

Hintergrundstudie 3: Risiken der Nutzung der Gentechnik in der Landwirtschaft

Eigenmaßnahme der GTZ

Freiburg, 28.07.04

„Biotechnologie im Pflanzenschutz“
(99.9176.1-001.00)

Statusbericht Gentechnik in der
Landwirtschaft von Entwicklungsländern

Im Auftrag der

Deutschen Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit
GmbH

Öko-Institut e.V.
Geschäftsstelle Freiburg
Postfach 6226
D-79038 Freiburg
Tel.: 0761-4 52 95-0

Autoren:

Dipl. Biol. Holger Christ, Freiburg
Dipl. Biol. Ruth Brauner, Freiburg

Büro Darmstadt
Rheinstr. 95
D-64295 Darmstadt
Tel.: 06151-8191-0

Büro Berlin
Novalisstraße 10
D-10115 Berlin
Tel.: 030-28 04 86 80

**Eigenmaßnahme der GTZ
„Biotechnologie im Pflanzenschutz“ (99.9176.1–001.00)
Statusbericht Gentechnik in der Landwirtschaft von
Entwicklungsländern**

**Hintergrundstudie 3:
Risiken der Nutzung der Gentechnik in der
Landwirtschaft**

Autoren:

Dipl. Biol. Holger Christ, Freiburg

Dipl. Biol. Ruth Brauner, Freiburg

Bereich Biodiversität, Ernährung und Landwirtschaft

1	Einleitung.....	1
2	Ökologische Risiken.....	2
2.1	Auskreuzung.....	2
2.1.1	Biologische Grundlagen.....	2
2.1.2	Gen-Transfer in lokale Nutzpflanzensorten	3
2.1.3	Gen-Transfer in Wildpflanzen	5
2.2	Schädigung von Organismen	8
2.2.1	Auswirkungen von Stoffwechselprodukten	9
2.2.2	Auswirkungen veränderter Bewirtschaftungsformen	10
2.3	Entstehung problematischer Unkräuter	12
2.4	Auswirkungen auf Schadorganismen	12
2.4.1	Anfälligkeit für Schadorganismen	12
2.4.2	Entstehung resistenter und Auftreten neuer Schadorganismen	13
2.5	Auswirkungen auf Bodenorganismen	15
2.6	Auswirkungen auf abiotische Ressourcen.....	16
2.7	Auswirkungen auf die agrarische und landschaftliche Diversität.....	18
3	Gesundheitliche Risiken.....	20
3.1	Allergologische und toxische Wirkungen.....	20
3.2	Vermischung von Futtermittel- und Nahrungsmittelproduktion.....	22
3.3	Einsatz von Pflanzenschutzmitteln	23
3.4	Förderung einseitiger Ernährung.....	24
4	Zusammenfassung und Fazit.....	25
5	Literatur	27
	Kommentierte Liste von Überblicksliteratur und Webseiten.....	36

1 EINLEITUNG

In Entwicklungsländern stellt der Agrarsektor zumeist die Lebensgrundlage eines großen Teils der Bevölkerung dar. Die Entwicklung transgener Nutzpflanzen setzt entsprechende wissenschaftliche und finanzielle Kapazitäten voraus. Vor allem letztere sind in Entwicklungsländern überwiegend nicht gegeben. Die Verwendung des Saatgutes von gentechnisch veränderten Pflanzen ist hingegen prinzipiell auch für Landwirte in Entwicklungsländern möglich, sofern sie finanziell in der Lage sind, anfallende Lizenzgebühren zu zahlen. Ob transgene Nutzpflanzen ökologisch und gesundheitlich vorteilhaft sind, soll im Rahmen dieser Studie speziell für Entwicklungsländer diskutiert werden.

Durch die jeweilige politische und gesellschaftliche Situation sowie durch die naturräumlichen Gegebenheiten ist es durchaus möglich, dass in Entwicklungsländern transgene Sorten andere Auswirkungen haben als in Europa oder in Nordamerika. Unter anderem sind politische Instabilität, eine hohe Biodiversität und die Tatsache, dass sich die Herkunftszentren vieler Nutzpflanzenarten in Entwicklungsländern befinden zu berücksichtigen.

Da bislang der kommerzielle Anbau transgener Nutzpflanzen fast ausschließlich auf die USA, Argentinien, Kanada, China und Brasilien beschränkt ist (James 2003), liegen vor allem aus diesen Ländern Erfahrungen über ökologische und gesundheitliche Auswirkungen vor. Wissenschaftliche Untersuchungen zu den ökologischen Risiken existieren hauptsächlich aus Europa, sowie aus Nordamerika und China. Da entsprechende Daten aus anderen Ländern kaum vorliegen, wird nachfolgend versucht, die Ergebnisse auf die Situation in Entwicklungsländern zu übertragen. Dadurch können die ökologischen Risiken jedoch nur unzureichend für diese Länder vorhergesagt werden.

2 ÖKOLOGISCHE RISIKEN

Als ökologische Risiken werden im Rahmen dieser Studie alle Auswirkungen eines Anbaus von transgenen Pflanzen betrachtet, die sich nachteilig auf die Biodiversität, die Funktionen von Ökosystemen oder die abiotischen Ressourcen auswirken.

Nach der Datenbank „Biotechnologies in Developing Countries“ der FAO (2004a) werden Feldversuche in Ägypten, Argentinien, Bolivien, Brasilien, China, Kolumbien, Kuba, Honduras, Indien, Indonesien, Kenia, Nordkorea, Mexiko, Peru, Philippinen, Serbien-Montenegro, Südafrika, Thailand, Venezuela und Zimbabwe durchgeführt. Die in Feldversuchen angebauten Nutzpflanzen sind Alfalfa, Ananas, Bananen, Baumwolle, Bohnen, Chili, Erdbeere, Erdnuss, Eukalyptus, Gurke, Karotten, Kartoffeln, Kohl, Kürbis, Lein, Mais, Maniok, Melone, Papaya, Pappeln, Paprika, Petunien, Raps, Reis, Sonnenblumen, Soja, Süßkartoffeln, Tabak, Tomate, Weizen, Zucchini, Zuckerrohr und Zuckerrüben. Die Durchführung von Feldversuchen beinhaltet jedoch nicht automatisch auch die Betrachtung ökologischer Folgen der Freisetzung. Für die meisten Nutzpflanzen wird keine begleitende Sicherheitsforschung durchgeführt.

Die ökologischen Risiken für alle in Feldversuchen angebauten Nutzpflanzen in jeder Region spezifisch vorherzusagen, würde den Rahmen der vorliegenden Studie sprengen. Außerdem sind ökologische und gesundheitliche Risiken davon abhängig, welche spezifische neue Eigenschaft eine transgene Pflanze besitzt. Daher wurde der Schwerpunkt auf die verfügbaren wissenschaftlichen Untersuchungen und Erfahrungen aus dem kommerziellen Anbau von bereits zugelassenen transgenen Nutzpflanzen gelegt.

Wie eingangs erwähnt, sind die ökologischen Risiken transgener Nutzpflanzen in Entwicklungsländern aufgrund der vergleichsweise schlechten Datengrundlage schwieriger zu ermitteln. Auch die FAO (2004b) weist in ihrem Bericht „the state of food and agriculture 2003-04“ darauf hin, dass das ökologische Risiko transgener Nutzpflanzen in denjenigen Ländern besonders hoch ist, in denen die Kapazitäten fehlen, das „biosafety protocol“ von Cartagena effektiv umzusetzen und Sicherheitsuntersuchungen zu transgenen Nutzpflanzen durchzuführen, die auf die Gegebenheiten der lokalen agrarischen Ökosysteme zugeschnitten sind. Dies trifft sicherlich auf die meisten Entwicklungsländer zu.

2.1 Auskreuzung

Wenn transgene Sorten angebaut werden, kann es durch Auskreuzungen zu einem Gen-Transfer in andere Sorten, lokale Sorten, Wildpopulationen derselben Art und Populationen nahe verwandter Arten kommen. Wie im Folgenden ausgeführt wird, stellt dies sowohl eine Gefährdung der natürlichen Biodiversität dar, als auch der Pflanzenressourcen als Ausgangsmaterial für die Weiterentwicklung von Kulturpflanzen.

Vor allem aufgrund der Auskreuzungsproblematik haben Entwicklungsländer bereits transgene Lebensmittel als Nahrungsmittelspenden abgelehnt. Da es wahrscheinlich ist, dass ein Teil der Spenden von Landwirten zum Nachbau verwendet wird, würden transgene Sorten auf diesem Weg unkontrolliert verbreitet werden. Aus diesem Grund haben sich auch 60 afrikanische Organisationen dafür ausgesprochen, dass Entwicklungsländern lediglich gemahlene transgene Nahrungsmittelspenden akzeptieren (Kabalata 2004).

2.1.1 Biologische Grundlagen

Seit Jahrhunderten besteht ein kontinuierlicher Austausch von Genen sowohl zwischen Nutzpflanzensorten untereinander, als auch mit Wildpflanzen und nahe verwandten Arten. Die Entwicklung der Gentechnik stellt ein einschneidendes Ereignis für die Evolution aller Lebewesen dar, da mit ihrer Hilfe gezielt Gene auch von nicht näher verwandten Arten in das Erbgut von Organismen eingebracht werden können. Beispielsweise können Gene von

Bakterien und Tieren in das Erbgut von Pflanzen eingebracht werden. Die Folgen für die Natur können nicht vorhergesagt werden, da bislang entsprechende Prozesse in der Evolution noch nicht abgelaufen sind.

Fest steht, dass die in Pflanzen neu integrierten Gene auch an andere Populationen derselben Art (Wildpflanzen und andere Sorten) oder an nahe verwandte Arten weitergegeben werden können. Möglicherweise setzt sich dieser Gentransfer von dort wiederum zu anderen verwandten Arten fort. Je nach den Eigenschaften, die durch die betreffenden Gene vermittelt werden, können dadurch Vor- oder Nachteile bezüglich der Überlebens- und der Ausbreitungsfähigkeit dieser Pflanzen entstehen. Im Extremfall können über längere Zeiträume betrachtet sämtliche Populationen einer Art von dem Gen-Transfer betroffen sein. Da in jedem Ökosystem zahlreiche wechselseitige Beziehungen zwischen den einzelnen Arten bestehen, sind dadurch auch andere Arten betroffen und Veränderungen auf der Ebene des Ökosystems können auftreten. Es können sich Bestandszahlen von Arten verändert oder sogar Funktionen von Ökosystemen verändert werden.

Bei vielen Nutzpflanzenarten wurden bereits unterschiedliche transgene Sorten mit verschiedenen Herbizid- oder Insektenresistenzen entwickelt. Dadurch kann es bei diesen Arten mittels Gen-Transfer zum sogenannten „gene stacking“ kommen, also der Ansammlung verschiedener neuer Gene und damit Charakteristika in einzelnen Pflanzen oder Populationen.

2.1.2 Gen-Transfer in lokale Nutzpflanzensorten

Der Mensch besiedelt die unterschiedlichsten Regionen der Erde. Durch Züchtung sind über die Jahrtausende weltweit eine beeindruckende Anzahl lokaler Nutzpflanzensorten entstanden. Jede dieser Sorten ist an bestimmte klimatische, edaphische und andere Bedingungen einer Region angepasst. Die Eigenschaften variieren hinsichtlich des Geschmacks, der Inhaltsstoffe, Form, Größe oder anderer Qualitätsmerkmale und sind an die Bedürfnisse der jeweiligen lokalen Bevölkerung angepasst. Darüber hinaus haben lokale Sorten oftmals einen wichtigen Stellenwert in der Kultur der ländlichen Bevölkerung.

Diese Pflanzenressourcen sind auch das Ausgangsmaterial für die Weiterentwicklung von Kulturpflanzen durch Züchter und Bauern. In besonderem Maße sind kleinbäuerliche Produzenten in Ländern Afrikas, Asiens und Lateinamerikas auf die Vielfalt genetischer Ressourcen angewiesen. Eine reiche Vielfalt an Landsorten sichert das Überleben auch unter schwierigen klimatischen Bedingungen und an marginalen Standorten. Eine größere genetische Vielfalt trägt auch dazu bei, klimatisch- und krankheitsbedingte Risiken zu mindern (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit 2001).

In dem Herkunftszentrum einer Nutzpflanze besteht gewöhnlich eine besonders hohe Vielfalt an traditionellen Landsorten. Regionen mit einer sehr hohen Sortendiversität sind für Mais beispielsweise Zentralamerika, für die Kartoffel Südamerika, für Soja Ostasien, für Reis Süd- und Südostasien und für Baumwolle das südliche Afrika und Süd- bis Südostasien sowie die Westhänge der nördlichen Anden. Es können aber auch Gebiete die nicht ursprünglich das Herkunftszentrum einer Nutzpflanzenart darstellen eine hohe Sortendiversität aufweisen. Für Mais ist dies in Nord- und Südamerika, dem Mittelmeergebiet, Afrika und Asien der Fall (Franke 1997, FAO 1997).

In Regionen hoher Sortendiversität ist das Risiko eines Gen-Transfers in traditionelle Landrassen besonders hoch. Solche Ereignisse betreffen Pflanzen direkt als Nahrungsressource der Bevölkerung sowie als Ressource für eine zukünftige Züchtung.

In vielen Regionen konnte in den vergangenen Jahrzehnten bereits vor dem Einsatz transgener Nutzpflanzen ein extrem starker Rückgang der Sortenvielfalt, eine sogenannte „genetische Erosion“, bei den angebauten Sorten festgestellt werden. In Mexiko existierten Ende des letzten Jahrhunderts beispielsweise nur noch 20 Prozent der in den 30er Jahren noch bekannten lokalen Maissorten (FAO 1997). Durch den Anbau transgener Sorten kann sich diese Situation weiter verschärfen, da aufgrund der hohen Entwicklungskosten nur extrem wenige unterschiedliche gv-Sorten existieren. Eine regional angepasste Weiterzucht von Sorten würde zudem unterbunden, da alle gv-Sorten patentrechtlich geschützt sind.

Die Wahrscheinlichkeit eines Gen-Transfers zwischen verschiedenen Sorten ist maßgeblich von dem Bestäubungssystem der jeweiligen Pflanzenart und Sorte abhängig sowie von den naturräumlichen Gegebenheiten und dem Anbausystem. Je höher beispielsweise die Fremdbefruchtungsrate ist, desto höher ist das Risiko einer Einkreuzung. Die Wahrscheinlichkeit eines Gen-Transfers steigt auch mit der Entfernung, über die der Pollen der Pflanze durchschnittlich verfrachtet wird.

Zu den vorwiegend selbstbestäubenden Arten zählen Baumwolle, Soja, Reis, Weizen, Gerste, Hafer, Hirse, Bohne und Erbse. Einige vorwiegend fremdbefruchtende Arten sind Roggen, Mais, Zucker- und Futterrübe, Sonnenblumen, die meisten Kleearten und Hanf (Meier et al. 2002). Daneben gibt es Arten wie Raps, die sowohl in hohem Maße selbst- als auch fremdbestäubt sein können.

Verschiedene wissenschaftliche Studien haben sich bislang mit dem Ausmaß eines Gen-Transfers beschäftigt und mit der Entfernung über die er stattfinden kann. Beispielsweise sind Weizen, Roggen, Mais, Raps (besonders männlich sterile Sorten), Rettich, Zucker- und Futterrüben auch über weite Entfernungen für Gen-Transfer anfällig. Auch bei Kartoffeln, Alfalfa, Reis, Sonnenblumen, Squasch, Sorghum und Karotten ist ein Gen-Transfer möglich (Brauner 2002). Für Baumwolle (*Gossypium herbaceum* und *Gossypium barbadense*) zeigten Shen et al. (2001), dass ein Gen-Transfer zwischen transgenen und konventionellen Sorten stattfinden kann.

Dass ein Gen-Transfer von transgenen Sorten auf konventionelle Sorten stattfindet, hat sich inzwischen auch im kommerziellen Anbau bestätigt. Mexiko ist ein wichtiger Teil des mittelamerikanischen Herkunfts- und Diversitätszentrums von Mais. Dort ist bereits ein Gen-Transfer von transgenen DNA-Konstrukten in traditionelle örtliche Landrassen des Mais erfolgt (Quist & Chapela 2001). Bislang ist jedoch immer noch unklar, wie viele Regionen vom Gen-Transfer betroffen sind, welche gv-Sorten für den Transfer verantwortlich waren und ob ein Transfer auch auf nahe verwandte Wildpflanzen stattgefunden hat (Berthaud & Gepts 2004).

Für Raps sind ebenso zahlreiche Fälle bekannt, in denen ein Gen-Transfer von transgenen Sorten in konventionelle Sorten stattgefunden hat. In Kanada wird seit 1996 genmanipulierter Raps großflächig angebaut. Dadurch ist es für kanadische Bauern inzwischen schwer möglich, ihre Ernte frei von GV-Anteilen zu halten. Weltweit großes Aufsehen erfuhr der Fall des kanadischen Landwirts Percy Schmeiser, auf dessen Feldern ungewollt herbizidresistente Rapspflanzen der Firma Monsanto aufwuchsen. Der geschädigte Landwirt wurde von einem Gericht zur Zahlung von 170.000 US\$ wegen der Verletzung von Patentrechten verurteilt. Zudem wurde sein Saatgut eingezogen, das auf jahrelanger Züchtung von ihm beruhte.

Auch ein Gen-Transfer in nahe verwandte Nutzpflanzenarten muss gegebenenfalls bedacht werden. Die Zuckerrübe (*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris altissima*) ist beispielsweise mit Schnittmangold (*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris* var. *cicla*), Blattmangold (*B. vulgaris* ssp. *vulgaris*

var. *flavescens*), Rote Bete (*B. vulgaris* ssp. *vulgaris* var. *vulgaris*), Gelbe Bete (*B. vulgaris* ssp. *vulgaris* var. *lutea*) und der Futterrübe (*B. vulgaris* ssp. *vulgaris* var. *crassa*) kreuzbar (Hoffmann & Köhler 2000, Gerdemann-Knörck & Tegeder 1997).

Hingewiesen sei ferner auf die Forschungsaktivitäten im Bereich der sogenannten „Terminator-Technologie“. Sie dient dem Patentschutz von Sorten. Die Samen dieser Pflanzen sind durch einen gentechnisch eingebauten Mechanismus nicht keimfähig oder keimen nur mit Hilfe einer bestimmten Chemikalie, die der jeweilige Saatguthersteller vertreibt. Falls es zu einem Gen-Transfer kommt, durch den keimunfähige Samen entstehen, würden lokale Sorten Schaden nehmen (Hartmann 2002).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass durch die Entwicklung und den Anbau transgener Pflanzen mehrere negative Auswirkungen auf die weltweiten Nutzpflanzenressourcen wahrscheinlich sind. Vor allem eine Reduktion der Sortenvielfalt ist sehr wahrscheinlich. Bei einer Änderung des Schädlings- oder Krankheitsdrucks, einem Wandel des Klimas, der Umgebung oder der Anforderungen an die Nutzpflanzen ist dadurch eine Adaption durch Züchtung schlechter möglich, da kein originäres, durch Gentransfer unbeeinflusstes Ausgangsmaterial mehr zur Verfügung steht. Zudem wird eine regional angepasste Weiterzucht verhindert.

