19.05.94
	Sojabohne (AgrEvo)	Phosphinothricin tolerant	31.07.96
Sojabohne (AgrEvo)	Phosphinothricin tolerant	30.04.98	
Zuckerrübe (AgrEvo)	Phosphinothricin tolerant	28.04.98	
CAN	Raps (Monsanto)	Glyphosat tolerant	1995
	Raps (AgrEvo)	Phosphinothricin tolerant	1995
	Raps (AgrEvo/PGS)	Phosphinothricin tol. + männl. steril	1996
	Raps (Rhône-Poulenc)	Bromoxynil tolerant	1998
	Flax (Univ. Saskatchewan)	Sulfonylhurea tolerant	1994
	Sojabohne (Monsanto)	Glyphosat tolerant	1997
F	Tabak (Seita)	Bromoxynil tolerant	1994
	Mais (Ciba Geigy)	Phosphinothricin tol. + Insektenres.	1997
	Mais (AgrEvo)	Phosphinothricin tolerant	1998
	Raps (2 Linien) (Plant Gen. Sys.)	Phosphinothricin tol. + männl. steril	1997
GB	Raps (Plant Gen. Syst.)	Phosphinothricin tol. (Markergeren) + männl. steril	1996*
		Glyphosat tolerant	
	Sojabohne (Monsanto)	Phosphinothricin tolerant	1996**
	Raps (AgrEvo)		1998**
NL	Radicchio (Bejo Zaden BV)	Phosphinothricin tol. + männl. steril	1996***

* = (noch) nicht für Lebensmittel- oder Futtermittelzwecke

** = Import, Lagerung; Verarbeitung; kein Anbau in der EU

*** = nur zur Saatguterzeugung

Tabelle III: Pflanzen mit Insektenresistenz

Land	Pflanze	Eigenschaft	zugel. seit
USA	Baumwolle (Monsanto)	Insektenresistenz	22.06.95
	Baumwolle (Calgene)	Insektenres. + Bromoxynil tol.	30.04.97
	Mais (Monsanto)	Insektenresistenz	22.08.95
	Mais (Monsanto)	Insektenresistenz	15.03.96
	Mais (Monsanto)	Insektenres. + Glyphosat tol.	27.05.97
	Mais (Ciba Geigy)	Insektenresistenz	17.05.95
	Mais (Northrup King)	Insektenresistenz	18.01.96
	Mais (DeKalb)	Insektenresistenz	28.03.97
	Mais (AgrEvo)	Insektenres. + Phosphinothricin tol.	08.05.98
	Kartoffel (Monsanto)	Insektenresistenz	02.03.95
	Kartoffel (Monsanto)	Insektenresistenz	03.05.96
	Tomate (Monsanto)	Insektenres. + Neomycin res.	26.03.98
	CAN	Mais (Novartis)	Insektenresistenz
Mais (Novartis)		Insektenresistenz	1996
Mais (Mycogen)		Insektenresistenz	1996
Mais (Monsanto)		Insektenresistenz	1997
Mais (Pioneer)		Insektenresistenz	1997
Kartoffel (Monsanto)		Insektenresistenz	1997
Baumwolle (Monsanto)		Insektenresistenz	1997
AUS	Baumwolle (Monsanto)	Insektenresistenz	1996
F	Mais (Ciba Geigy)	Insektenres. + Phosphinothricin tol.	1997
	Mais (Monsanto)	Insektenresistenz	1998
GB	Mais (Northrup)	Insektenresistenz	1998**

** = Import, Lagerung, Verarbeitung; kein Anbau in der EU

Tabelle IV: Pflanzen mit Virusresistenz

Land	Pflanze	Eigenschaft	zugel. seit
USA	Kürbis (Upjohn)	ZYMV/WMV2 res.	07.12.94
	Kürbis (Asgrow)	CMV/WMV/ZYMV res.	14.06.96
	Papaya (Cornell U)	VR/PRV res.	05.09.96
China	Tomate		1994 (?)
	Tabak	CMV/TMV res.	1992

Tabelle V: Pflanzen mit Metabolismusänderungen

Land	Pflanze	Eigenschaft	zugel. seit
USA	Tomate (Calgene)	Fruchtreifeprozess	19.10.92
	Raps (Calgene)	Ölprofil	31.10.94
	Tomate (Calgene)	Fruchtreifeprozess	03.10.94
	Tomate (Calgene)	Fruchtreifeprozess	18.11.94
	Tomate (Calgene)	Fruchtreifeprozess	23.03.95
	Tomate (Calgene)	Fruchtreifeprozess	28.07.95
	Tomate (Calgene)	Fruchtreifeprozess	09.10.96
	Tomate (Monsanto)	Fruchtreifeprozess	27.09.95
	Tomate (DNA Plant Tech)	Fruchtreifeprozess	17.01.95
	Tomate (Zeneca & Petos.)	verm. Polygalacturonase-Gehalt in Früchten	06.06.95
	Tomate (Agritope)	Fruchtreifeprozess	27.03.96
	Sojabohne (Du Pont)	Ölprofil	07.05.97
	CAN	Tomate (Calgene)	Fruchtreifeprozess
Tomate (DNAP)		Fruchtreifeprozess	1997
AUS	Nelke (Florigene Pty)		1995
NL	Nelke (Florigene Europe B.V.)	Blütenfarbe	1998

