

**UNTERSUCHUNG ZU TATSÄCHLICH  
BEOBACHTETEN NACHTEILIGEN EFFEKTEN VON  
FREISETZUNGEN GENTECHNISCH VERÄNDERTER  
ORGANISMEN**

**Beatrix Tappeser  
Claudia Eckelkamp  
Barbara Weber**

**MONOGRAPHIEN  
Band 129  
M-129**

**Wien, 2000**

**Projektleitung**

Helmut Gaugitsch (Umweltbundesamt)

**Autoren**

Beatrix Tappeser (Öko – Institut e.V. Freiburg, Deutschland)  
Claudia Eckelkamp (Öko – Institut e.V. Freiburg, Deutschland)  
Barbara Weber (Öko – Institut e.V. Freiburg, Deutschland)

**Unter Mitarbeit von**

Monika Riegel (Öko – Institut e.V. Freiburg, Deutschland)  
Eric Doye (Öko – Institut e.V. Freiburg, Deutschland)

**Satz/Layout**

Anne Moser

**Titelphoto**

Osterluzeifalter auf Osterluzeipflanze (Kurt Farasin)

**Impressum**

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH (Federal Environment Agency Ltd)  
Spittelauer Lände 5, A-1090 Wien (Vienna), Austria

Druck: Riegelnik

© Umweltbundesamt GmbH, Wien 2000  
Alle Rechte vorbehalten (all rights reserved)  
ISBN 3-85457-559-9

## Vorwort

Bisher beobachtete tatsächliche nachteilige Effekte von Freisetzungen gentechnisch veränderter Organismen wurden in der internationalen Diskussion bisher nicht systematisch erfasst und auch aus diesem Grund sehr unterschiedlich bewertet. Für das Umweltbundesamt ist im Rahmen der Aufgaben der Risikoabschätzung unter dem Blickwinkel des vorsorgenden Umweltschutzes und der Umweltkontrolle die wissenschaftliche Erfassung und Bewertung von bisher tatsächlich aufgetretenen nachteiligen Effekten eine wichtige Voraussetzung.

In der kontroversiellen Diskussion um die Gentechnologie in der Landwirtschaft und Lebensmittelproduktion spielen auch die erwarteten und dokumentierten positiven Auswirkungen von GVO (wie z. B. Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes, Gewinnung nachwachsender Rohstoffe) eine bedeutende Rolle. Die für andere über die unmittelbare Risikoabschätzung bzw. Umweltkontrolle hinausgehenden Bewertungsinstrumente, wie z. B. Lebenszyklusanalyse (Ökobilanz) oder sozio-ökonomische Evaluierung von Produkten notwendige Dokumentation und Einschätzung von positiven Auswirkungen war nicht Gegenstand dieser Studie.

In der Studie werden zitierte Literatur und über verschiedene Recherchewege erfasste wissenschaftliche Arbeiten zu einer systematischen Dokumentation der bisher beobachteten tatsächlich nachteiligen Effekte von Freisetzungen gentechnisch veränderter Organismen verdichtet. Bisher wurden zu dieser Thematik vornehmlich Medienberichte zitiert, eine Koordination der ökologischen Begleitforschung bei Freisetzungen fand weder auf nationaler noch auf internationaler Ebene statt. Auch eine Zusammenführung und Aufbereitung der gewonnenen Daten und Ergebnisse erfolgte bisher nur in Ansätzen. Die Studie versucht, diese Lücke teilweise zu schließen und zeigt Handlungsbedarf für eine Verbesserung der systematischen Erfassung von für die Risikoabschätzung und das Monitoring notwendigen Daten auf.

Neben der fachlichen Kompetenz und Expertise wurde das Öko-Institut Freiburg (Deutschland) auch aufgrund seiner bekannt kritischen Arbeiten zum Themenbereich Risikoabschätzung und Auswirkungen von gentechnisch veränderten Organismen auf Umwelt und menschliche Gesundheit mit der Erstellung dieser Studie beauftragt.