2.1.3 Gen-Transfer in Wildpflanzen

In Großbritannien und Nordirland können von 31 betrachteten Nutzpflanzenarten ein Drittel spontan mit Wildpflanzen vor Ort hybridisieren (Raybould & Gray 1993). In den Niederlanden ist dies bei einem Viertel der dort betrachteten 42 Arten der Fall (de Vries et al. 1992). Die meisten kultivierten Arten stammen ursprünglich nicht aus Europa. Das bedeutet, dass wesentlich mehr Möglichkeiten der Hybridisierung mit Wildarten in den Herkunftszentren vieler Nutzpflanzenarten zu erwarten sind. In diesen Gebieten sollte ein Gen-Transfer ausgeschlossen werden.

Ellstrand et al. (1999) geben einen Überblick über die dreizehn wichtigsten Nahrungspflanzen und ihre Möglichkeiten für eine spontane Kreuzung mit den jeweiligen verwandten Wildpflanzen. Für zehn der betrachteten Nahrungspflanzen (Weizen, Reis, Futter und Zuckermais, Soja, Baumwolle, Sorghum, Bohnen, Raps und Rübsen, Sonnenblumen und Zuckerrohr) wurde der Beweis einer Auskreuzung in verwandte Arten erbracht. Für Gerste und Hirse konnte nur der Nachweis von Hybriden erbracht werden, die jedoch nicht fortpflanzungsfähig zu sein scheinen. Nur für eine der betrachteten Arten, für die Erdnuss, wurde bislang kein Kreuzungspartner festgestellt.

Soja (*Glycine max*) stammt vermutlich von der ostasiatischen Wildform *Glycine soja* (syn. *Glycine ussuriensis*) ab, mit der sie auch fruchtbare Nachkommen haben kann. Daneben existieren noch etwa 16 weitere nahe verwandte Wildarten, die in Südost-Asien und Australien wachsen (Schütte et al. 2004).

Der weitaus größte Teil des weltweit angebauten Reises gehört der Art *Oryza sativa* an, die vermutlich von der in Indien existierenden Wildform *Oryza fatua* abstammt (Franke 1997). In Westafrika wird eine andere Reisart, nämlich *Oryza glaberrima* angebaut. Über 20 verwandte Wildreisarten aus der Gattung *Oryza* kommen in den Tropen und Subtropen vor (Lu 1996). Gen-Transfer zwischen Kulturreis und Wildreis ist vor allem für die folgenden sehr nahe verwandten Arten wahrscheinlich: *Oryza rufipogon* und *Oryza nivara* (beide in Asien vorkommend), *Oryza longistaminata* und *Oryza barthii* (in Afrika), *Oryza glumaepatula* (in Lateinamerika) und *Oryza meridionalis* (in Nord-Australien und Neu Guinea). In Asien sind wildwachsende Hybride (*Oryza spontanea*) von Wildreis und Kulturreis sehr häufig und wachsen in unmittelbarer Nachbarschaft zu Kulturreis. Für Reis ist somit die Wahrscheinlichkeit eines Gen-Transfers in verwandte Wildarten sehr hoch (Lu et al. 2002).

In Mexiko sind Hybride von Teosinte (*Zea mays* ssp. *parviglumis*, *Zea mays* ssp. *mexicana*) und Kulturmais keine Seltenheit (Wilkes 1967, Sánchez & Ordaz 1987). Weitere Kreuzungspartner von Mais in seinem Herkunftszentrum sind Arten der nahe verwandten Gattung *Tripsacum* und andere Taxa im Tribus *Tripsacinae* (Doebley 1990, Davidse & Pohl 1994, Kellogg 1998).

Baumwolle besitzt mehrere nahe verwandte Wildformen, die in den ariden Gebieten der Tropen und Subtropen der ganzen Welt vorkommen. Die Herkunftszentren der kommerziell angebauten Baumwollarten liegen in Nord- und Mittelamerika für *Gossypium hirsutum* und in Südamerika für *Gossypium barbadense* (Schütte et al. 2004). Untersuchungen, die sich mit dem Gen-Transfer in Wildpflanzen bei Baumwolle beschäftigen, liegen aus China vor. Dabei wurde festgestellt, dass die wild vorkommende Baumwollart *Gossypium arboreum* aufgrund der abweichenden Chromosomenzahl nicht mit den dort angebauten Baumwollarten kreuzbar ist (*Gossypium hirsutum* und *Gossypium barbadense*). Mehrere andere wild vorkommende Baumwollarten bildeten jedoch nach erfolgreicher Bestäubung mit Kulturpflanzen Samen aus. Da diese Wildpflanzen in China lediglich in den Provinzen Yunnan und Guizhou vorkommen, in denen keine Baumwolle angebaut wird, ziehen die Autoren den Schluss, dass es zu keinem Gen-Transfer unter natürlichen Bedingungen kommen kann (Jia 2002). Aus Hawaii ist eine wildwachsende Baumwollart (*Gossypium tomentosum*) bekannt, die Hybride mit kommerzieller Baumwolle bildet.

Die Auswirkungen eines Gen-Transfers von Nutzpflanzen zu verwandten Arten können unterschiedlich sein. Beispielsweise können mittels Gen-Transfer durchsetzungsfähigere Wildpflanzen entstehen. Insektenresistenzen oder Stresstoleranz sowie eine erhöhte Überdauerungs- oder Ausbreitungsfähigkeit spielen in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle. Untersuchungsergebnisse zu insektenresistenten Sonnenblumen haben gezeigt, dass diese in wildwachsende Sonnenblumenarten auskreuzen. Unter Selektionsdruck produzierten diese wildwachsenden Hybridpflanzen wesentlich mehr Samen als sonstige Wildpflanzen. Negative Effekte des Transgens auf die Überlebensmöglichkeiten der Hybridpflanzen konnten nicht festgestellt werden (Snow et al. 2002). Somit haben die Hybride einen Selektionsvorteil und können sich in natürlichen Populationen ausbreiten.

Durch Pleiotropie- und Positioneffekte kann jedoch prinzipiell jede gentechnische Veränderung unerwartete Auswirkungen auf Wildpflanzen haben (siehe Kapitel 3.1).

Falls ein Vorteil bezüglich der Überdauerungs- oder Ausbreitungsfähigkeit auftritt, werden mit der Zeit genetisch ursprüngliche Individuen seltener. Im Extremfall können so genannte „invasive Arten“ entstehen, die sich stark ausbreiten. Sie können die Zusammensetzung des Artengefüges eines Ökosystems sehr negativ beeinflussen und einen bedeutenden Einfluss auf die Evolution nehmen. Bisher sind invasive Arten vor allem dann „entstanden“, wenn der Mensch Arten bewusst oder zufällig in Regionen gebracht hat, in denen sie aufgrund natürlicher Grenzen bislang noch nicht verbreitet waren. Opuntien (*Opuntia* spec.) wurden beispielsweise vom Menschen als Zier- und Nutzpflanze weltweit verbreitet. Sie führte in den betroffenen Trockengebieten zu massiven Vegetationsveränderungen und zur Beeinträchtigung der Weidenutzung. Die Wasser-Hyazinthe (*Eichhornia crassipes*) wurde als Zier- und Nutzpflanze weltweit in Still- und Fließgewässer der Tropen verfrachtet. Konsequenzen waren unter anderem Veränderungen der limnischen Biozöosen, Verlandung, Beeinträchtigung der Schifffahrt und eine Erhöhung der Bilharziose-Gefahr. Die Einführung des Nil-Barsches (*Lates nilotes*) im Viktoriasee hat maßgeblich zum Aussterben von etwa 200 der 300 endemischen Buntbarscharten des Sees beigetragen. Zahlreiche vergleichbare Fälle haben sich weltweit ereignet, wodurch die globale Biodiversität bereits großen Schaden genommen hat (Kowarik 2003).

Transgene Nutzpflanzen können auch selbst invasive Arten darstellen, falls sie durch ihre neuen Eigenschaften weitere Lebensräume besiedeln.

Die Entwicklung von transgenen Pflanzen mit Toleranzen gegenüber nachteiligen Umweltbedingungen (Trockenstress, hohe Salzkonzentrationen oder Temperaturen und Umweltverschmutzungen) ist in diesem Zusammenhang als besonders problematisch zu beurteilen. Falls diese Eigenschaften durch einen Gen-Transfer in nahe verwandte Wildpflanzen vermittelt werden, würden sie für diese mit hoher Wahrscheinlichkeit ebenfalls einen Selektionsvorteil bei entsprechenden Umweltbedingungen bedeuten.

Ob eine Wildpflanze durch einen Gen-Transfer jedoch tatsächlich einen Selektionsvorteil hat, kann nur schwer im Voraus abgeschätzt werden. Einkreuzte Gene können in unterschiedlichen Pflanzenarten unterschiedliche Effekte auslösen. Auch die jeweiligen Umweltbedingungen spielen eine wichtige Rolle. Bei Risikoanalysen ist ferner zu berücksichtigen, dass Transgene in einer Population verbleiben können, ohne dass sie aktuell der Population oder einzelnen Pflanzen einen Vorteil verschaffen oder Probleme bereiten. Bei einer Veränderung der Umweltbedingungen können solche bislang „neutralen“ Eigenschaften jedoch plötzlich eine besondere Relevanz erlangen.

Es ist weiterhin zu bedenken, dass Pflanzen als Samen mitunter sehr lange überdauern können. Für Raps wurde bereits ein Gentransfer in nahe verwandte Wildpflanzenarten nachgewiesen (Warwick et al. 2003). Selbst wenn in Nord-Amerika ab sofort kein gentechnisch veränderter Raps mehr angebaut würde, könnte ein Gen-Transfer von transgenem Durchwuchs-Raps aufgrund der lange Überdauerungsfähigkeit der Samen noch mindestens über die nächsten 15 Jahre auftreten. Auch Wildpflanzen können oft sehr lange als Samen im Boden überdauern. Nach einem Gen-Transfer können die Transgene also lange Zeit im Samen erhalten bleiben und zu einem späteren Zeitpunkt aus den ausgekeimten Pflanzen wieder auskreuzen.

Nur bei wenigen Untersuchungen wurde bislang dokumentiert, dass Wildpflanzen einen Selektionsvorteil durch einen Gen-Transfer erlangt haben. Es bleibt zu befürchten, dass entsprechende Ereignisse erst zukünftig im kommerziellen Anbau transgener Pflanzen auftreten werden. Eine direkte Übertragung der Anbauerfahrungen aus den USA, Argentinien und Kanada auf alle Entwicklungsländer ist zudem nicht möglich. Ob ein Selektionsvorteil vorliegt, hängt von Faktoren wie den naturräumlichen Bedingungen, dem Arteninventar und den Anbausystemen ab. In EL sind beispielsweise die Felder oftmals wesentlich kleiner und die Agrarlandschaft ist enger mit der Wildflora verzahnt.

Wenn sich transgene Eigenschaften wie Insektenresistenzen oder andere Merkmale in Wildpflanzen ausbreiten, sind neben den bereits genannten schädlichen Auswirkungen durch Selektionsvorteile auch direkte Schädigungen anderer Organismen zu erwarten. Diese können beispielsweise durch eine Toxinproduktion oder eine veränderte Zusammensetzung der Inhaltsstoffe der Pflanze bedingt sein. Die Vorhersage solcher Auswirkungen ist jedoch äußerst schwierig. Einige Beispiele für derartige Effekte ergeben sich aus Kapitel 2.2, in dem Auswirkungen von transgenen Pflanzen auf andere Organismen beschrieben werden.

Der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle noch darauf hingewiesen, dass vor diesem Hintergrund die Herstellung von Primärprodukten für die Industrie, von Impfstoffen und von anderen medizinisch wirksamen Substanzen in Nutzpflanzen als sehr problematisch zu beurteilen ist. Ein Transfer entsprechender Gene in das Erbgut verwandter Wildpflanzen ist unbedingt zu vermeiden. Auch für Nutzpflanzensorten deren Samen durch die „Terminator-Technologie“ nicht keimfähig sind, sollte ein Gen-Transfer in Wildpflanzen ausgeschlossen werden.

Als Haupteffekte transgener Nutzpflanzen auf Wildpflanzen lassen sich folgende Punkte zusammenfassen: Es hat sich bereits gezeigt, dass mittels Gen-Transfer durchsetzungsfähigere Pflanzen entstehen können, wodurch prinzipiell auch die Entstehung invasiver Arten möglich ist. Dadurch kann es zu Änderungen im Artengefüge von Ökosystemen kommen. Es ist sehr wahrscheinlich, dass mit der Zeit durch Gen-Transfer genetisch ursprüngliche Wildpflanzen seltener werden. Transgene Nutzpflanzen können auch selbst zu problematischen oder invasiven Arten werden. Dies ist bislang in Agrar-Ökosystemen bei herbizidresistenten transgenen Nutzpflanzen beobachtet worden. Die Wahrscheinlichkeit ist jedoch bei transgenen Nutzpflanzen der zweiten Generation auch für nicht-agrarische Ökosysteme höher. Äußerst schwierig ist abzuschätzen, wie wahrscheinlich es ist, dass durch Gen-Transfer in Wildpflanzen direkte Schädigungen von Organismen auftreten, die von ihnen abhängig sind. Entsprechende Ergebnisse liegen aus dem bisherigen Anbau noch nicht vor.

2.2 Schädigung von Organismen

Der Anbau transgener Pflanzen kann neben der gewollten Bekämpfung von Schädlingen und problematischen Beikräutern auch direkt oder indirekt andere Organismen schädigen. Diese Schädigung kann auf verschiedensten Wegen erfolgen. Insgesamt lassen alle Ergebnisse bisheriger Studien den Schluss zu, dass sowohl mit Auswirkungen von Stoffwechselprodukten der transgenen Sorte auf andere Organismen, die direkt von ihr abhängig sind, gerechnet werden muss, als auch mit Effekten, die einzelne Glieder der Nahrungskette überspringen oder räumlich benachbarte Organismen betreffen. Dies kann wiederum negative Auswirkungen auf weitere Organismen haben die von den geschädigten Organismen abhängig sind.

Bei transgenen Pflanzen muss auch die Umweltsicherheit von bereits bekannten Stoffen (wie des Bt-Toxins) neu untersucht werden. Dies liegt daran, dass die Stoffe dauerhaft und zumeist in verschiedensten Teilen der Pflanze produziert werden, wodurch veränderte Wirkungen auftreten können. Zudem sind die produzierten Stoffe mitunter nicht exakt identisch mit den bekannten Ausgangsstoffen. Bt-Pflanzen haben beispielsweise ein größeres Wirkungsspektrum als das aus dem Bakterium *Bacillus thuringiensis* isolierte Toxin.

Letztlich können Organismen auch von veränderten Lebensbedingungen auf dem Acker betroffen sein, die durch eine veränderte Bewirtschaftungsweise der transgenen Pflanzensorte bedingt sind. Darunter fallen beispielsweise Veränderungen des Herbizid- und Pestizideinsatzes, der Bodenbearbeitung und der Bewässerung.

Zusätzlich können Organismen geschädigt werden, wenn über Gen-Transfer auch die wildwachsenden Verwandten von Nutzpflanzen die Eigenschaften zur Produktion neuer Inhaltsstoffe erlangen (vgl. Kapitel 2.1.3). Die Schädigung kann dann auch verstärkt außerhalb der Ackerflächen in anderen Ökosystemen stattfinden. Zumeist sind von Wildpflanzen mehr Arten abhängig als von Nutzpflanzen.

Auswirkungen transgener Pflanzen auf Nicht-Zielorganismen wurden bislang in Europa und Nordamerika anhand einiger dort vorkommender Tierarten unter speziellen, oftmals im kommerziellen Anbau nicht realistischen Gegebenheiten untersucht. Welche Auswirkungen transgene Pflanzen in den Ökosystem von Entwicklungsländern haben, ist wesentlich schwieriger zu beurteilen, da die Ergebnisse nur schlecht auf die jeweiligen Bedingungen (Klima, Flora und Fauna) übertragbar sind.

Problematisch ist zudem, dass über die Ökosysteme in Entwicklungsländern, verglichen zu Europa und Nordamerika, häufig weniger Wissen vorliegt. Um mögliche negative Auswirkungen transgener Pflanzen auf andere Organismen zu untersuchen, müsste jedoch

zunächst eine entsprechende Kenntnis der jeweiligen Ökosysteme vorhanden sein. Gesicherte Vorhersagen über ökologische Auswirkungen transgener Pflanzen in Entwicklungsländern sind daher zumeist nicht zu leisten.

2.2.1 Auswirkungen von Stoffwechselprodukten

In wissenschaftlichen Untersuchungen konnte bereits mehrfach gezeigt werden, dass gentechnisch veränderte Pflanzen durch Stoffe die von ihnen produziert werden, negative Effekte auf bestimmte Organismen, darunter auch Nützlinge haben können.

Über Bt-Mais existieren zahlreiche Untersuchungen zur Schädigung von Schmetterlingen. Das Bt-Toxin schädigt nämlich nicht nur den Maiszünsler, sondern spezifisch die gesamte Gruppe der Lepidoptera (Schmetterlinge). Bei Laboruntersuchungen mit transgenem Bt-Mais wurde beispielsweise ein schädlicher Effekt auf eine Mottenart (*Spodoptera littoralis*) festgestellt (Dutton et al. 2002). Da die einzige Schmetterlingsart, die Maiskulturen befällt, der Maiszünsler ist, wurde lange Zeit angenommen, dass Bt-Mais in der Praxis keine weiteren Schmetterlinge schädigt. Inzwischen wurde jedoch gezeigt, dass Bt-Mais auch für Schmetterlinge in der Nähe von Bt-Maisfeldern nachteilige Wirkungen haben kann. Für die Larven des Schwalbenschwanzes wurde eine Schädigung nachgewiesen (Zangerl et al. 2001). Wenn Bt-toxinhaltige Maispollen durch den Wind auf benachbarte Schwalbenwurzpflanzen geweht werden, können sie auch für dort lebende Larven des Monarchfalters (*Danaus plexippus*) eine ernsthafte Bedrohung darstellen (Hansen & Obricki 1999, Losey et al. 1999). In der Natur sind die Schwalbenwurzgewächse die einzige Nahrungsquelle für Raupen des Monarchfalters. Sie sind in den USA häufig in der Umgebung von Maisfeldern zu finden. Bt-haltige Maispollen, die durch den Wind verbreitet werden, könnten daher Monarch-Raupen schädigen, die auf Schwalbenwurzgewächsen in der Nachbarschaft von Bt-Maisfeldern fressen. Vor der Veröffentlichung dieser Studienergebnisse wurde angenommen, dass nur Schmetterlingslarven geschädigt werden können, die wie der Maiszünsler direkt an den transgenen Bt-Maispflanzen fressen. Auch dieses Beispiel zeigt, dass die Wirkungen einer transgenen Pflanze auf bestimmte Organismen äußerst komplex sein können.