Tabelle VI: Pflanzen mit männlicher Sterilität

Land	Pflanze	Eigenschaft	zugel.seit
USA	Mais (Plant Genet. Syst.)	Männl. steril + Phosphinothricin tol.	22.02.96
	Mais (Pioneer)	Männl. steril + Phosphinothricin tol.	14.05.98
	Cichorium intypus (Bejo)	Male sterile	07.11.97
CAN	Raps (AgrEvo/PGS)	Männl. steril + Phosphinothricin tol.	1996
GB	Raps (Plant Genet. Syst.)	Männl. steril + Phosphinothricin tol.	1996*
NL	Radicchio	Männl. steril + Phosphinothricin tol.	1996**
F	Raps (Plant Genet. Syst.)	Männl. steril + Phosphinothricin tol.	1997

* = (noch) nicht für Lebensmittel- oder Futtermittelzwecke

** = nur für Saatguterzeugung

Laufende Verfahren für die Inverkehrbringung in der USA und der EU (Quellen: www.aphis.usda.gov; www.rki.de; Stand: 15.07.98)

Tabelle VII: Pflanzen mit Herbizidresistenz

Land	Pflanze	Eigenschaft	Antrag gestellt
F	Mais (AgrEvo)	Phosphinothricin tol.	1995
GB	Raps (AgrEvo)	Phosphinothricin tol. 1995	
D	Raps (AgrEvo)	Phosphinothricin tol.	1996
NL	Radicchio (Bejo Zaden BV)	Phosphinothricin tol. + männl. steril	1995
	Mais (De Kalb)	Glyphosat tol. + Insektenres.	1997
B	Raps (Plant Gen. Syst.)	Phosphinothricin tol. + männl. steril	1995
DK	Futterrübe (Trifolium)	Glyphosat tol.	1997
E	Baumwolle (Monsanto)	Glyphosat tol.	1997

Tabelle VIII: Pflanzen mit Insektenresistenz

Land	Pflanze	Eigenschaft	Antrag gestellt
USA	Kartoffel (Monsanto)	Insektenres. + PLRV res.	23.07.97
	Kartoffel (Monsanto)	Insektenres. + PVY res.	05.12.97
F	Mais (Pioneer)	Insektenresistenz	1995
NL	Mais (De Kalb)	Insektenres. + Glyphosat tol.	1997
E	Baumwolle (Monsanto)	Insektenresistenz	1997

Tab. IX: Pflanzen mit Virusresistenzen

Land	Pflanze	Eigenschaft	Antrag gestellt
USA	Kartoffel	PLRV res. + Col. res.	23.07.97
	Kartoffel (Monsanto)	PVY res.+ Col res.	05.12.97

Tabelle X: Pflanzen mit Metabolismusveränderungen

Land	Pflanze	Eigenschaft	Antrag gestellt
NL	Kartoffeln ('AVEBE')	Stärkezusammensetzung	1995
E	Tomate (ZENECA)	Verzögerte Fruchtreife	1997
S	Kartoffeln (Amylogen)	Stärkezusammensetzung	1996

Tabelle XI: Pflanzen mit männlicher Sterilität

Land	Pflanze	Eigenschaft	Antrag gestellt
NL	Radicchio (Bejo Zaden BV)	Männl. steril + Phosphinothricin tol.	1995
B	Raps (Plant Genetic Sys.)	Männl. steril + Phosphinothricin tol.	1995