Auf Bienen wurden negative Effekte in Experimenten mit transgenen Rapspflanzen, die β -1,3-Glucanase und CpTI exprimieren, nachgewiesen (Picard-Nizou et al. 1997). Auch die Verfütterung von Zuckerlösungen mit gereinigten Proteinaseinhibitor(PI)-Proteinen an Bienen hatte negative Auswirkungen (Pham-Delègue 1997).

Die Schädigung von Florfliegen (*Chrysoperla carnea*), einer nützliche Insektenart, wurde bereits bei Bt-Mais beobachtet. Die Florfliegenlarven wurden durch die Verfütterung von Maiszünslern geschädigt, die sich von Bt-Mais ernährten. Die Florfliegenlarven starben auch nach Fütterung des afrikanischen Baumwollwurms, wenn dieser zuvor Bt-Mais gefressen hatte. Der Baumwollwurm selbst wird durch das Bt-Toxin nicht angegriffen (Hilbeck et al. 1998). Der Versuch zeigt ebenfalls, dass ökosystemare Wirkungen auch an zunächst unerwarteter Stelle auftreten können.

Eine Schädigung von Marienkäfern (*Adalia bipunctata*) wurde bei Lektin-exprimierenden Kartoffeln nachgewiesen (Birch et al. 1997). Dezimiert wurden zunächst, wie beabsichtigt, auf den Kartoffeln lebende Blattlauspopulationen. Marienkäfer, die sich von den auf Lektin-Kartoffeln überlebenden Blattläusen ernährten, wiesen daraufhin eine verringerte Fruchtbarkeit auf.

Negative Auswirkungen sind auch auf Regenwürmer und Mikroorganismen im Bereich der Pedosphäre bekannt. Sie werden in Kapitel 2.5 eingehender erläutert.

Da über die Nahrungsnetze in Ökosystemen der Entwicklungsländer zumeist vergleichsweise wenig Informationen vorliegen und sie zudem regional sehr unterschiedlich sind, kann hier nur darauf verwiesen werden, dass mit direkten, Organismen schädigenden Effekten auch in Entwicklungsländern zu rechnen ist.

2.2.2 Auswirkungen veränderter Bewirtschaftungsformen

Die umfassendsten wissenschaftlichen Untersuchungen zu Auswirkungen der veränderten Bewirtschaftungsform bei transgenen herbizidresistenten Nutzpflanzen waren bislang die Farm Scale Evaluations in England (Zeki 2003). Die Ergebnisse zeigen, dass der Einsatz von Breitbandherbiziden vor allem die Diversität von Ackerwildkräutern dezimiert, was letztlich auch das Ziel von Breitbandherbiziden ist (Heard et al. 2003, Heard et al. 2003b). Die Ergebnisse bezogen sich sowohl auf die Ackerflächen, als auch auf deren Feldränder (Roy et al. 2003). Darüber hinaus wurden Auswirkungen auf die Fauna festgestellt. Bei den Untersuchungen wurden in den Feldern mit HR-Raps und HR-Rüben weniger Arthropoden (Gliederfüßer) nachgewiesen. Diese Verschiebung im Arthropoden-Bestand ist vermutlich ein indirekter Effekt, da Ackerwildkräuter die Lebensgrundlage für viele bodenlebende Wirbellose darstellen (Brooks et al. 2003).

Schmetterlinge traten in HR-Rüben- und HR-Rapsfeldern über die gesamte Vegetationsperiode hinweg seltener auf (Haughton et al. 2003). Auch Bienen und Wanzen traten in HR-Rübenfeldern reduziert auf. Dies ist sehr gravierend, da gerade Rübenfelder auf landwirtschaftlichen Flächen wichtige Habitate für Wanzen sind. Wanzen wiederum sind eine wichtige Nahrungsquelle für Prädatoren, insbesondere für an Ackerhabitate gebundene Vögel.

In HR-Rapsfeldern traten auch weniger Spinnen auf. Generell werden Spinnen von einer strukturellen Verarmung der Insektenfauna stark beeinflusst.

Es ist es eher unwahrscheinlich, dass die gefundenen Effekte auf die Toxizität und Persistenz der eingesetzten Pestizide zurückzuführen sind (Haughton et al. 2003). Vielmehr sind vermutlich auch hier die Änderungen in der Ackerwildkrautflora ursächlich verantwortlich. Da blühende Ackerwildkräuter essentiell für nektarsaugende Insekten sind, beeinflusst eine veränderte Unkrautbekämpfung diese Insekten stark.

Die Tendenz, dass Schmetterlinge und Bienen in HR-Raps weniger häufig auftreten als in konventionellem Raps, lässt sich hingegen nur bedingt als indirekter Effekt interpretieren. Als Futterpflanze werden die Rapsblüten direkt angefliegen, blühende Ackerwildkräuter spielen als Futterpflanzen eine geringe Rolle. Fraglich bleibt deshalb, ob die Abnahme in den Beständen der Bienen und Schmetterlinge ein direkter toxischer Effekt des Herbizids ist. Es ist ebenfalls denkbar, dass HR-Raps weniger Nektar produziert oder der Nektar für die Insekten weniger attraktiv ist.

Die negativen Auswirkungen, die in der Farm Scale Evaluations ermittelt wurden, lassen es realistisch erscheinen, dass bei einem großflächigen Anbau von HR-Pflanzen weitreichende Folgen für viele Organismengruppen zu erwarten sind. Neben zahlreichen Insekten- und Spinnenarten würde sich auch die Situation vieler Vogelarten und Kleinsäuger, die an den Lebensraum Acker gebunden sind, wesentlich verschlechtern. In einer Arbeit des „Department for Environment, Food and Rural Affairs“ (DEFRA) wurde in einer Computersimulation errechnet, dass die kommerzielle Einführung von HR-Zuckerrüben innerhalb von zwanzig Jahren zum Aussterben der Feldlerche führen könnte, da durch die Breitbandherbizide die Futterpflanzen dieser Vogelart vernichtet werden (DEFRA 2002).

Besondere Beachtung verdienen die Ergebnisse bei Zuckerrüben. Konventionell angebaute Zuckerrüben wurden bis zu sechs Mal in der Saison mit sieben bis acht verschiedenen

Herbizidwirkstoffen behandelt, während die transgenen RoundupReady-Zuckerrüben der Firma Monsanto maximal zweimal mit Glyphosat gespritzt wurden. Trotzdem sind die Gesamtauswirkungen des Breitbandherbizides auf die Biodiversität deutlich gravierender, als die konventionell eingesetzten sieben bis acht verschiedenen Herbizidwirkstoffe.

Die Ergebnisse der Farm Scale Evaluations lassen Spekulationen über Auswirkungen des Anbaus transgener herbizidresistenter Sorten in Entwicklungsländern zu. In Mexiko ist beispielsweise die Artenvielfalt an Beikräutern im Ackerbau sehr hoch (Villegas 1970, Avila Díaz 1992, Espinosa-García & Sarukhán 1997). Manche Beikräuter spielen sogar als Futtermittel oder in der Nahrungsversorgung der lokalen Bevölkerung eine wichtige Rolle. Auch Teosinte, die Wildform des Mais (*Zea mays* ssp. *mexicana*) kommt in einigen Gegenden häufig in Maisfeldern als Beikraut vor (Berthaud & Gepts 2004). Die Art würde durch den Anbau herbizidresistenter Sorten unter Einsatz von Breitbandherbiziden einen starken Rückgang erfahren. Die Biodiversität würde in Mexiko sicherlich insgesamt noch wesentlich stärker geschädigt, als dies bereits in den Farm Scale Evaluations (Zeki 2003) in England beobachtet wurde.

Studien aus China berichten beim Anbau von Bt-Baumwolle von Vorteilen für bestimmte Organismen gegenüber dem Anbau konventioneller Baumwolle (Wu et al. 2002). Dafür verantwortlich könnte ein verringerter Insektizideinsatz in den transgenen Baumwollfeldern sein. In verstärktem Maße traten verschiedene Marienkäfer (*Coccinella septempunctata*, *Leis axyridis* und *Propylaea japonica*), Florfliegen (*Chrysopa sinica*, *Chrysopa septempunctata*, *Chrysopa shansiensis* und *Chrysopa formosa*), Spinnen (*Erigonidium graminicolum* und *Misumenopos tricuspidata*) und Blumenwanzen (*Orius similis*) auf. Dieses Beispiel zeigt, dass Effekte transgener Nutzpflanzen je nach Nutzpflanzenart und -sorte, Eigenschaften der Nutzpflanze und den spezifischen Umweltbedingungen unter denen sie angebaut wird, bewertet werden muss.

Beim Anbau von herbizidresistenten Pflanzen werden oftmals Brachen nicht mehr in die Fruchtfolge integriert (Schütte et al. 2004). Es ist zu erwarten, dass dies sehr negative Auswirkungen auf die Biodiversität von landwirtschaftlich genutzten Flächen hat. Zum einen bieten Brachen Ackerwildkräuter normalerweise gute Reproduktionsmöglichkeiten und dadurch die Möglichkeit die Samenbank im Boden aufzufrischen. Zum anderen dienen Brachen zahlreichen Insekten, Spinnen, Vögeln und Kleinsäugetern als Lebensraum.

Negative Auswirkung auf die Biodiversität sind auch durch einen verkleinerten Reihenabstand bei herbizidresistentem Soja oder bei Baumwolle zu befürchten, da Beikräuter stärker unterdrückt werden (Schütte et al. 2004).

Zusammenfassend zeigen die bisherigen Erfahrungen aus dem Anbau transgener Pflanzen, dass vor allem bei herbizidresistenten Nutzpflanzen mit einem weiteren, massiven Rückgang der floristischen und faunistischen Diversität in Acker-Ökosystemen und in ackernahen Biotopen zu rechnen ist. Die im Anbau von Bt-Pflanzen möglichen Anbauformen können zunächst vergleichsweise positive Effekte auf die Biodiversität bestimmter faunistischer Organismengruppen haben, falls bei den jeweiligen konventionellen Sorten toxischere Insektizide eingesetzt werden. Falls dies nicht der Fall ist, bieten sie keinen Vorteil gegenüber konventionellen Pflanzen. Positive Effekte werden zudem nur solange zu beobachten sein, bis die Schadorganismen Resistenzen ausbilden. Eine solche Resistenzbildung ist nach den bisherigen Erfahrungen sehr wahrscheinlich.

Die Auswirkungen einer veränderten Bewirtschaftungsform bei transgenen Nutzpflanzen auf Bodenorganismen ist in Kapitel 2.5 eingehend beschrieben.

2.3 Entstehung problematischer Unkräuter

Herbizidresistenzen sind bislang bei weitem das am häufigsten genutzte Merkmal transgener Pflanzen. Ein ökologisch relevanter Faktor ist daher auch das Auftreten herbizidresistenter Durchwuchspflanzen oder verwandter Wildpflanzen, die eine Resistenz durch einen Gen-Transfer erlangt haben. Zudem können andere Beikräuter auch auf „natürlichem Wege“ durch den hohen Selektionsdruck eine Herbizidresistenz entwickeln. In jedem der genannten Fälle können schwer bekämpfbare Unkräuter entstehen. Neben gravierenden Folgen für die Landwirtschaft, hätte dies auch negative ökologische Folgen, beispielsweise durch den zusätzlichen Einsatz zusätzlicher schädlicher Herbizide.

Eine Herbizidresistenz bringt den Pflanzen dort einen Vorteil, wo die entsprechenden Herbizide eingesetzt werden. Neben Ackerflächen ist dies auch entlang von Straßen und Bahnlinien sowie auf städtischen Anlagen und im Bereich von privaten Haushalten der Fall.

Im konventionellen Anbau hat sich bereits gezeigt, dass Beikräuter das Potential zur Ausbildung von Herbizidresistenzen bei entsprechendem Selektionsdruck haben (Eckelkamp et al. 1997). Da nur sehr wenige unterschiedliche Komplementärherbizide im Anbau transgener Pflanzen eingesetzt werden, wird durch den viel höheren Selektionsdruck vermutlich die bisherige Resistenzproblematik bei Herbiziden weit übertroffen werden (Warwick et al. 1999, Schütte et al. 2004). Während eine Resistenzbildung gegen Glyphosat anfangs noch für sehr unwahrscheinlich gehalten wurde, sind inzwischen bei sieben Pflanzenarten entsprechende Resistenzen festgestellt worden (Van Acker et al. 2003, Schütte et al. 2004). Es sind dies das Steife Weidelgras (*Lolium rigidum*), das Italienische Raygras (*Lolium multiflorum*), die Indische Eleusine (*Eleusine indica*), ein Amarant (*Amaranthus rudis*), der Tannenwedel (*Hippuris vulgaris*), ein Berufskraut (*Erigeron spec.*) und die Kanadische Goldrute (*Conyza canadensis*). In Argentinien sind durch den großflächigen Anbau von herbizidresistentem Soja bereits Probleme mit glyphosattoleranten Unkräutern aufgetreten, die sich zukünftig vermutlich noch verschärfen werden (Bradford 2004).

Transgene herbizidresistente Nutzpflanzen können auch selber zu Problemunkräutern in den Folgekulturen werden. Das Auftreten von herbizidresistenten Durchwuchspflanzen wird insbesondere bei Raps sehr häufig beobachtet. Aber auch herbizidresistentes Soja wird beispielsweise in Argentinien inzwischen mit zusätzlichen anderen Herbiziden bekämpft. Durchwuchs von Soja in Baumwollfeldern und von Mais in Sojafeldern sind aus den USA bekannt (Schütte et al. 2004). Auch Baumwolle und Reis können in den entsprechenden Klimaregionen als Durchwuchspflanzen auftreten. Besonders problematisch sind Herbizidresistenzen, wenn es durch Gen-Transfer zu einem „gene stacking“, also der Ansammlung verschiedener Transgene in einer Pflanze kommt. Dadurch können Durchwuchspflanzen gegen zwei oder drei verschiedene Herbizide gleichzeitig resistent sein. Berichte über dreifach-herbizidresistenten Raps lagen bereits nach wenigen Anbaujahren aus Kanada vor (Hall et al. 2000).

Die bisherigen Erfahrungen aus dem Anbau transgener Pflanzen zeigen, dass die Entstehung problematischer, herbizidresistenter Unkräuter und Durchwuchspflanzen ein sehr wahrscheinliches Szenario ist.

2.4 Auswirkungen auf Schadorganismen

2.4.1 Anfälligkeit für Schadorganismen

In ihrem 1997 erschienenem Bericht „The state of the world’s plant genetic resources for food and agriculture“ weist die FAO darauf hin, dass beim Anbau von genetisch identischen

Pflanzensorten auf sehr großen Arealen eine hohe Gefahr besteht, dass diese plötzlich durch neu auftretende Schadorganismen befallen und großflächig zerstört werden.

Transgene Pflanzen werden von Saatgutunternehmen gerade mit dem Ziel entwickelt, einen möglichst großen Teil des Weltmarktes und somit der weltweiten Anbauflächen zu erschließen, da die Entwicklungskosten je Sorte bis zur kommerziellen Zulassung vergleichsweise hoch sind. Aus der Vergangenheit liegen zahlreiche negative Erfahrungen mit genetisch einheitlichen Sorten vor, die es ratsam erscheinen lassen, zukünftig einen anderen Weg zu beschreiten. Die Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*) konnte in den Jahren 1845-48 in Europa und Nordamerika die zu dieser Zeit dort genetisch wenig diversen Kartoffelsorten befallen und zerstörte nahezu die gesamte Kartoffelernte. Allein in Irland starben in der Folge 1,5 Millionen Menschen. Die genetische Einheitlichkeit von modernen Weizensorten war in Indien für zahlreiche schwere Epidemien mit verschiedenen Schadorganismen in den 70er Jahren verantwortlich. In den USA empfahl 1972 der „United States National Research Council“, dass die genetische Basis der wichtigsten Nutzpflanzen verbreitert werden sollte, nachdem ein großer Teil der US-amerikanischen Maisernte aufgrund von mangelnder genetischer Diversität der Sorten durch einen Pilzbefall zerstört wurde. Auch Bananen sind ein Beispiel für die Nachteile einer mangelnden genetischen Sortendiversität. Alle wichtigen kommerziell angebauten Sorten stammen ursprünglich von einer Bananensorte ab. Sie sind alle in hohem Maße anfällig für den „Schwarzen Sigatoka“, einen Pilz der weltweit mit hohen Fungizidgaben bekämpft werden muss.

2.4.2 Entstehung resistenter und Auftreten neuer Schadorganismen

Generell kann davon ausgegangen werden, dass alle Insekten das Potential haben, Resistenzen gegen Insektizide zu entwickeln. Von Vorteil für eine zügige Resistenzentwicklung sind für die Insekten kurze Reproduktionszyklen. Im kommerziellen Anbau handelt es sich bei den meisten transgenen Pflanzen, die zur Produktion von Insektiziden befähigt wurden, um so genannte Bt-Pflanzen. Sie produzieren verschiedene Varianten des Toxins des Bakteriums *Bacillus thuringiensis*. Wie schnell und ob sich eine Resistenz entwickelt, ist von verschiedenen weiteren Faktoren abhängig. Entscheidend ist beispielsweise, ob die entsprechende Resistenz dominant oder rezessiv vererbt wird, ob der Schädling eine hohe Mobilität aufweist und wie hoch der Selektionsdruck ist (Gould et al. 1998, Raps et al. 1998). Der Selektionsdruck ist unter anderem von der Höhe der Bt-Konzentration in den Pflanzen und von der Größe der Anbaufläche abhängig (Tappeser et al. 2000).

Bt-Präparate finden auch in der konventionellen und ökologischen Landwirtschaft Verwendung. Dort werden sie bedarfsabhängig bei entsprechendem Schädlingsbefall gespritzt. Dabei sind bisher kaum Resistenzen aufgetreten. Diese Bt-Präparate enthalten mehrere Protoxinvarianten, die zudem aufgrund ihrer UV-Labilität relativ kurzlebig sind. Im Unterschied dazu wird das Bt-Toxin in transgenen Bt-Pflanzen in einer aktiven Form und über einen langen Zeitraum bedarfsunabhängig exprimiert. Der Selektionsdruck ist unter diesen Umständen sehr viel höher als bei den Bt-Sporenpräparaten (Bernhardt et al. 1991). Die US-amerikanische EPA (Environmental Protection Agency) hat aus diesem Grund Resistenzmanagementpläne für Bt-Mais vorgeschrieben. Ein wichtiges Element ist die Anlage von „Refugien“, Bereichen in denen nicht-Bt Maispflanzen angebaut werden, wodurch der Selektionsdruck herabgesetzt werden soll (Mellon & Rissler 1998). Die Empfehlungen der EPA zum Bt-Mais-freien Flächenanteil variieren je nach Sorteneigenschaften zwischen 10 und 40 Prozent (Tappeser et al. 2000). Auch beim Bt-Baumwollanbau soll durch Refugien die Ausbildung und Verbreitung von Resistenzen bei Schädlingen verzögert werden. Beim Anbau von Bt-Baumwolle sind bereits Resistenzen beobachtet worden (Sadras 1998, Prakash 1997).

Ob das Resistenzmanagement ausreicht, um eine schnelle Resistenzentwicklung tatsächlich zu verhindern ist unklar. Einige wissenschaftliche Studien stellen generell die Wirkung der Refugienstrategie in Frage (Liu et al. 1999, Huang et al. 1999) oder kommen zu dem Schluss, dass entsprechende Maßnahmen eine Resistenzausbildung sogar beschleunigen können (Chilcutt & Tabashnik 2004). Viele US-Landwirte halten nicht die empfohlenen Maßnahmen ein. Inwiefern entsprechende Managementpläne in Entwicklungsländern umsetzbar sind, muss von Fall zu Fall entschieden werden. Politische Instabilität und ein schwach strukturierter Agrarsektors sind sicherlich nachteilige Faktoren.

In einigen Gebieten können sich innerhalb der Vegetationsperiode des Mais mehrere Maiszünslergenerationen ausbilden. Weil das Expressionsniveau des Bt-Toxin in der Maispflanze bei einigen Sorten gegen Ende der Vegetationsperiode stark abfällt, muss in solchen Fällen mit einer erhöhten Möglichkeit der Resistenzbildung gerechnet werden.

Durch die selektive Bekämpfung eines bisher dominanten Schaderregers wird in der jeweiligen Pflanzenkultur eine Nische frei, die von anderen Pathogenen genutzt werden kann. Bei der Freisetzung transgener insektenresistenter Bäume konnten solche Effekte beobachtet werden (Tappeser et al. 2000).

Ähnliche Ergebnisse wurden in China beim Anbau von Bt-Baumwolle festgestellt. Dort scheinen Wanzen und andere Schädlinge, infolge des verringerten Insektizideinsatzes in den Bt-Baumwollfeldern, problematische Befallsraten zu erreichen. Vermutlich wird mittelfristig der Einsatz zusätzlicher Insektizide beim Anbau von Bt-Baumwolle nicht zu vermeiden sein (Wu et al. 2002, Xue 2002). Auch aus Indonesien und Indien liegen Berichte über Bt-Baumwolle vor, wonach andere Schädlinge verstärkt aufgetreten sind (Ching 2004).

Auch andere Gründe können für das Auftreten neuer Pathogene verantwortlich sein. Im südlichen Afrika sind an Bt-Baumwolle deshalb verstärkt neue Schädlinge aufgetreten, weil die Blätter der transgenen Sorte im Gegensatz zu den ursprünglich dort angebauten Sorten nicht behaart sind (DeGrassi 2003, Glover 2003).

Andererseits scheint der Anbau von Bt-Baumwolle in Nordchina nicht nur hinsichtlich der Bekämpfung des Zielorganismus Baumwollkapselwurm (*Helicoverpa armigera*) geeignet zu sein, sondern auch indirekt hinsichtlich der Bekämpfung der schädlichen Baumwolllaus *Aphis gossypii*. Der Grund hierfür könnte sein, dass die Anzahl der Nützlinge die die Baumwolllaus bekämpfen im konventionellen Baumwollanbau geringer ist (Wu et al. 2002).

Auch ein veränderter Herbizideinsatz beim Anbau transgener herbizidresistenter Sorten kann Schädlinge beeinflussen. In Argentinien wurden beim Anbau von herbizidresistem Soja vermehrt Nematoden, Schnecken und Käfer als Schädlinge beobachtet (Boy 2004).

Bei transgenen virusresistenten Pflanzen wird die Entstehung neuer Virusvarianten und neuer Infektionsverläufe als Risiko diskutiert (Tappeser et al. 2000). Es gibt eine Reihe verschiedener Strategien, um Pflanzen mit Hilfe der Gentechnik virusresistent zu machen. Davon hängt auch ab, ob dadurch die Verbreitung und Evolution von Viren verändert werden kann und ob dabei Pflanzenviren oder virale Pflanzenkrankheiten und Epidemien von erhöhter Schädlichkeit hervorgebracht werden können.

Prinzipiell können zwischen der in Pflanzen klonierten viralen genetischen Information und infizierenden Viren Rekombinationen stattfinden (Lommel & Xiong 1991, Greene & Allison 1994, Wintermantel & Schoelz 1996). Noch nicht ausreichend geklärt ist die Frage, wie häufig Rekombinationen bei Pflanzenviren stattfinden (Gibbs et al. 1997, Revers et al. 1996, Candresse et al. 1997). Sie können jedoch zu Viren mit genetisch verankerter erhöhter Fitness und Pathogenität sowie verändertem Wirtsspektrum führen.

In Pflanzen, die mit einem viralen Hüllproteingen transformiert wurden, können sogenannte „heterologe Enkapsidierungen“ auftreten. Dabei wird die Nukleinsäure eines Virus, dessen Vermehrung durch das klonierte Hüllprotein zumindest nicht vollständig unterbunden wird, teilweise oder ganz durch rekombinantes „coat protein“ (CP) verpackt. Dadurch können virale Eigenschaften verändert werden, die durch das Hüllprotein determiniert sind oder beeinflusst werden, wie der Vektor- und Wirtsbereich und der Krankheitsverlauf. So wird das Gurkenmosaikvirus (Cucumber mosaic Cucumo-virus, CMV) in Tabakpflanzen beispielsweise durch transgen exprimiertes CP des Luzernmosaikvirus (AMV) verpackt (Tappeser et al. 2000).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass es sehr wahrscheinlich ist, dass beim Anbau transgener Nutzpflanzen eine veränderte Schädlingsproblematik auftritt. Die Entwicklung transgener Nutzpflanzen stellt keine dauerhafte, nachhaltige Lösung im Bereich der Schädlingsbekämpfung dar.

2.5 Auswirkungen auf Bodenorganismen

Die Aktivität der im Boden lebenden Zersetzer wird als wichtiger Parameter für die Einschätzung der Bodenqualität angesehen. Direkte schädliche Auswirkungen von Stoffen die transgene Pflanzen produzieren, sollten auch auf diese Organismengruppe vermieden werden. Aber auch Auswirkungen auf die Bodenorganismen die sich durch Veränderungen in der Bewirtschaftung ergeben, müssen berücksichtigt werden.

Generell hängt die Zusammensetzung der Mikroorganismengemeinschaft im Boden von verschiedenen Faktoren ab. Pflanzen setzen Substanzen wie Aminosäuren, Zucker und Wachstumsfaktoren über die Wurzeln im Boden frei, die die mikrobielle Aktivität und das Wachstum bestimmter Bakterien oder Pilze anregen oder hemmen. Veränderungen im Stoffwechsel der Pflanze, als beabsichtigte oder unbeabsichtigte Folge einer gentechnischen Veränderung, können sich auch auf die Mikroorganismen im Boden auswirken. Dadurch kann die Bodenfruchtbarkeit beeinträchtigt werden.

Donegan et al. (1995) zeigten, dass es nicht ausreichend ist, allein die Wirkung der rekombinanten Genprodukte zu untersuchen, um Auswirkungen auf Mikroorganismen im Boden vorher zu sagen. In den Boden eingearbeitete Bt-Baumwollblätter hatten Effekte auf die Zusammensetzung von Mikroorganismenpopulationen, die vermutlich auf bislang nicht näher bekannte Nebenwirkungen der gentechnischen Veränderung zurückzuführen sind.

Bei Laboruntersuchungen zu Bt-Mais wurden negative Effekt auf Springschwänze beobachtet, die bei der Streuzersetzung eine erhebliche Rolle spielen. Donegan et al. (1997) fanden bei Laborversuchen ebenfalls eine Beeinträchtigung von Springschwänzen durch transgene Proteinase-Inhibitor-exprimierende Tabakpflanzen. In Labor- und Feldstudien wurde festgestellt, dass das relative Gewicht von Regenwürmer (*Lumbricus terrestris*), die sich von Bt-Mais-Streu ernährten, im Vergleich zu einer Kontrollgruppe, die nicht-Bt-Mais-Streu fraß, geringer war (Zwahlen et al. 2003).

Über die Höhe der durch den Bt-Mais in den Boden eingetragenen Toxinmengen, unter den jeweiligen natürlichen Bedingungen, besteht bislang Unklarheit. Bekannt ist, dass das Bt-Toxin mit dem Wurzelexsudat kontinuierlich in den Boden abgegeben wird und es dort über einen sehr langen Zeitraum stabil bleibt und seine insektizide Wirkung behält (Saxena et al. 1999, Saxena & Stotzky 2000). Es konnte in Versuchen auch nach über 200 Tagen im Boden nachgewiesen werden. Zusammen mit freigesetzten Toxinmolekülen aus verrottendem Pflanzenmaterial können durchaus bedeutende Toxinkonzentrationen im Boden aufgebaut werden. Untersuchungen von Saxena et al. (2002) haben gezeigt, dass die Freisetzung des Bt-Toxins über Wurzelexsudate ein weit verbreitetes Phänomen beim Anbau von transgenen Bt-Pflanzen ist und nicht nur bei einigen wenigen Bt-Linien vorkommt.

Neben den Auswirkungen von Stoffen, die transgene Pflanzen in den Boden abgeben, müssen auch die Auswirkungen veränderter Bewirtschaftungsmaßnahmen berücksichtigt werden. Applizierte Breitbandherbizide verbleiben nicht ausschließlich auf den Pflanzen, sondern gelangen auch in den Boden. Hier hängt es sehr stark von der Bodenzusammensetzung sowie von den Witterungsbedingungen, dem Bodenleben und dem eingesetzten Herbizid ab, in welchem Maße und wie schnell das Herbizid umgewandelt, abgebaut, weitertransportiert oder gebunden wird. Beim Einsatz herbizidresistenter transgener Nutzpflanzen ist damit zu rechnen, dass verstärkt Breitbandherbizide in den Boden gelangen.

Untersuchungen zum Einfluss von Breitbandherbiziden auf das Bodenleben zeigen sehr uneinheitliche Ergebnisse (Ulrich et al. 1998). Dies ist aufgrund der bislang bei weitem nicht bekannten Vielfalt der in Böden ablaufenden Prozesse nicht verwunderlich. Es gibt jedoch deutliche Hinweise, dass sich der Einsatz von Breitbandherbiziden sowohl auf die Makrofauna, als auch auf die Mikrofauna negativ auswirken kann. Der bei Breitbandherbiziden am häufigsten genutzten Wirkstoff Glyphosat sowie das ebenfalls oft eingesetzte Glufosinat schädigen Bodenmikroorganismen (Schütte et al. 2004). Beispielsweise ist Glufosinat für Regenwürmer direkt toxisch, wenn auch weniger stark als für Gliederfüßer (Pfanzagl 1999).

An der Universität Saskatchewan in Kanada wurden im Rahmen einer zweijährigen Studie die Auswirkungen des Anbaus von herbizidresistentem Raps auf die Biodiversität der Mikroorganismen im durchwurzelten Bodenbereich untersucht. Dabei wurden Unterschiede zwischen den Mikroorganismengemeinschaften der Böden transgener und konventioneller Sorten festgestellt (Dunfield & Germida 2001).

Aus Argentinien liegen Berichte vor, wonach Bodenorganismen bei sehr hohem Einsatz von Breitbandherbiziden im Anbau von HR-Soja geschädigt werden. Dadurch wird die Zersetzung von pflanzlichem Material und die natürliche Bodenfruchtbarkeit verschlechtert (Bradford 2004). HR-Pflanzen scheinen zumindest in Argentinien dazu zu verleiten, die Felder permanent beikrautfrei zu spritzen und somit große Mengen Herbizide einzusetzen.

Zusammenfassend ist bezüglich der Auswirkungen transgener Pflanzen auf den Boden festzustellen, dass noch viele Fragen offen sind. Es sind sowohl einige negative als auch mitunter positive Effekte auf Böden sichtbar. Für eine Gesamtbewertung der Auswirkungen transgener Pflanzen reichen die bisherigen Informationen noch nicht aus.

2.6 Auswirkungen auf abiotische Ressourcen

Der Anbau transgener Nutzpflanzen kann Auswirkungen auf die abiotischen Ressourcen Boden, Wasser und Luft haben. Auch in diesem Fall können entweder Stoffwechselprodukte der transgenen Pflanzen oder veränderte Bewirtschaftungsformen für Beeinträchtigungen verantwortlich sein.

Ob durch den Anbau transgener Pflanzen der Einsatz von Pestiziden (Herbiziden, Insektiziden, Fungiziden und anderen Pestiziden) möglicherweise reduziert wird, ist bislang umstritten.

Bei Bt-Mais wurde in den USA nach unabhängigen Studien kein Unterschied bezüglich des Pestizideinsatzes zu konventionellem Mais festgestellt (Obrycki et al. 2001, Benbrook 2002). Der Anbau transgener Bt-Baumwolle soll hingegen bislang in verschiedenen Regionen die Menge an eingesetzten Pestiziden reduziert haben (Ortman et al. 2001, Pray et al. 2002, DeGrassi 2003). Allerdings gehen in diese Berechnungen nicht die Pestizidmengen ein, die direkt von den transgenen Pflanzen produziert werden. Da sie in der gesamten Pflanze und auch im Wurzelbereich produziert werden, belasten sie ebenfalls die Umwelt, vor allem den

Boden. Zudem weisen Untersuchungen aus China bereits auf die schnell entstehende Notwendigkeit einer erhöhten Applikation anderer Insektizide hin, wegen der Zunahme von Sekundärschädlingen wie Wanzen (Wu et al. 2002). Ähnliche Ergebnisse liegen aus den südlichen USA vor. Beim Anbau von Bt-Baumwolle 1997 wurden dort zwar bezüglich der Bt-Zielorganismen erwartungsgemäß weniger Insektizide eingesetzt, diese Einsparungen wurden aber durch den Einsatz anderer Insektizide überkompensiert, die ergänzend gegen Bt-unempfindliche Schädlinge verwendet wurden. Auch aus Indonesien und Indien liegen Berichte vor, wonach Bt-Baumwollfelder mit zahlreichen anderen Pestiziden behandelt werden mussten, nachdem hohe Befallsraten mit bislang wenig problematischen Schädlingen auftraten (Ching 2004). Zudem ist davon auszugehen, dass mittelfristig auch die derzeit mit Bt-Pflanzen erfolgreich bekämpften Schädlinge Resistenzen ausbilden, da der Selektionsdruck sehr hoch ist. Dadurch wird langfristig verstärkt auf andere, möglicherweise schädlichere Insektizide zurückgegriffen werden müssen. Davon sind dann auch diejenigen Anbauflächen betroffen, auf denen keine transgenen Sorten angebaut werden, sondern auf denen lediglich im Bedarfsfall Bt-Präparate gespritzt werden, wie es beispielsweise im ökologischen Landbau der Fall ist.

Toxine von transgenen Pflanzen können sich im Boden anreichern und auch in Fließgewässer gelangen. Aus Kanada wurde berichtet, dass beim Anbau von Bt-Mais an der Mündung eines Flusses im Sediment höhere Toxinwerte, als nahe der Bt-Mais-Äcker festgestellt wurden (Gravel 2001).

Erfahrungen aus Argentinien zeigen, dass durch den Anbau von HR-Soja der Einsatz von Herbiziden, verglichen mit dem Anbau von konventionellem Soja, stark erhöht sein kann (Trigo & Cap 2003). Dabei wird zum größten Teil der Wirkstoff Glyphosat eingesetzt, welcher zwar weniger toxisch als andere Wirkstoffe ist, aber sehr negative Folgen für die Biodiversität haben kann (siehe Kapitel 2.2.2). Bislang ist der Einsatz sehr stark toxischer Herbizide im Vergleich zu konventionellem Soja in Argentinien reduziert. Argentinische Landwirte setzen Glyphosat jedoch durchschnittlich 2,3 mal pro Jahr ein, US-Amerikanische Landwirte im Gegensatz dazu nur 1,3 mal je Jahr (Benbrook 2002). Herbizide werden dabei auch eingesetzt, um die Felder nach der Winterruhe im Frühjahr von Unkräutern zu befreien, wenn keine Zwischenfrucht gesät wird. Bei herbizidresistenten Pflanzen wird von Experten gegebenenfalls ein erhöhter Einsatz von Glyphosat oder der zusätzliche Einsatz anderer Herbizide empfohlen, um dadurch Resistenzbildungen zu verhindern, falls diese Pflanzen über mehrere Jahre angebaut werden (Schütte et al. 2004).

In Argentinien müssen die Landwirte inzwischen zusätzlich Durchwuchs von herbizidresistentem Soja bekämpfen, der aus Ernteverlusten auf dem Feld stammt. Da er nicht mit Glyphosat bekämpft werden kann, muss auf sehr schädliche Herbizidmischungen aus Paraquat und Atrazin oder Metsulfuron und Clopyralid zurückgegriffen werden (Bradford 2004).

Berichte, wonach Schädlinge wie Nematoden, Schnecken und Käfer beim Anbau von herbizidresistentem Soja zugenommen haben, liegen ebenfalls aus Argentinien vor. Sie müssen gegebenenfalls mit chemischen Mitteln bekämpft werden. Dieser Effekt ist vermutlich auf den pfluglosen Anbau des transgenen Sojas zurückzuführen (Boy 2004). Ein positiver Aspekt des pfluglosen Anbaus ist sicherlich, dass durch ihn die Erosion des Bodens deutlich vermindert wird, falls die Flächen ursprünglich gepflügt wurden.

Als ein weiterer vorher nicht vermuteter Effekt ist in Argentinien durch den Anbau von herbizidresistentem Soja auch der Einsatz von Stickstoffdünger bei der Sojakultur gestiegen (Boy 2004). Dies ist verwunderlich, da durch die Symbiose mit Knöllchenbakterien in den Wurzeln von Soja (und bei Leguminosen allgemein) Stickstoff fixiert wird. Der hohe Einsatz von Glyphosat könnte daher eventuell schädlich für Knöllchenbakterien sein.