Abbildungen

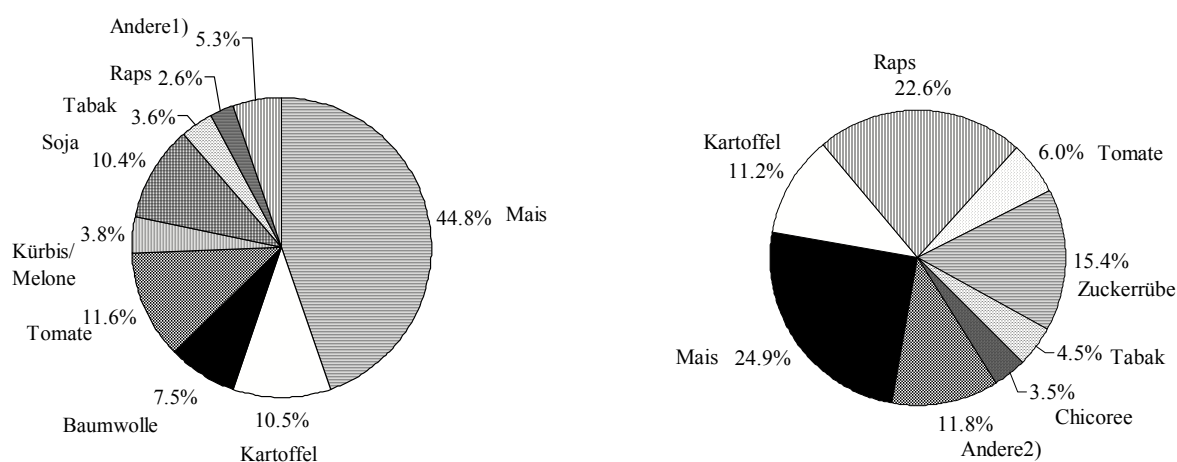


Abb. A: Anteil Kulturpflanzen an den Freisetzungsversuchen in den USA (links, gesamt 3169) und der EU (rechts, gesamt 1051) von 1987 bis 1997.

1) = Reis, Weizen, Alfalfa, Gurke, Sonnenblume, Salat, Apfel, Erdnuss

2) = u.a. Baumwolle, Kohl, Weizen, Sojabohne, Ringelblume, Melone

(Quellen: www.aphis.usda.gov; www.rki.de)

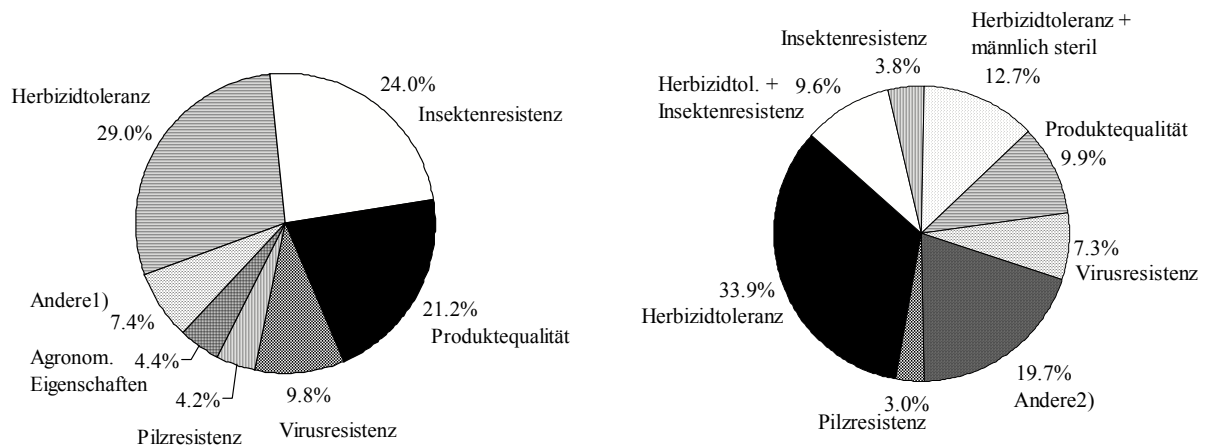


Abb. B: Eigenschaften der Pflanzen aus Freisetzungsversuchen in den USA (links, gesamt 3652) und der EU (rechts, gesamt 1049).

- 1) = Markergene, Bakterienresistenz, Nematodenresistenz
- 2) = u.a. Herbizidtoleranzen + Kombination, Inhaltsstoffe, Nitratstoffwechsel, Bakterienresistenz (Quellen: www.aphis.usda.gov; www.rki.de)

Danksagung

Wir möchten all denjenigen Kolleginnen und Kollegen der FAL danken, die bei der Erstellung dieser Arbeit mitgeholfen haben. Besonderer Dank gilt Prof. W. Moar (Auburn University, USA), Dr. H.-R. Oberholzer, Dr. J. Rek, Dr. M. Winzeler und M. Menzi (FAL), Prof. Beat Keller (Uni Zürich), Dr. C. Sautter (ETH) und schliesslich Dr. F. Pythoud und Dr. U. Jenal (BUWAL), die mit ihrem Fachwissen und der steten Bereitschaft zur Diskussion wesentlich zum Gelingen dieser Studie beigetragen haben. Wir bedanken uns weiterhin bei Dr. I. Nöh (UBA Berlin) und Frau Gisela Wicke (Niedersächsisches Landesamt für Ökologie) für die Informationen, die sie uns zukommen liessen.

Schliesslich bedanken wir uns bei Frau Dr. Schulte von der BATS für die hilfreiche Zusammenarbeit.