Gravierende Auswirkungen auf abiotische Faktoren sind zu erwarten, falls in Zukunft salztolerante oder trockenheitsresistente Pflanzen kommerziell angebaut werden sollten (Eimer 2004). Entsprechende Forschungsprogramme werden häufig damit begründet, dass salztolerante transgene Nutzpflanzen auf ehemals nicht ackerbaulich nutzbaren Standorten angebaut werden könnten und dadurch zusätzliche Nutzflächen erschlossen würden. Dies gilt allerdings nur für wenige Regionen, wie beispielsweise Teile Israels oder Ägyptens, in denen salzhaltiges Grundwasser die landwirtschaftliche Nutzung stark einschränkt oder verhindert. In solchen Fällen würden mitunter wertvolle natürliche Ökosysteme durch die Umwandlung in Agrarland zerstört (siehe Kapitel 2.7). Ein großer Teil der weltweit versalzten Böden ist jedoch erst sekundär durch nicht nachhaltige Bewässerungstechniken entstanden. Salztolerante transgene Nutzpflanzen stellen daher im Bezug auf anthropogen verursachte Versalzungen nur einen symptomorientierten Lösungsansatz dar. Die Bekämpfung der Ursache der Versalzung muss jedoch Priorität haben. Dies gilt umso mehr, als man in Zukunft vor großen Herausforderungen bei der Bereitstellung von sauberem Wasser stehen wird. Durch eine schlechte Qualität des Beregnungswassers wird eine Bodenversalzung beschleunigt. Infolge einer weiteren Versalzung durch künstliche Beregnung von Anbauflächen wird der Salzgehalt in den Böden solange weiter ansteigen, bis auch keine transgenen, salztoleranten Sorten mehr dort wachsen können (Lewis 2002). Anstatt die Ursachen zu bekämpfen, würde dadurch einer weiteren Versalzung der Böden Vorschub geleistet.

Beim Anbau trockenheitsresistenter transgener Sorten können sich Erosionsprobleme durch die Umwandlung von trockenem Weideland in Ackerland verschärfen.

Zusammenfassend ist es als relativ wahrscheinlich einzuschätzen, dass der Anbau transgener Nutzpflanzen zumindest langfristig negative Auswirkungen auf die abiotischen Ressourcen hat. Zwar existieren für einzelne transgene Pflanzensorten auch Berichte über positive Auswirkungen, allerdings ist aufgrund von Resistenzbildungen und verändertem Schädling- und Krankheitsdruck damit zu rechnen, dass sich auch dort auf Dauer negative Auswirkungen einstellen werden.

2.7 Auswirkungen auf die agrarische und landschaftliche Diversität

Durch den Anbau transgener Nutzpflanzen kann die landwirtschaftliche Struktur einer Region und damit auch die Biodiversität auf der Landschaftsebene beeinträchtigt werden. Die Entwicklung transgener Nutzpflanzen erfolgt nur für wirtschaftlich besonders bedeutsame Arten. Normalerweise sind die Eigenschaften transgener Sorten auf hochtechnisierte und großflächige Anbaumethoden in Monokulturen zugeschnitten. Traditionelle Sorten oder Arten und ihre Anbausysteme, sind hingegen häufig an die lokalen Gegebenheiten angepasst und tragen mitunter zu einem reich strukturierten Landschaftsbild bei. In Zentralamerika wird beispielsweise von vielen Landwirten Mais in Mischkultur mit Bohnen (zumeist *Mucuna deeringiana*) angebaut. Transgene herbizidresistente Maissorten machen diese Form der Landwirtschaft unmöglich. Transgene herbizidresistente Sorten machen es für Landwirte mitunter verlockend, Monokulturen einer Pflanzenart über mehrere Jahre ohne eine Fruchtfolge anzubauen. In Kanada und Argentinien sind durch den Anbau herbizidresistenter Sorten Brachen in der Fruchtfolge seltener geworden, weil an ihrer Stelle relativ beikrautreiche Zwischenkulturen wie Erbsen und Linsen angebaut werden können (Schütte et al. 2004). Darunter leidet ebenfalls die Diversität der Agrarsysteme.

Transgene Nutzpflanzensorten können aufgrund der hohen Entwicklungskosten keinen lokal angepassten Ansatz zur Verbesserung der landwirtschaftlichen Situation darstellen. Derzeit sind beispielsweise allein in Ostafrika für den kommerziellen Anbau 89 verschiedene Süßkartoffelsorten wichtig. Existierende Forschungsprojekte, die eine einzige virusresistente Süßkartoffelsorte mit gentechnischen Methoden zu entwickeln versuchen, sind kein lokal

angepasster Ansatz. Die Sortenvielfalt würde zwangsläufig vermindert werden. Abgesehen davon konnten auch mit nicht-gentechnischen Methoden bereits virusresistente Sorten gezüchtet werden und es existieren entsprechende Anbaupraktiken, um einen Virusbefall zu verhindern (DeGrassi 2003). Entsprechendes gilt für Bt-Mais. Auch hier existiert eine hohe Sortenvielfalt in Afrika. Die Bekämpfung des Stammbohrers, der durch das Bt-Toxin abgetötet werden soll, wird bereits durch andere Methoden effektiv erreicht (International Centre of Insect Physiology and Ecology 2004). Der Anbau transgener Sorten kann jedoch dazu führen, dass bestimmte lokale Sorten und Nutzpflanzenarten in bestimmten Region gar nicht mehr angebaut werden.

Ein beeindruckendes Beispiel, welche negativen Auswirkungen die Einführung transgener Nutzpflanzen auf die Diversität der Agrosysteme insgesamt haben kann, liefert Argentinien. Im Jahr 2002 wurde dort auf 11,6 Millionen Hektar herbizidresistentes Soja angebaut. Das entspricht etwa der Hälfte der landwirtschaftlichen Fläche Argentiniens. Nur wenige Jahre vorher (noch vor dem Anbau von gv-Soja) betrug die Anbaufläche für Soja lediglich 6,7 Millionen Hektar. Neben einem Rückgang der Anbauflächen von Reis, Mais, Sonnenblumen und Weizen wurde der Zuwachs zu einem großen Teil durch die Umwandlung von Weideflächen, Gemüse- und Obstplantagen sowie Anbauflächen anderer lokaler Nutzpflanzen erzielt (Suárez 2003, Boy 2004). Dadurch wurde die Vielfalt der landwirtschaftlichen Ökosysteme stark beeinträchtigt, mit entsprechend negativen Auswirkungen für diejenigen Organismen, die von ihr abhängig sind. Zudem breitete sich der Anbau von Soja nicht nur in den traditionellen Ackerbaugebieten der Pampa aus, sondern auch im Gebiet des Chaco, einer ökologisch sensiblen Gegend (Bradford 2004). Auch ehemals bewaldete Gebiete wurden für den Sojaanbau gerodet (Burke 2004).

Umweltbedingungen wie das Wasser- und Nährstoffangebot, Klimabedingungen, der Salzgehalt der Böden oder das Vorkommen toxischer Metalle, stellen für Pflanzen Faktoren mit hohem Einfluss auf ihre geographische Verbreitung dar. In den meisten Entwicklungsländern sind nicht ackerbaulich genutzte Gebiete die letzten Rückzugsmöglichkeiten für selten gewordene Pflanzen und Tiere. Bei einer Nutzbarmachung würden sie weiter zurückgedrängt, wenn nicht sogar völlig eliminiert (Katz et al. 1995). Neue trockenolerante Pflanzen würden den Trockenfeldbau in bisher nur durch Weidewirtschaft genutzte Regionen vordringen lassen. Dadurch könnten beispielsweise im nördlichen Sahelgebiet große Flächen ackerbaulich genutzt werden.

Stresstolerante transgene Nutzpflanzen könnten auf ökologisch mitunter sehr wertvoller Flächen angebaut werden und dadurch gefährdete Arten und Ökosysteme verdrängen. Aufgrund des frühen Stadiums in der Entwicklung von stresstoleranten Pflanzen wurden bisher noch kaum Risikobewertungen durchgeführt. Grundsätzlich gilt für solche Pflanzen zudem, dass das Potential für eine Verbreitung als Unkraut mit der Stärke der Stresstoleranz zunimmt (siehe Kapitel 2.3). Wenn der entsprechende Stressfaktor, der in der Entwicklung einer transgenen Pflanze berücksichtigt wurde, für eine Pflanzenpopulation einen limitierenden Faktor darstellt, ist die Etablierung der transgenen Pflanzen als Unkraut besonders wahrscheinlich (Schmitz & Schütte 2000).

Es ist also aufgrund der bisherigen Erfahrungen aus dem kommerziellen Anbau äußerst wahrscheinlich, dass durch transgene Nutzpflanzen negative Auswirkungen auf die agrarische und landschaftliche Diversität auftreten.

3 GESUNDHEITLICHE RISIKEN

Von dem Einsatz transgener Nutzpflanzen in der Landwirtschaft können gesundheitliche Risiken ausgehen. Sie können beispielsweise durch einen erhöhten oder veränderten Einsatz von Pestiziden bedingt sein. Durch den Anbau von transgenen Pflanzen kann auch die Anbaufläche traditioneller Nahrungsmittel zurückgehen und indirekt ein negativer Effekt auf die Nahrungsversorgung und den Gesundheitszustand der Bevölkerung auftreten (siehe Kapitel 2.7). Beim Anbau transgener Futterpflanzen oder Pflanzen zur Produktion von pharmazeutischen oder anderen wirtschaftlich interessanten Proteinen können gesundheitliche Risiken durch Gen-Transfer oder Vermischungen in der Produktionslinie entstehen, wenn die gleiche (oder eine nahe verwandte) Pflanzenart zur Lebensmittelproduktion angebaut wird. Es ist auch nicht auszuschließen, dass allergologische oder toxische Wirkungen direkt durch Inhaltsstoffe der transgenen Pflanze auftreten.

3.1 Allergologische und toxische Wirkungen

Bedingung für die Zulassung transgener Pflanzen zur Nahrungsmittelproduktion sollte sein, dass von ihnen keine bedenklichen allergologischen oder toxischen Wirkungen ausgehen. Innerhalb der EU regelt die Verordnung (EG) Nr. 1829/2003 und die Richtlinie 2001/18/EG diesen Sachverhalt. Die von Antragstellern für eine Genehmigung zu erbringenden toxikologischen und allergologischen Informationen sind jedoch nicht näher definiert, wodurch weite Interpretationsspielräume für die Praxis der Sicherheitsbewertung entstehen. Bei einer kritischen Analyse von in der EU im Genehmigungsverfahren befindlichen und bereits genehmigten Anträgen wurde festgestellt, dass die Untersuchung zur Toxikologie und Allergologie bislang als mangelhaft zu bezeichnen sind (Spök et al. 2002, Spök et al. 2003). Es ist nicht davon auszugehen, dass in Entwicklungsländern bei Zulassungsanträgen höhere Ansprüche an Untersuchungen zur Toxikologie und Allergologie von transgenen Pflanzen gestellt werden als innerhalb der EU. Nach Spök et al. (2002, 2003) weisen die meisten bislang durchgeführten Untersuchungen unter anderem folgende Schwachstellen auf:

- Experimentelle toxikologische Untersuchungen einzelner Inhaltsstoffe der transgenen Pflanze werden nur sporadisch durchgeführt. Daten zur Toxikologie der gesamten transgenen Pflanze oder ihrer Produkte werden nicht ermittelt. Die Proteine für die Toxizitätsstudien wurden in Mikroorganismen produziert und stammten nicht aus den Pflanzen.
- Auf mögliche toxikologierelevante Wirkungen der Geninsertion wird nicht eingegangen.
- Häufig werden lediglich annahmenbasierte Argumente als Beleg für die Unbedenklichkeit der transgenen Pflanze verwendet.
- Die direkte Überprüfung potentiell allergener Eigenschaften der transgenen Pflanze sowie aus ihr hergestellter Produkte werden nicht durch Experimente unterstützt. Das Fehlen eines allergenen Potentials wird ausschließlich argumentativ oder indirekt durch Verdauungstests und Sequenzhomologieuntersuchungen begründet.
- Sekundäre Effekte der genetischen Veränderung, etwa die verstärkte Ausprägung von anderen Allergenen in der transgenen Pflanze, werden nicht erwogen.
- Die Untersuchungen werden zumeist nicht unter Einhaltung des Qualitätssicherungssystems der guten Laborpraxis durchgeführt.

Es kann somit davon ausgegangen werden, dass sich die tatsächlichen allergologischen und toxikologischen Eigenschaften der jeweiligen transgenen Pflanze derzeit erst durch den kommerziellen Anbau und ihren Konsum herausstellen. Allerdings existiert weltweit kein

einziges begleitendes wissenschaftliches Forschungsprogramm, das sich dieser Fragestellung widmet (GM Science Review Panel 2003).

Der norwegische Wissenschaftler Terje Traavik fand auf den Philippinen bei Untersuchungen von Blutproben, bei 39 Personen, die in der Nähe eines Bt-Maisfeldes leben, Antikörper gegen Bt-Proteine. Die Menschen zeigten zudem starke entzündliche Reaktionen wie Fieber, Atemwegs- und Hauterkrankungen. Ob die Belastung mit Bt-Toxin allerdings von dem nahegelegenen GV-Maisfeld stammt, ist bislang noch ungeklärt (Vidal 2004). Traavik verweist außerdem darauf, dass immunologische Reaktionen auf Bt-Toxine bereits in einigen Untersuchungen an Mäusen und Ratten festgestellt wurden und dass auch Landarbeiter in den USA nach Ausbringung von Bt-Spritzlösungen ähnliche entzündliche Reaktionen gezeigt hätten. Zu der Kritik, dass das Bt-Toxin nicht im Pollen exprimiert wird, stellte Traavik fest, dass dies nicht für alle GV-Pflanzen und nicht in verschiedenen Anbauregionen, unter den jeweiligen Umwelteinwirkungen, überprüft worden ist.

Bislang sind als Folge des Anbaus transgener Nutzpflanzen noch keine direkten allergologischen und toxikologischen Wirkungen wissenschaftlich bestätigt worden. Dies kann jedoch nicht als Beweis einer Unbedenklichkeit aller bislang angebaute transgenen Nutzpflanzen betrachtet werden. Zum einen sind Langzeiteffekte schwer zu untersuchen und zum anderen sind gesundheitliche Veränderungen mitunter schwierig direkt kausal zuzuordnen. Darüber hinaus können auch Veränderungen auftreten, die zunächst nicht als Krankheit wahrgenommen werden (GM Science Review Panel 2003).

Eine veränderte Zusammensetzung der Inhaltsstoffe transgener Nutzpflanzen kann unerwartete Effekte haben. Sie müssen nicht direkt auf den Inhaltsstoff, der durch die Geninsertion produziert wird, zurückzuführen sein, sondern können sich auch durch Pleiotropie- oder Positionseffekte ergeben. Pleiotropie bedeutet, dass ein Gen für die Ausbildung mehrerer verschiedener Merkmale oder Eigenschaften verantwortlich sein kann. Der Begriff „pleiotroper Effekt“ bezeichnet bei transgenen und nicht-transgenen Organismen eine oftmals unvorhergesehene Veränderung mehrerer Merkmale, wenn nur ein Merkmal verändert werden soll. Als „Positionseffekte“ werden Einflüsse bezeichnet, die ein Gen aufgrund seiner Lage im Genom eines bestimmten Organismus auf die Aktivität und Wirkung anderer Gene hat. Aus der Forschung an transgenen Nutzpflanzen liegen zahlreiche Fälle vor, in denen solche Effekte beobachtet wurden. Die Blüten transgener Petunien, die im Gewächshaus lachsfarben waren, entwickelten sich im Freiland plötzlich überwiegend weiß oder gesprenkelt. Herbizidresistente Sojapflanzen verholzen stärker als konventionelle Sojapflanzen. Transgene, fruktanbildende Kartoffeln zeigten unter anderem ein verändertes Blühverhalten und veränderte Triebhöhen (Öko-Institut 2001). Neben diesen offensichtlichen Veränderungen können natürlich auch Veränderungen im Stoffwechsel der Pflanze auftreten, die phänologisch nicht zu erkennen sind.

Ein weiterer Aspekt, der noch nicht ausreichend auf möglicher negativer gesundheitlicher Effekte untersucht wurde, ist die Aufnahme von Genen transgener Pflanzen durch Mikroorganismen im Verdauungstrakt von Tieren und Menschen. Bei Untersuchungen mit Rindern und Springschwänzen konnte gezeigt werden, dass bestimmte Mikroorganismen im Darm transformierbar sind (Orpin et al. 1986, Tebbe et al. 1994). Dies könnte auch im Menschen eine Veränderung der Darmflora zur Folge haben, falls transformierte Mikroorganismen entstehen und diese einen Selektionsvorteil hätten. Vor allem Antibiotikaresistenzen, wie sie im Genom der derzeit kommerziell angebaute transgenen Nutzpflanzen vorhanden sind, müssen in diesem Zusammenhang als problematisch bewertet werden. Dass im Verdauungstrakt Mikroorganismen entstehen können, die gegen Antibiotika resistent sind, ist vor allem bei Kühen zu erwarten, die mit Antibiotika als Wachstumsförderer gefüttert werden und gleichzeitig transgene Pflanzen mit

Antibiotikaresistenzgenen verzehren. Diese resistenten Mikroorganismen könnten dann eventuell auch den Menschen erreichen.

Des Weiteren ist bekannt, dass DNA transgener Pflanzen auch über das Darmepithel ins Blut gelangt und in Leukozyten oder Zellen von Körperorganen aufgenommen wird (Schubbert et al. 1997). Ob dies gesundheitliche Konsequenzen haben kann, ist fragwürdig.

Insgesamt lassen die bisherigen Erfahrungen aus dem Anbau und Verzehr transgener Nutzpflanzen nur bedingt eine Aussage zu, wie wahrscheinlich es ist, dass allergologischen und toxikologischen Wirkungen auftreten. Es mangelt vor allem an Langzeituntersuchungen, die gegebenenfalls eine Unbedenklichkeit der bislang angebauten transgenen Nutzpflanzen garantieren könnten.

3.2 Vermischung von Futtermittel- und Nahrungsmittelproduktion

Als Futtermittel zugelassene transgene Pflanzen sollten unter anderem aus gesundheitlichen Gründen von der Produktionslinie der Nutzpflanzen zur menschlichen Ernährung getrennt werden. Verschärft gilt dies für Pflanzen zur Produktion von pharmazeutischen oder anderen industriellen Inhaltsstoffen, die sowohl von Pflanzen zur Futtermittelproduktion als auch zur menschlichen Ernährung zu trennen sind. Um dies zu gewährleisten, muss ein Gen-Transfer durch Pollen verhindert werden sowie eine Vermischung des Saat- und Ernteguts vermieden werden.

Welche Faktoren auf die potentielle Höhe eines Gen-Transfer zwischen verschiedenen Sorten Einfluss nehmen, ist in Kapitel 2.1.2 anhand verschiedener Nutzpflanzenarten ausführlicher erläutert. Neben dem Bestäubungssystem der jeweiligen Art und Sorte sind dies vor allem naturräumliche Gegebenheiten und die verwendeten Anbausysteme.

Ein besonderes Problem, hinsichtlich einer möglichen Vermischung von Nahrungsmittel- und Futtermittelpflanzen, stellen auch transgene Durchwuchspflanzen dar. Dies sind Pflanzen, die noch aus einer vorhergehenden Bewirtschaftung der Ackerfläche stammen. Sie sind zumeist durch Ernteverluste bedingt und können erheblich in ihrer Höhe schwanken. Durchwuchspflanzen können unter anderem bei Raps, Soja, Baumwolle, Reis und Mais auftreten.

Vermischungen können entlang der Produktionslinie auch durch den Einsatz derselben landwirtschaftlichen Maschinen oder bei der Lagerung und Verarbeitung der Ernte auftreten (Meier et al. 2002).

Wie leicht es zu Vermischungen transgener Futtermittelsorten mit Sorten, die zur menschlichen Ernährung zugelassen sind, kommen kann, hat der Anbau der insektenresistenten Maissorte StarLink gezeigt. Die Maissorte hatte in den USA lediglich eine Zulassung als Tierfutter und für industrielle Zwecke, jedoch nicht als Lebensmittel. Im Jahre 2000 wurde zunächst in Taco-Chips DNA der Sorte StarLink nachgewiesen. Zahlreiche Lebensmittel mussten zurückgerufen werden. Für Landwirte, die Mais angebaut hatten, entstanden wirtschaftliche Nachteile durch den Vorfall. Aventis CropScience, der Hersteller von StarLink, akzeptierte in der Folge Kompensationszahlungen von 100 Millionen Euro in den USA (Aventis 2001).

Nutzpflanzen, die sowohl als Futtermittel, als auch als Nahrungsmittel für den Menschen angebaut werden und für die somit die Gefahr einer Vermischung besteht, sind neben Mais vor allem auch Soja und Raps. Baumwolle stellt einen Spezialfall dar, da sie primär wegen der industriell genutzten Fasern angebaut wird. Die Baumwollsamens finden jedoch sowohl als Tierfutter, als auch für die menschliche Ernährung (beispielsweise in Margarine) Verwendung. Falls transgene Baumwollsorten keine Zulassung als Futtermittel oder menschliches Nahrungsmittel besitzen, müsste also sichergestellt sein, dass die Samen

keine entsprechende Verwendung finden, beziehungsweise dass es nicht zu ungewollten Vermischungen kommt.

3.3 Einsatz von Pflanzenschutzmitteln

Bei den meisten transgenen Nutzpflanzen die bislang kommerziell angebaut werden, kann ein im Gegensatz zu konventionellen Sorten veränderter Einsatz von Pflanzenschutzmitteln erfolgen. Die Felder herbizidresistenter Sorten werden mit Breitbandherbiziden gespritzt. Transgene Bt-Pflanzen produzieren das Bt-Toxin permanent und werden beim verstärkten Auftreten von Sekundärschädlingen mit weiteren Pflanzenschutzmitteln behandelt. Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln kann sowohl im konventionellen Anbau, als auch im Anbau von transgenen Pflanzen gesundheitliche Risiken bergen. Die Gefährdung hängt von der Toxizität des jeweiligen Pflanzenschutzmittels, der Dosierung und der Häufigkeit seiner Anwendung und der Art der Ausbringung ab.

Beim integrierten Pflanzenschutz und beim ökologischen Landbau wird der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln an die jeweilige Bedarfssituation angepasst. Erst beim Überschreiten einer bestimmten Schadschwelle werden sie eingesetzt. Beim ökologischen Landbau wird zudem versucht, über möglichst umweltverträgliche, zumeist biologische Präparate oder den Einsatz von Nützlingen Schäden zu begrenzen. Ein solches Vorgehen ist bei den derzeitigen kommerziell angebauten transgenen Pflanzen nicht der Fall und auch nicht Ziel der Entwicklung solcher Pflanzen. Bei transgenen Nutzpflanzen wird der Ansatz verfolgt, präventiv Insektizide von Pflanzen produzieren zu lassen oder die Pflanzen an den obligatorischen Einsatz von Breitbandherbiziden zu koppeln. Dieser Ansatz ist nicht nur ökologisch (siehe Kapitel 2), sondern auch gesundheitlich bedenklich. Erfreulich ist die von der Indischen Regierung ins Leben gerufene Initiative, die sich mit dem „Capacity-building“ im Bereich des Integrierten Pflanzenschutzes bei Baumwolle beschäftigt. Sie wird von der FAO, der Asian Development Bank, CABI und UNDP finanziell unterstützt (Sharma 2004). Ähnliche Projekte sollten unbedingt verstärkt in Entwicklungsländern initiiert oder gefördert werden, um eine gesundheitlich und ökologisch unbedenkliche Landwirtschaftsform zu etablieren.

Dass hingegen beim Anbau konventioneller Sorten mitunter gesundheitsschädlichere Pflanzenschutzmittel oder mehr Pflanzenschutzmittel gespritzt werden, als beim Anbau bestimmter transgener Sorten, zeigen Beispiele aus dem Anbau von Bt-Baumwolle. Dieser soll sich in bestimmten Gebieten weniger negativ auf die Gesundheit der betroffenen Landwirte ausgewirkt haben, da weniger Insektizide gespritzt werden mussten (Pray et al. 2002, Bennet et al. 2003). Wie aus Kapitel 2.6 hervor geht, ist jedoch langfristig der kommerzielle Anbau transgener Nutzpflanzen, hinsichtlich seiner Auswirkungen auf die Gesundheit der Landwirte, generell eher kritisch zu beurteilen. Eine dauerhafte Verminderung der eingesetzten Pflanzenschutzmittel und dadurch der gesundheitlichen Risiken wird sich nur durch einen integrativen Ansatz erreichen lassen.

Bei den meisten transgenen herbizidresistenten Nutzpflanzen wird ein Breitbandherbizid eingesetzt, dessen Wirkung auf dem Wirkstoff Glyphosat basiert. Die akute Toxizität von Glyphosat wird von der WHO im Vergleich zu anderen Wirkstoffen als gering eingeschätzt. Allerdings wurden auch für Glyphosat in Untersuchungen bei Säugetieren gesundheitliche Folgen wie geringere Gewichtszunahme, verringerte Libido und ein geringeres Ejakulatvolumen festgestellt (Yousef et al. 1995, Cox 1995). Kanzerogene Effekte wurden ebenfalls vermutet (Hardell & Eriksson 1999). Auswirkungen auf die Gesundheit können bei Breitbandherbiziden jedoch nicht nur von den enthaltenen Wirkstoffen ausgehen, sondern auch von anderen Inhaltsstoffen. Das häufig eingesetzte Herbizid „Roundup“ enthält beispielsweise neben dem Wirkstoff Glyphosat unter anderem bis zu 15 % des oberflächenaktiven Stoffes POEA (Polyoxyethylen Alkylamin). In Untersuchungen wies

POEA eine höhere akute Toxizität bei Ratten und Wasserorganismen auf, als der Wirkstoff Glyphosat (Cox 1998, Martinez & Brown 1991). Von 38 in den USA zugelassenen Herbiziden, die Glyphosat als Wirkstoff enthalten, werden 14 Produkte vom Pesticide Action Network North America (2004) als „PAN Bad Actor Product“ eingestuft. Die akute Toxizität dieser Herbizide ist als hoch eingestuft.

Obleich noch keine wissenschaftlichen Studien über gesundheitliche Schädigungen durch den Einsatz von Breitbandherbiziden im kommerziellen Anbau transgener Pflanzen vorliegen, ist dies nicht auszuschließen. In Regionen in denen transgene herbizidresistente Nutzpflanzen die landwirtschaftlichen Flächen dominieren und keine Fruchtfolgen angewendet werden, kann eine großflächige, unangepasst häufige Ausbringung von Herbiziden gesundheitliche Risiken erhöhen. In einem Bericht des New Scientist (Bradford 2004) werden in Argentinien gesundheitliche Probleme auf den Einsatz von Roundup zurück geführt.

3.4 Förderung einseitiger Ernährung

Durch den Anbau transgener Pflanzen können lokale Nutzpflanzen verdrängt werden (siehe Kapitel 2.7). Neben einer direkten Verdrängung durch den Anbau transgener Pflanzenarten auf Standorten, auf denen zuvor andere Nutzpflanzen kultiviert wurden, kann eine Verdrängung auch durch die Aufgabe von Fruchtfolgen oder Mischkulturen erfolgen. Beides kann dazu führen, dass die einkommensschwache ländliche und städtische Bevölkerung keinen Zugang mehr zu traditionellen Nahrungsmitteln hat. Es besteht dadurch die Gefahr, dass ihre Ernährung unausgewogen wird und gesundheitliche Probleme auftreten. Solche Entwicklungen hat es auch bei konventionellen Nutzpflanzen in der Vergangenheit gegeben, wenn sogenannte „cash-crops“, also Pflanzen die in Entwicklungsländern fast ausschließlich für den Export angebaut werden, traditionelle Nutzpflanzen oder Sorten verdrängt. Transgene Nutzpflanzen werden diesen Trend fortsetzen, da vor allem Futterpflanzen und andere wichtige Nutzpflanzen für den Export Ziel der Entwicklung sind.

In Argentinien gehört Soja nicht zu den traditionellen Nahrungspflanzen der Bevölkerung. Da transgenes Soja jedoch zahlreiche andere Nutzpflanzen in Argentinien verdrängt hat, muss die Ernährung der Bevölkerung aufgrund der Armut in einigen Regionen und aufgrund der angespannten Versorgungslage mit Nahrungsmitteln nun verstärkt auf Soja umgestellt werden. Von Armenküchen wurden jedoch Soja-Spenden mit dem Argument abgelehnt, dass sich der Konsum von Soja auf Kleinkinder nachteilig auswirkt. Argentinische Ernährungswissenschaftler sprachen sich gegen einen Einsatz von Soja für Kleinkinder und stillende Mütter aus, weil Soja für Kalzium- und Eisenmangel verantwortlich gemacht wird (Suárez 2003).

Die Möglichkeit, dass transgene Pflanzen weniger wertvolle Pflanzeninhaltsstoffe als lokale Sorten enthalten können, sollte ebenfalls nicht außer Acht gelassen werden. Bei herbizidresistentem Soja wurde beispielsweise festgestellt, dass es weniger Isoflavone enthält, welche möglicherweise eine krebshemmende Wirkung besitzen (Altieri & Rosset 1999). Studien die im Rahmen des US-Genehmigungsverfahrens vorgelegt wurden, zeigten einen veränderten Fett- und Kohlenhydratgehalt in transgenen herbizidresistenten Sojabohnen sowie einen erhöhten Fettsäureanteil (Padgett et al. 1996). Lappe et al. (1999) stellten fest, dass der Gehalt von diversen Phytohormonen verringert war. Fütterungsversuche mit transgenem Soja an Kühen ließen einen veränderten Milchfettgehalt erkennen (Hammond et al. 1996).

Insgesamt lassen die bisherigen Erfahrungen aus dem Anbau transgener Nutzpflanzen den Schluss zu, dass durch ihren Anbau wahrscheinlich einer einseitigen Ernährung Vorschub geleistet wird.

4 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Transgene Pflanzen können Gene aus nicht näher mit ihnen verwandten Organismen enthalten. Diese Form des Gen-Transfers war in der Evolution bislang nicht möglich. Die Folgen für die Natur können nicht vorhergesagt werden. Es handelt sich um ein Experiment mit der Evolution, das Auswirkungen auf alle Organismen der Erde haben kann.

Obgleich viele unerwartete Effekte durch die Freisetzung transgener Organismen auftreten können, gibt es einige ökologische Risiken die bereits bekannt sind. Die Erfahrungen stammen aus wissenschaftlichen Studien und aus dem kommerziellen Anbau transgener Sorten.

- Die Pflanzenressourcen, als Ausgangsmaterial für die Weiterentwicklung von Kulturpflanzen, können durch einen Gen-Transfer von transgenen Nutzpflanzen in lokale Sorten oder Wildpflanzen betroffen sein.
- Transgene Nutzpflanzen können Stoffe produzieren, die andere Organismen schädigen oder abiotische Ressourcen belasten.
- An transgene Nutzpflanzen gekoppelte Bewirtschaftungsformen, wie der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und die Art der Bodenbearbeitung, können nachteilige Effekte auf andere Organismen (Biodiversität) oder abiotische Ressourcen haben. Auch die Aufgabe von Fruchtfolgen oder Brachestadien, infolge veränderter Bewirtschaftungsformen, fallen hierunter.
- Transgene Nutzpflanzen, Pflanzen die von einem Gen-Transfer betroffen sind und resistente Unkräuter können sich zu Problemunkräutern oder invasiven Arten entwickeln.
- Beim großflächigen Anbau transgener Nutzpflanzensorten ist durch die genetische Einheitlichkeit die Anfälligkeit für Pathogene erhöht.
- Der Anbau transgener Sorten kann die agrarische und landschaftliche Diversität verringern. Anbauflächen lokaler Nutzpflanzenarten oder -sorten können ebenso wie bislang nicht ackerbaulich genutzte Flächen verloren gehen, mit entsprechend negativen Folgen für die mit ihnen vergesellschafteten Organismen.

Je nach Pflanzenart und Eigenschaften der transgenen Sorte variieren die Art und Höhe der Risiken stark. Spezifisch für Entwicklungsländer führen die ökologischen Risiken unter Berücksichtigung der jeweiligen ökologischen, landwirtschaftlichen und gesellschaftlichen Situation zu folgenden Einschätzungen:

- Der Schutz der Herkunftsregionen von Nutzpflanzen und Zentren der Sortendiversität, die sich vielfach in Entwicklungsländern befinden, muss gewährleistet werden. In sensiblen Regionen sollte kein Anbau transgener Sorten stattfinden.
- Da die wissenschaftliche Kenntnis der Ökosysteme in Entwicklungsländern oftmals schlechter ist, als in Europa oder Nordamerika, sind Auswirkungen transgener Nutzpflanzen auf andere Organismen dort schwerer vorherzusagen. Im Zweifel sollten nicht einschätzbare ökologische Risiken gegen einen Anbau transgener Sorten in diesen Regionen sprechen.
- Es sollte sichergestellt sein, dass die Anbauauflagen oder Empfehlungen (Anlage von Refugien um die Entstehung von Resistenzen zu verzögern, empfohlene Mengen von Pestiziden, empfohlene Fruchtfolgen, Einschränkungen des Anbaus für ökologisch sensible Regionen) auch tatsächlich eingehalten werden können. Falls dies nicht gewährleistet ist, sollte sich gegen einen Anbau transgener Sorten ausgesprochen werden.

- Gentechnische Veränderungen, die an Nutzpflanzen vorgenommen werden, adressieren in der Regel nur Symptome von Problemen der landwirtschaftlichen, wirtschaftlichen oder sozialen Systeme, nicht jedoch ihre Ursachen. Nachhaltige, Ursachen-orientierte Ansätze sollten verstärkt gefördert werden.

Der Anbau von transgenen Nutzpflanzen ist aus ökologischer Sicht in Entwicklungsländern generell sicherlich nicht zu favorisieren. Der Ansatz ist weder an regionale Gegebenheiten angepasst, noch als ganzheitlich zu bezeichnen. Es ist sicherlich eine Illusion, allein durch den Anbau transgener Sorten landwirtschaftliche Probleme auf eine ökologisch vorteilhafte Art lösen zu können. Die Risiken, die durch transgener Organismen im Ablauf der Evolution entstehen, sind nicht vorhersehbar. Es ist äußerst fragwürdig, ob die Notwendigkeit besteht, diese Risiken in Kauf nehmen zu müssen. Zwar könnten Risiken dadurch vermindert werden, dass transgene Pflanzen nur mit dem Erbgut von nahe verwandten Arten oder Sorten entwickelt werden und auf Gene von nicht näher verwandten Gruppen verzichtet wird. Pleiotropie- und Positionseffekte wären dadurch trotzdem nicht auszuschließen.

Wünschenswert wäre eine Landwirtschaftsform, bei der die lokale Bevölkerung mit in die Entwicklung neuer Sorten einbezogen wird. Die Sorten sollten auf der Basis traditioneller einheimischer Sorten weiter entwickelt werden, und ein möglichst ganzheitlicher Ansatz beim Anbau und Pflanzenschutz gewählt werden. So kann sichergestellt werden, dass die Sortenvielfalt und Biodiversität erhalten wird und die Landwirtschaft lokal angepasst, nachhaltig und wenig störungsanfällig ist. Eine solche Landwirtschaftsform wäre sozial und ökologisch verträglich.

Die gesundheitlichen Risiken transgener Nutzpflanzen sind schwer abzuschätzen. Bislang sind als Folge des kommerziellen Anbaus transgener Nutzpflanzen noch keine direkten allergologischen oder toxikologischen Wirkungen wissenschaftlich bestätigt worden. Da Langzeiteffekte schwer zu untersuchen sind und zum anderen gesundheitliche Veränderungen mitunter schwierig direkt kausal zuzuordnen sind, kann dies jedoch nicht als Beweis einer Unbedenklichkeit aller transgenen Nutzpflanzen betrachtet werden. Außerdem existieren weltweit keine begleitenden wissenschaftlichen Forschungsprogramme, die sich mit den gesundheitlichen Risiken transgener Pflanzen beschäftigen.

Gesundheitliche Risiken birgt auch ein erhöhter oder veränderter Einsatz von Pestiziden oder ein Rückgang der Anbaufläche traditioneller Nahrungsmittel, der indirekt einen negativen Effekt auf die Nahrungsversorgung und den Gesundheitszustand der Bevölkerung ausübt. Erfahrungen aus den Industrienationen haben gezeigt, dass eine Vermischung von transgenen Futtermittelpflanzen oder anderen Nutzpflanzen die nicht für den menschlichen Verzehr zugelassen sind mit menschlicher Nahrung mitunter nicht zu verhindern ist. In vielen Entwicklungsländern wird eine solche Trennung noch schwerer zu gewährleisten sein.

5 LITERATUR

Altieri, M. A. & Rosset, P. (1999): Ten reasons why biotechnology will not ensure food security, protect the environment and reduce poverty in the developing world. *AgBioForum* 2 (3&4): 155-162.

<http://www.agbioforum.org/v2n34/v2n34a03-altieri.htm>

Aventis (2001): Aventis Annual Report 2000. Strasbourg.

http://www.aventis.com/main/order_center/download/ave_annualreport_2000_short_en.pdf

Avila Díaz, I. (1992): Contribución al conocimiento florístico-ecológico de las plantas arvenses en el cultivo de maíz de temporal de la Cuenca Hidrográfica "Presa Cointzio", Mich., México. B.Sc. Thesis, Morelia, Michoacán: Escuela de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Benbrook, C. (2002): First Generation Genetically Modified Crops: Lessons from the United States. International Institute for Sustainable Development, Winnipeg, Canada.

http://www.tradeknowledgenetwork.net/pdf/tkn_firstgen_gmo_us.pdf

Bennett, R., Morse, S. & Ismael, Y. (2003). The benefits of Bt cotton to small-scale producers in developing countries: the case of South Africa. Paper presented at the 7th ICABR International Conference on Public Goods and Public Policy for Agricultural Biotechnology, Ravello, Italy, 29 June to 3 July 2003.

<http://www.economia.uniroma2.it/conferenze/icabr2003/papers/papers.htm>

Bernhardt, M., Thomas, F. & Tappeser, B. (1991): Gentechnik und biologischer Pflanzenschutz, Analyse und Bewertung gentechnischer Ansätze in der biologischen Schädlingsbekämpfung. Öko-Institut e.V., Werkstattreihe 73, Freiburg i. Br.

Berthaud, J. & Gepts, P. (2004): Assessment of effects on genetic diversity. In: Maize and biodiversity: The effects of transgenic maize in Mexico. North American Commission for Environmental Cooperation.

http://www.cec.org/files/pdf/Maize-Biodiversity-Chapter3_en.pdf

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. In: Annual Report of the Scottish Crop Research Institute, 1996/1997: 68–72.

Boy, A. (2004): Argentina: In the wake of genetically modified soy. Occasional paper, Edmonds Institute, Washington.

Bradford, S. (2004): Argentina's bitter harvest. *New Scientist*, 17 April 2004.

Brauner, R. (2002): Gen-Transfer – na und? Wissenschaftliche und rechtliche Hintergründe. *Gentechnik-Nachrichten* 11/12, Öko-Institut e.V., Freiburg i.Br.

http://www.oeko.de/gen/s011012_de.pdf

Brauner, B., Vogel, B., Mutschler, M., Falk, W., Baier, A. & Tappeser, B. (2001): Pilotprojekt zum Monitoring gentechnisch veränderter Pflanzen (GVP). Öko-Institut e.V., Freiburg i.Br.

Brooks, D. R., Bohan, S. J., Champion, G. T., Haughton, A. J., Hawes, C., Heard, M. S., Clark, S. J., Dewar, A. M., Firbank, L. G., Perry, J. N., Rothery, P., Scott, R. J., Woiwood, I. P., Birchall, C., Skellern, M. P., Walker, J. H., Baker, P., Bell, D., Browne, E. L., Dewar, A. J. G., Fairfax, C. M., Garner, B. H., Haylock, L. A., Horne, S. L., Hulmes, S. E., Mason, N. S., Norton, L. R., Nuttal, P., Randle, Z., Rossall, M. J., Sands, R. J. N., Singer, E. J. & Walker, M. J. (2003): Invertebrate responses to the management of the genetically modified herbicide-tolerant crops. I. Soil-surface-active invertebrates. *The Philosophical Transactions*

of the Royal Society (Biological Sciences) 358: 1847-1862.

http://www.pubs.royalsoc.ac.uk/phil_bio/fse_content/TB031847.pdf

Burke, H. (2004): Argentina's GMO soy raising environment concerns. Reuters, May 26, 2004.

<http://www.reuters.com/newsArticle.jhtml?type=topNews&storyID=5265722&pageNumber=0>

Candresse, T., Revers, F., Le Gall, O. & Kofalvi, S. (1997): OECD workshop: Potential ecological impact of transgenic plants expressing viral sequences, 24–26. April 1997, abstract.

Chilcutt, C. F. & Tabashn, B. E. (2004): Contamination of refuges by *Bacillus thuringiensis* toxin genes from transgenic maize. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Published online before print May 10, 2004.

<http://www.pnas.org/cgi/content/abstract/0400546101v1>

Ching, L. L. (2004): Broken Promises: Will GM crops really help developing countries? The Institute of Science in Society (ISIS), London.

<http://www.i-sis.org.uk/full/BrokenPromisesFull.php>

Cox, C. (1995): Glyphosate, Part 1: Toxicology. Journal of Pesticide Reform, 15(3): 14–20.

Cox, C. (1998): Glyphosate (Roundup). Journal of Pesticide Reform 18 (3), 3–17, aktualisiert April 2003.

<http://www.pesticide.org/gly.pdf>

Davidse, G. & Pohl, R. W. (1994): *Tripsacum* L. In Flora Mesoamericana, Volumen 6. Alismataceae a Cyperaceae, G. Davidse, M Sousa S., and A. O. Chater, eds., 398-401. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México/Missouri Botanical Garden, The Natural History Museum (London).

DEFRA Department for Environment, Food and Rural Affairs (2002): Modelling the effects of farmland food webs of herbicide and insecticide management in the agricultural ecosystem, DEFRA EPG 1/5/188.

http://www.defra.gov.uk/environment/gm/research/pdf/epg_1-5-188.pdf

DeGrassi, A. (2003): Genetically modified crops and sustainable poverty alleviation in sub-saharan Africa. Third World Network-Africa.

<http://allafrica.com/sustainable/resources/view/00010161.pdf>

Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (2001): Themenblätter Biodiv: Agrobiodiversität. Genetische Ressourcen für Ernährung und Landwirtschaft.

http://www.gtz.de/biodiv/download/themen/agrobiodiv_de.pdf

de Vries, F. T., van der Meijden, R. & Brandenburg, W. A. (1992): Botanical files: a study of the real chances for spontaneous gene flow from cultivated plants to the wild flora of the Netherlands. Ministerie VROM, Rapport Nr. SVS/GGO/2.

Doebley, J. F. (1990): Molecular evidence and the evolution of maize. Economic Botany 44 (3 Supplement): 6-27.

Donegan, K. K., Palm, C. J., Fieland, V. J., Porteous, L. A., Ganio, L. M., Schaller, D. L., Bucuo, L. Q. & Seidler, R. J. (1995): Changes in levels, species and DNA fingerprints of soil microorganisms associated with cotton expressing the *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* endotoxin. Applied Soil Ecology, 2: 111–124.

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.

Dunfield, K. E. & Germida, J. J. (2001): Diversity of bacterial communities in the rhizosphere and root interior of field-grown genetically modified *Brassica napus*. *FEMS Microbiology Ecology*, 38, 1-9.

Dutton, A., Klein, H., Romeis, J. & Bigler, F. (2002): Uptake of Bt-toxin by herbivores feeding on transgenic maize and consequences for the predator *Chrysoperla carnea*. *Ecological Entomology* 27:441-447.

Eckelkamp, C., Mayer, M. & Weber, B. (1997): BASTA-resistenter Raps. Vertikaler und horizontaler Gentransfer unter besonderer Berücksichtigung des Standortes Wölfersheim-Melbach. Werkstattreihe, 100, Öko-Institut e.V., Freiburg i.Br.

Eimer, M. (2004): Transgene dürre- und salztolerante Pflanzen. *Gentechnik-Nachrichten* 15, Öko-Institut e.V., Freiburg i.Br.

http://www.oeko.de/gen/s015_de.pdf

Ellstrand, N. C., Prentice, H. C. & Hancock, J. F. (1999) Gene flow and introgression from domesticated plants into their wild relatives. *Annu. Rev. Ecol. Syst* 30: 539-563.

Espinosa-García, F. J. & Sarukhán, J. (1997): *Manual de malezas del Valle de México*. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México/Fondo de Cultura Económica.

FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations (1997): *The state of the world's plant genetic resources for food and agriculture*. Rome.

<http://www.fao.org/WAICENT/Faoinfo/Agricult/AGP/AGPS/pgafa/pdf/SWRFULL.PDF>

FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations (2004b): *FAO-BioDeC Biotechnologies in Developing Countries*

http://www.fao.org/biotech/inventory_admin/dep/default.asp

FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations (2004b): *The State of Food and Agriculture 2003-04. Agricultural Biotechnology. Meeting the needs of the poor?* Rome.

<http://www.fao.org/docrep/006/Y5160E/Y5160E00.HTM>

Franke, W. (1997): *Nutzpflanzenkunde. Nutzbare Gewächse der gemäßigten Breiten, Subtropen und Tropen*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.

Gerdemann-Knörck, M. & Tegeder, M. (1997): *Kompendium der für Freisetzen relevanten Pflanzen; hier: Brassicaceae, *Beta vulgaris*, *Linum usitatissimum**.

Umweltbundesamt (Hrsg.), UBA Texte 38/97, Berlin.

Gibbs, M. J., Weiller, G.F. & Gibbs, A.J. (1997): OECD workshop: Potential ecological impact of transgenic plants expressing viral sequences, 24–26. April 1997, abstract.

Glover, D. (2003): 'Bt cotton: benefits for poor farmers?' *Democratising Biotechnology: Genetically Modified Crops in Developing Countries Briefing Series*. Briefing 9. Brighton, UK: Institute of Development Studies.

<http://www.ids.ac.uk/ids/env/PDFs/Briefing9.pdf>

GM Science Review Panel (2003): *GM Science Review first report*. UK.

<http://www.gmsciencedebate.org.uk/report/pdf/gmsci-report1-full.pdf>

Gould, F., Tabashnik, B., Hutchinson, W., Ferro, D., Andow, D. & Whalon, M. (1998): *Recommendations for developing and implementing resistance management plans for Bt-toxin-producing crops*. In: Mellon, M. & Rissler, J. (eds.): *Now or Never*. Union of Concerned Scientists, Cambridge.

- Gravel, P. (2001): Pollution par les OGM dans le fleuve Saint-Laurent. Le Devoir, Canada, 18 décembre 2001.
- Greene, A. E. & Allison, R. F. (1994): Recombination between viral RNA and transgenic plant transcripts. *Science*, 263: 1423–1425.
- Hall, L., Topinka, K., Huffman, J., Davis, L., & Good, A. (2000): Pollen flow between herbicide-resistant *Brassica napus* is the cause of multiple-resistant *B. napus* volunteers. *Weed Science* 48: 688-694.
- Hammond, B. G., Vicini, J. L., Hartnell, G. F., Naylor, M. W., Knight, C.D., Robinson, E.H., Fuchs, R. L. & Padgett, S. R. (1996): The feeding value of soybeans fed to rats, chickens, catfish and dairy cattle is not altered by genetic incorporation of glyphosate tolerance. *Journal of Nutrition*, 126: 717–727.
- Hansen, L. & Obrycki, J. (1999): Non-target effect of Bt pollen on the Monarch butterfly (Lepidoptera: Danaidae).
<http://www.ent.iastate.edu/entsoc/ncb99/prog/abs/D81.html>
- Hardell, L. & Eriksson, M. (1999): A case-control study of non-Hodgkin lymphoma and exposure to pesticides. *Cancer*, 85/6: 1353–1360.
- Hartmann, A. (2002): Funktionsweise und Risiken von Gene Usage Restriction Technologies (Terminator-Technologie). UBA-Texte 74/02, Umweltbundesamt, Berlin.
- Haughton, A. J., Champion, G. T., Hawes, C., Heard, M. S., Brooks, D. R., Bohan, S. J., Clark, S. J., Dewar, A. M., Firbank, L. G., Osborne, J. L., Perry, J. N., Rothery, P., Roy, D. B., Scott, R. J., Woiwood, I. P., Birchall, C., Skellern, M. P., Walker, J. H., Baker, P., Browne, E. L., Dewar, A. J. G., Garner, B. H., Haylock, L. A., Horne, S. L., Mason, N. S., Sands, R. J. N. & Walker, M. J. (2003): Invertebrate responses to the management of the genetically modified herbicide-tolerant crops. II. Within-field epigeal and aerial arthropods. *The Philosophical Transactions of the Royal Society (Biological Sciences)* 358: 1863-1877.
http://www.pubs.royalsoc.ac.uk/phil_bio/fse_content/TB031863.pdf
- Heard, M. S., Hawes, C., Champion, G. T., Clark, S. J., Firbank, L. G., Haughton, A. J., Parish, A. M., Perry, J. N., Rothery, P., Roy, D. B., Scott, R. J., Skellern, M. P., Squire, G. R. & Hill, M. O. (2003a): Weeds in fields with contrasting conventional and genetically modified herbicide-tolerant crops I. Effects on abundance and diversity. *The Philosophical Transactions of the Royal Society (Biological Sciences)* 358: 1819-1832.
http://www.pubs.royalsoc.ac.uk/phil_bio/fse_content/TB031819.pdf
- Heard, M. S., Hawes, C., Champion, G. T., Clark, S. J., Firbank, L. G., Haughton, A. J., Parish, A. M., Perry, J. N., Rothery, P., Roy, D. B., Scott, R. J., Skellern, M. P., Squire, G. R. & Hill, M. O. (2003b): Weeds in fields with contrasting conventional and genetically modified herbicide-tolerant crops II. Effects on individual species. *The Philosophical Transactions of the Royal Society (Biological Sciences)* 358: 1833-1846.
http://www.pubs.royalsoc.ac.uk/phil_bio/fse_content/TB031833.pdf
- Hilbeck, A., Baumgartner, M., Fried, P. M. & Bigler, F. (1998): Effects of transgenic *Bacillus thuringiensis*-corn-fed prey on mortality and development time of immature *Chrysoperia carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Environmental Entomology*, 27: 480–487.
- Hoffmann, M. & Köhler, W. (2000): Modellierung von Genfluss und Verwilderung bei transgenen Zuckerrüben (*Beta vulgaris convar. Altissima* DÖLL). In: SCHIEMANN, J. (Hrsg.): Biologische Sicherheitsforschung bei Freilandversuchen mit transgenen Organismen und anbaubegleitendes Monitoring, Proceedings zum BMBF-Statusseminar 29.-30. Juni 1999, Braunschweig, S. 101 – 110.

- Huang, F., Buschman, L. L., Higgins, R. A. & McGaughey, W. H. (1999): Inheritance of Resistance to *Bacillus thuringiensis* Toxin (Dipel ES) in the European Corn Borer. *Science*, 284: 965.
- International Centre of Insect Physiology and Ecology (ICIPE) Research Divisions Plant Health, Staple Food Crop Pests, webpage May 15, 2004.
<http://www.icipe.org/cgi-bin/WebObjects/ICIPE.woa/wa/menuitem?name=Staple+Food+Crop+Pests>
- James, C. (2003): Preview: Global Status of Commercialized Transgenic Crops: 2003. International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA). Briefs No. 30., ISAAA: Ithaca, NY.
- Jia, S. (2002): Studies on Gene Flow in China – A Review. The 7th International Symposium on the Biosafety of Genetically Modified Organisms Beijing, China.
<http://www.isbr.info/images/isbgmo.pdf>
- Kabalata, M. (2004): SADC Sets Guidelines for Gm Food. *The Times of Zambia* (Ndola), May 14, 2004.
<http://allafrica.com/stories/200405140191.html>
- Katz, C., Schmitt, J. J., Hennen, L. & Sauter, A. (1995): Auswirkungen moderner Biotechnologien auf Entwicklungsländer und Folgen für die zukünftige Zusammenarbeit zwischen Industrie- und Entwicklungsländern. TAB-Arbeitsbericht Nr. 34.
- Kellogg, E. A. (1998): Relationships of cereal crops and other grasses. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 95: 2005-2010.
- Kowarik, I. (2003): *Biologische Invasionen – Neophyten und Neozoen in Mitteleuropa*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Lappe, M. A., Bailey, E. B., Childress, C. & Setchell, K. D. R. (1999): Alterations in Clinically Important Phytoestrogens in Genetically Modified, Herbicide-Tolerant Soybeans. *Journal of Medicinal Food*, 1(4).
- Lewis, R. (2002). Using transgenesis to create salt-tolerant plants. *The Scientist*, march 2002
- Liu, Y.-B., Tabashnik, B. E., Dennehy, T. J., Patin, A. L. & Bartlett, A. C. (1999): Development time and resistance to Bt crops. *Nature*, 400: 519.
- Lommel, A. & Xiong, Z. (1991): Reconstitution of a functional red clover necrotic mosaic virus by recombinational rescue of the cell-to-cell movement gene expressed in a transgenic plant. *Journal of Cellular Biochemistry*, 15A (suppl.): 151.
- Losey, J. E., Rayor, L. S. & Carter, M. E. (1999): Transgenic pollen harms monarch larvae. *Nature*, 399: 214.
- Lu, B.-R. (1996): Diversity of the rice gene pool and its sustainable utilization. In (Zhang, A. L., Wu, S. G., eds.): *Floristic Characteristics And Diversity of East Asian Plants*. Beijing: China Higher Education Press-Berlin: Springer-Verlag, p. 454-460.
- Lu, B.-R., Song, Z. & Chen, J. (2002): Gene flow from crops to wild relatives in Asia: case studies and general expectations. The 7th International Symposium on the Biosafety of Genetically Modified Organisms Beijing, China.
<http://www.isbr.info/images/isbgmo.pdf>
- Martinez, T. T. & Brown, K. (1991): Oral and pulmonary toxicology of the surfactant used in Roundup herbicide. *Proceedings of the Western Pharmacology Society* 34, 43–46.

- Mellon, M. & Rissler, J. (eds.) (1998): Now or Never. Serious new plans to save a natural pest control. Union of Concerned Scientists Cambridge, Massachusetts.
- Meier, J., Beck, A., Brauner, R., Hermanowski, R., Mäder, R., Nowack, K., Tappeser, B. & Wilbois, K. P (2002): Bleibt in Deutschland bei zunehmendem Einsatz der Gentechnik in Landwirtschaft und Lebensmittelproduktion die Wahlfreiheit auf GVO-unbelastete Nahrung erhalten? Öko-Institut e.V. & Forschungsinstitut für biologische Landbau (FiBL) Deutschland.
<http://www.oeko.de/oekodoc/206/2002-048-de.pdf>
- Obrycki, J. J., Losey, J. E., Taylor, O. R. & Jesse, L. C. H. (2001): Transgenic insecticidal corn: beyond insecticidal toxicity to ecological complexity. *BioScience* 51:353-361.
- Öko-Institut e.V. (2001): Pleiotrope und Positionseffekte - ungewollte Effekte der Gentechnik. *Gentechnik-Nachrichten Spezial* 6, Freiburg i.Br.
http://www.oeko.de/gen/s006_de.pdf
- Orpin, C. G, Jordan, D. J., Hazlewood, G. P., Mann S. P. (1986): Genetic transformation of the ruminal bacterium *Selenomonas ruminantium*. *J. Appl. Bacteriol.* 61:xvi.
- Ortman, E. E., Barry, B. D., Buschman, L. L., Calvin, D. D., Carpenter, J., Dively, G. P., Foster, J. E., Fuller, B. W., Hellmich, R. L., Higgins, R. A., Hunt, T. E., Munkvold, G. P., Ostlie, K. R., Rice, M. E., Roush, R. T., Sears, M. K., Shelton, A. M., Siegfried, B. D., Sloderbeck, P. E., Steffey, K. L., Turpin, F. T., & Wedberg, J. L. (2001): Letter to the editor: transgenic insecticidal corn: the agronomic and ecological rationale for its use. *BioScience* 51:900-902.
<http://www.ncfap.org/reports/biotech/BioScience-letter.pdf>
- Padgett, S. R., Taylor, N. B., Nida, D. L., Bailey, M. R., McDonalds, J., Holden, L. R. & Fuchs, R. L. (1996): Composition of glyphosate-tolerant soybean seeds is equivalent to that of conventional soybeans. *Journal of Nutrition*, 126: 702–716.
- Pesticide Action Network North America (2004): PAN Pesticides Database.
<http://www.pesticideinfo.org/Index.html>
- Pfanzagl, B. (1999): Begleituntersuchungen bei gentechnisch veränderten Pflanzen. Sicherheitsforschung, Ökologische Begleitforschung und Monitoring. Umweltbundesamt, Monographien Bd. 114. Wien.
<http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/M114.pdf>
- Pham-Delègue, M. H. (1997): Risk assessment of transgenic oilseed rape on the honeybee. INRA, Laboratoire de neurobiologie comparée des invertébrés: 1–3.
- Picard–Nizou, A. L., Grison, R., Olson, L., Pioche, C. & Arnold, G. (1997): Impact of proteins used in plant genetic engineering. toxicity and behavioral study in honeybee. *Plant Resistance*, 90: 1710–1716.
- Prakash, C. S. (1997): Boom and bust of insect resistant Bt-cotton?. *ISB NewsReport*, July 1997.
- Pray, C. E., Huang, J., Hu, R. & Rozelle, S. (2002): Five years of Bt cotton in China – the benefits continue. *The Plant Journal* 31: 423-430.
- Quist, D. & Chapela, I. H. (2001): Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico. *Nature* 414: 541-543.
- Raps, A., Hilbeck, A., Bigler, F., Fried, P. M. & Messmer, M. (1998): Konzept und praktische Lösungsansätze zur anbaubegleitenden Forschung beim Einsatz transgener Kulturarten. Publikation der Fachstelle Biosicherheitsforschung und Abschätzung von Technikfolgen des

Schwerpunktprogrammes Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds, Basel, TA-Projekt Nachhaltige Landwirtschaft, 1997–1999, Band 2/6.

Raybould, A. (2001): Gene flow from genetically modified crops. *Pesticide Outlook* – October 2001: 177-180.

Raybould A. F. & Gray, A. J. (1993): Genetically modified crops and hybridization with wild relatives: a UK perspective. *Journal of Applied Ecology* 30:199-219.

Revers, F., Le Gall, O., Candresse, T., Le Romancer, M. & Dunez, J. (1996): Frequent occurrence of recombinant potyvirus isolates. *Journal of General Virology*, 77: 1953–1965.

Roy D. B., Bohan S. J., Haughton A. J., Hill M. O., Osborne J. L., Clark S. J., Perry J. N., Rothery P., Scott R. J., Brooks D. R., Champion G. T., Hawes C., Heard M. S. & Firbank L. G. (2003): Invertebrates and vegetation of field margins adjacent to crops subject to contrasting herbicide regimes in the Farm Scale Evaluations of genetically modified herbicide-tolerant crops. *The Philosophical Transactions of the Royal Society (Biological Sciences)* 358: 1879-1898.

http://www.pubs.royalsoc.ac.uk/phil_bio/fse_content/TB031879.pdf

Sadras, V. (1998): Herbivory tolerance of cotton expressing insecticidal proteins from *Bacillus thuringiensis*: response to damage caused by *Helicoverpa* spp. and to manual bud removal. *Field Crops Research*, 56: 287–299.

Sánchez, G. J. J. & Ordaz, S. L. (1987): El teocintle in Mexico. Systematics and ecogeographical studies of gene pools nr.2, 50 pp.

Saxena, D., Flores, S. & Stotzky, G. (1999): Insecticidal toxin in root exudates from Bt corn. *Nature*, 402: 480.

Saxena, D. & Stotzky, G. (2000): Insecticidal toxin from *Bacillus thuringiensis* is released from roots of transgenic Bt corn in vitro and in situ. *FEMS Microbiology Ecology* 33: 35-39.

Saxena, D., Flores, S. & Stotzky, G. (2002): Bt toxin is released in root exudates from 12 transgenic corn hybrids representing three transformation events. *Soil Biology and Biochemistry*, 34, 133-137.

Schmitz, G. & Schütte, G. (2000). Plants resistant against abiotic stress. University of Hamburg.

Schubbert, R., Renz, D., Schmitz, B. & Doerfler, W. (1997): Foreign (M13) DNA ingested by mice reaches peripheral leukocytes, spleen, and liver via the intestinal wall mucosa and can be covalently linked to mouse DNA. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 94(3): 961–966.

Schütte, G., Stachow, U., Werner, A. (2004): Agronomic and environmental aspects of the cultivation of transgenic herbicide resistant plants. UBA-Texte 11/04, Umweltbundesamt, Berlin.

Sharma, A. B. (2004): Government to encourage usage of microbial pest control agents. *The Financial Express*, India, June 6th

Shen, F. F., Yu Y. J., Zhang, X. K., Bi J. J. & Yin, C. Y. (2001): Bt gene flow from transgenic cotton. *Acta Genetica Sinica* 28(6):562-567 (in Chin. with Engl. abstr.).

Snow, A., Pilson, D., Rieseberg, L., Paulsen, M., Pleskac, N., Reagon, M., Selbo, S. & Wolfe, D. (2002): Effects of a Bt transgene on herbivory and fecundity in BC1 wild sunflowers (*Helianthus annuus*). Annual meeting of the Ecological Society of America, Tucson. (<http://199.245.200.45/pweb/document/?SOCIETY=esa&YEAR=2002&ID=12978>)

- Spök, A., Hofer, H., Valenta, R., Kienzl-Plochberger, K., Lehner, P. & Gaugitsch, H. (2002): Toxikologie und Allergologie von GVO-Produkten. Empfehlungen zur Standardisierung der Sicherheitsbewertung von gentechnisch veränderten Pflanzen auf der Basis der Richtlinie 90/220/EWG (2001/18/EG). Umweltbundesamt, Monographien 109, Wien.
- Spök, A., Hofer, H., Valenta, R., Kienzl-Plochberger, K., Lehner, P., Stirn, S. & Gaugitsch, H. (2003): Toxikologie und Allergologie von GVO-Produkten – Teil 2A. Empfehlungen zur Standardisierung der Sicherheitsbewertung von gentechnisch veränderten Lebensmitteln. Umweltbundesamt, Monographien 164A, Wien.
- Suárez, S. M. (2003): Right to Food in Argentina. Report of the International Fact Finding Mission to Argentina. April 2003 Report and Recommendations. FIAN – International, Church Development Service (EED) & Ecumenical Workshop - Ökumenische Werkstatt Kassel.
<http://www.eed.de/fix/files/Englisch.pdf>
- Tappeser, B., Eckelkamp, C. & Weber, B. (2000): Untersuchung zu tatsächlich beobachteten (nachteiligen) Effekten von Freisetzungen gentechnisch veränderter Organismen. Umweltbundesamt, Monographien, Band 129, Wien.
<http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/M129.pdf>
- Tebbe, C. C., Vahjen, W., Munch, J. C., Feldmann, S. D., Ney, U., Sahn, H. G., Amore, R., Hollenberg, C. P. (1994): Überleben der Untersuchungsstämme und Persistenz ihrer rekombinanten DNA. BioEngineering 6/94, 14-21.
- Trigo, E. J. & Cap, E. J. (2003): The Impact of the Introduction of Transgenic Crops in Argentinean Agriculture, AgBioForum, 6(3): 87-94
<http://www.agbioforum.missouri.edu/v6n3/v6n3a01-trigo.pdf>
- Ulrich, A., Becker, R., Hedtke, C., Augustin, C., Gottwald, R., Honermeier, B., Lentzsch, P., Patschke, K., Ulrich, K. & Wirth, S. (1998): Ökologische Auswirkungen der Einführung der Herbizidresistenz(HR)-Technik bei Raps und Mais - Gutachten des ZALF e.V. im Auftrag des Landesumweltamtes Brandenburg, Müncheberg.
- Van Acker, R. C., Brûlé-Babel, A. L. & Friesen, L. F. (2003): An environmental safety assessment of RoundupReady Wheat: Risks for direct-seeding systems in Canada. The Canadian Wheat Board.
- Vidal, J. (2004): Scientists suspect health threat from GM maize. The Guardian February 27, 2004.
<http://www.guardian.co.uk/gmdebate/Story/0,2763,1157222,00.html>
- Villegas, M. 1970. Estudio florístico y ecológico de las plantas arvenses de la parte meridional de la Cuenca de México. Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas 18: 17-89.
- Warwick, S. I., Beckie, H. J. & Small, E. (1999): Transgenic crops: new weed problems for Canada? Phytotechnology. 80:71-84.
- Warwick, S. I., Simard, M.-J., Légère, A., Beckie, H. J., Braun, L., Zhu, B., Mason, P., Séguin-Swartz, G., Stewart, C. N. Jr. (2003): Hybridization between transgenic *Brassica napus* L. and its wild relatives: *Brassica rapa* L., *Raphanus raphanistrum* L., *Sinapis arvensis* L., and *Erucastrum gallicum* (Willd.) O. E. Schulz. Theor Appl Genet. 107:528-539.
- Wilkes, H. G. (1967): Teosinthe: the closest relative of maize. Ph.D. dissertation. Bussey Inst. Havard Univ. 159p.

Wintermantel, W. M. & Schoelz, J. E. (1996): Isolation of recombinant viruses between cauliflower mosaic virus and a viral gene in transgenic plants under conditions of moderate selection pressure. *Virology*, 223: 156–164.

Wu, K., Liang, G., Zhang, Y., Wang, G. & Guo, Y. (2002): Environmental impact of Bt cotton: a case study from China. The 7th International Symposium on the Biosafety of Genetically Modified Organisms Beijing, China.

<http://www.isbr.info/images/isbgmo.pdf>

Xue, D. (2002): A summary of research on the environmental impact of Bt cotton in China. Nanjing Institute of Environmental Sciences, State Environmental Protection Administration of China, published by Greenpeace.

http://www.greenpeace.org.hk/eng/document/btcotton_report.pdf

Yousef, M. I., Salem, M. H., Ibrahim, H. Z., Helmi, S., Seehy, M. A. & Bertheussen, K. (1995): Toxic effects of carbofuran and glyphosate on semen characteristics in rabbits. *J. Environ. Sci. Health*, B30(49), 513–534.

Zangerl, A. R., McKenna, D., Wraight, C. L., Carroll, M., Ficarello, P., Warner, R. & Berenbaum, M. R. (2001): Effects of exposure to event 176 *Bacillus thuringiensis* corn pollen on monarch and black swallowtail caterpillars under field conditions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 98:11908-11912.

Zeki, S. (ed.) (2003): The Farm Scale Evaluations of spring-sown genetically modified crops. A themed issue from *Philosophical Transactions: Biological Sciences Series B* 358/1439: 1775-1913.

http://www.pubs.royalsoc.ac.uk/phil_bio/news/fse_toc.html

Zwahlen, C., Hilbeck, A., Howald, R. & Nentwig, W. (2003): Effects of transgenic Bt corn litter on the earthworm *Lumbricus terrestris*. *Molecular Ecology* 12 (4), 1077-1086.

KOMMENTIERTE LISTE VON ÜBERBLICKSLITERATUR UND WEBSEITEN

Gentechnik-Nachrichten des Öko-Institut e.V.

Die Gentechnik-Nachrichten erscheinen sechswöchentlich und sind als eine kondensierte Zusammenfassung wichtiger Entwicklungen im Bereich nachhaltiger Landwirtschaft und Nahrungsmittelproduktion konzipiert. Sie konzentrieren sich auf die Gentechnik als eine der problematischsten Entwicklungen im Zusammenhang mit der Wahlfreiheit für alle Mitglieder der Gesellschaft und mit dem Offenhalten der Option einer Landwirtschaft ohne Gentechnik.

Mehrmals im Jahr wird ein Themenkomplex der Nutzung der Gentechnik in der Landwirtschaft in einer Spezial-Ausgabe genauer beleuchtet

<http://www.oeko.de/gennews.htm>

The Farm Scale Evaluations of spring-sown genetically modified crops

Im Oktober 2003 wurden die Ergebnisse der dreijährigen Feldversuche mit gentechnisch veränderten herbizidresistenten (HR-) Nutzpflanzen in Großbritannien veröffentlicht. Dies ist die weltweit größte Studie zu ökologischen Auswirkungen des Anbaus dieser GV-Nutzpflanzen.

http://www.pubs.royalsoc.ac.uk/phil_bio/news/fse_toc.html

The 7th International Symposium on the Biosafety of Genetically Modified Organisms Beijing, China October 10-16 2002

Tagungsbericht des 7. Symposiums über die biologische Sicherheit von GVO in Peking. Ein Fokus liegt auf Berichten aus der Sicherheitsforschung und dem Anbau transgener Pflanzen in China.

<http://www.isbr.info/images/isbgmo.pdf>

The effects of transgenic maize in Mexico

Die noch vorläufige Version dieser Studie gibt einen guten Überblick über die Probleme des Genflusses transgener Maissorten in Landsorten und verwandte Wildpflanzen in Mexiko. Die Studie ist im Auftrag des Sekretariats der Kommission für Zusammenarbeit im Umweltbereich in Nordamerika (Commission for Environmental Cooperation of North America (CEC)) entstanden.

<http://www.cec.org/maize/resources/chapters.cfm?varlan=english>

Genetically modified crops and sustainable poverty alleviation in sub-saharan Africa.

Der 2003 erschienene Bericht des "Third World Network-Africa" geht neben den ökonomischen Auswirkungen auch auf die ökologischen Auswirkungen des Anbaus von virusresistenten Süßkartoffeln, Bt-Baumwolle und Bt-Mais in Afrika ein.

<http://allafrica.com/sustainable/resources/view/00010161.pdf>

GM Science Review first report. UK.

Der Bericht des GM Science Review Panel aus dem Jahr 2003 beschäftigt sich unter anderem ausführlich mit dem Stand des Wissens im Bereich ökologischer und gesundheitlicher Risiken transgener Pflanzen in Großbritannien.

<http://www.gmsciencedebate.org.uk/report/pdf/gmsci-report1-full.pdf>

Pilotprojekt zum Monitoring gentechnisch veränderter Pflanzen (GVP)

Gegenstand des F & E-Vorhabens ist die konzeptionelle Entwicklung eines Monitorings von Umweltwirkungen transgener Kulturpflanzen. In dem Bericht des Öko-Instituts e.V. zum Vorhaben werden mögliche Effekte gentechnisch veränderter Pflanzen eingehend für HR-Raps, Bt-Mais, virusresistente Zuckerrüben und Kartoffeln mit veränderter Stärkezusammensetzung dargelegt.

<http://www.oeko.de/dokum.php?id=88&PHPSESSID=046c3fb73773dd8c37f92765fd5c87ad>

Bleibt in Deutschland bei zunehmendem Einsatz der Gentechnik in Landwirtschaft und Lebensmittelproduktion die Wahlfreiheit auf GVO-unbelastete Nahrung erhalten?

Der 2002 erschienene Bericht des Öko-Instituts e.V. & des Forschungsinstitutes für biologische Landbau (FiBL) Deutschland beschäftigt sich unter anderem eingehend mit ökologischen Risiken wie der Auskreuzungsproblematik.

<http://www.oeko.de/oekodoc/206/2002-048-de.pdf>

Toxikologie und Allergologie von GVO-Produkten

Der Bericht fasst die bisherigen Erkenntnisse aus der Sicherheitsbewertung von gentechnisch veränderten Pflanzen in der EU zusammen und gibt Empfehlungen zur Standardisierung. Herausgeber ist das Umweltbundesamt Wien, erschienen sind verschiedene Bände als Monographien 109, 164A und 164B.

Zusammenfassungen:

<http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/M109z.pdf>

<http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/M164az.pdf>

<http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/M164bz.pdf>

Untersuchung zu tatsächlich beobachteten (nachteiligen) Effekten von Freisetzungen gentechnisch veränderter Organismen.

Die im Jahr 2000 vom Umweltbundesamt Wien herausgegebene Studie wertet zahlreiche wissenschaftliche Studien und Berichte zu ökologische Risiken von GVO aus und gibt einen sehr umfassenden Überblick über das Themenfeld.

<http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/M129.pdf>

Genet

GENET ist ein Europäisches Netzwerk von NRO, die dem Einsatz der Gentechnik kritisch gegenüber stehen. In dem Genet-news-archive finden sich Berichte und Hinweise auf Veröffentlichungen zu verschiedensten Themenfeldern der Gentechnik.

<http://www.genet-info.org/>

TransGen e.V.

Bietet einen Überblick über den Stand bei der weltweiten Zulassung transgener Nutzpflanzensorten sowie Zulassungsanträgen. Informationen finden sich auch zur Koexistenzdebatte und rechtlichen Regelungen beispielsweise zur Kennzeichnungspflicht bei Lebensmitteln und zur biologischen Sicherheitsforschung. Finanziert wird TransGen von Saatgutherstellern und Chemieunternehmen, daneben auch von verschiedenen Behörden.

www.transgen.de

Biologische Sicherheitsforschung

Informationen zum aktuellen Stand der Sicherheitsforschung in Deutschland. Die Website wird im Rahmen des Projektverbundes Kommunikationsmanagement in der Biologischen Sicherheitsforschung im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) erstellt.

www.biosicherheit.de

Ag BioTech InfoNet

Ag BioTech InfoNet bietet englischsprachige Informationen zum Einsatz von Gentechnik in der Landwirtschaft und bei der Lebensmittelherstellung mit vielen Original-Studien und Artikeln. Unterstützt wird das BioTech InfoNet von verschiedenen wissenschaftlichen, Naturschutz- und Verbraucherorganisationen.

www.biotech-info.net

AgBios

AgBios ist ein Kanadisches Unternehmen, welches unter anderem Informationen im Bereich der Sicherheitsforschung zu transgenen Nutzpflanzen bereit stellt. Neben wissenschaftlichen Artikeln besteht auch eine Datenbank zu transgenen Nutzpflanzen in den USA und Kanada.

<http://www.agbios.com/main.php>

Gen-ethisches Netzwerk e.V.

Das Gen-ethisches Netzwerk bietet Materialiensammlungen zu verschiedenen Themen der Gentechnik. Die Zeitschrift „Gen-ethische Informationsdienst (GID)“ erscheint regelmäßig alle zwei Monate. Das Gen-ethische Netzwerk e.V. wurde 1986 von kritischen Wissenschaftlern, Journalisten, Tierärzten, Mediziner, Politikern und anderen an der Gentechnik interessierten Menschen gegründet.

www.gen-ethisches-netzwerk.de

FAO-BioDeC: Biotechnologies in developing countries

Die seit April 2004 bestehende Datenbank der FAO bietet Informationen zu bestehenden Freisetzungsvorhaben und zum kommerziellen Anbau von transgenen Nutzpflanzen sowie zu biotechnologischen Techniken in Entwicklungsländern.

http://www.fao.org/biotech/inventory_admin/dep/default.asp