## INHALT

<b>1</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>EMPFEHLUNGEN</b> .....	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG</b> .....	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>EFFEKTE VON FREISETZUNGEN GENTECHNISCH VERÄNDERTER ORGANISMEN</b> .....	<b>16</b>
<b>4.1</b>	<b>Mikroorganismen</b> .....	<b>16</b>
4.1.1	Allgemeine Recherche vor dem Hintergrund der erwarteten Effekte.....	16
4.1.1.1	Überlebensfähigkeit und Verbreitung der GVMO.....	17
4.1.1.2	Konkurrenzfähigkeit, Schädigung von Nichtzielorganismen und von ökosystemaren Funktionen.....	20
4.1.1.3	Persistenz und Verbreitung der Genkonstrukte .....	21
4.1.1.4	Sekundäreffekte der Transformation .....	23
<b>4.2</b>	<b>Mikroorganismen, fallspezifisch</b> .....	<b>24</b>
4.2.1	Überblick.....	24
4.2.2	Ice Minus: <i>Pseudomonas syringae</i> .....	25
4.2.3	<i>Klebsiella planticola</i> .....	26
4.2.4	Rhizobien.....	26
4.2.5	<i>Pseudomonas sp.</i> .....	28
<b>4.3</b>	<b>Pflanzen</b> .....	<b>29</b>
4.3.1	Allgemeine Recherche vor dem Hintergrund der erwarteten Effekte.....	29
4.3.1.1	Ausbreitung .....	29
4.3.1.2	Gentransfer .....	31
<b>4.4</b>	<b>Beispiele für Pflanzen mit Ausbreitungs- und Hybridisierungspotential</b> .....	<b>32</b>
4.4.1	Brassica napus (Raps).....	32
4.4.1.1	Etablierungs- und Ausbreitungsmöglichkeiten .....	32
4.4.1.2	Freisetzungsversuche zum Ausbreitungspotential.....	32
4.4.1.3	Hybridisierungsmöglichkeiten.....	33
4.4.2	Beta vulgaris ssp. vulgaris (Zuckerrüben) .....	35
4.4.2.1	Ausbreitungspotential .....	35
4.4.2.2	Hybridisierungspotential .....	35
<b>4.5</b>	<b>Target-Effekte: Resistenzentwicklung / Virulenzsteigerung bei Schädlingen oder Pathogenen</b> .....	<b>36</b>
4.5.1	Resistenzentwicklung von Beikräutern und Pflanzenschädlingen .....	36
4.5.2	Resistenzmanagement bei <i>Bt</i> -Mais.....	37
4.5.3	Herbizidresistenz .....	38
4.5.4	Entstehung neuer Virusvarianten .....	39
4.5.5	Non-target-Effekte .....	41
4.5.6	Effekte auf Zersetzer .....	43
4.5.7	Effekte auf Bodenmikroorganismen .....	44

<b>4.6</b>	<b>Effekte veränderter Bewirtschaftungsmethoden.....</b>	<b>44</b>
<b>4.7</b>	<b>Pflanzen, fallspezifisch.....</b>	<b>45</b>
4.7.1	Exemplarische Fallbeschreibung und Diskussion der CRAWLEY-Versuche vor dem Hintergrund der erwarteten Effekte .....	45
4.7.1.1	Vergleichbarkeit mit der Anbausituation.....	45
4.7.1.2	Eignung der ausgewählten Pflanzen hinsichtlich der untersuchten Fragestellung und der Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse .....	45
4.7.1.3	Aussagekraft von Mittelwerten .....	46
4.7.2	Soja47	
4.7.3	Baumwolle .....	47
4.7.4	Weitere Beispiele .....	48
<b>4.8</b>	<b>Bäume.....</b>	<b>49</b>
4.8.1	Beobachtete Effekte bei Freilandversuchen.....	50
4.8.1.1	Stabilität der Expression.....	50
4.8.1.2	Pleiotropie- und Positionseffekte.....	51
4.8.1.3	Mykorrhiza .....	51
4.8.1.4	Hybridisierung.....	51
4.8.1.5	Insektenresistenz .....	52
4.8.1.6	Virusresistenz .....	52
4.8.1.7	Ligninmodifikationen.....	53
4.8.1.8	Zusammenfassung.....	53
<b>4.9</b>	<b>Tiere .....</b>	<b>53</b>
4.9.1	Allgemeine Recherche vor dem Hintergrund der erwarteten Effekte.....	53
<b>4.10</b>	<b>Tiere, fallspezifisch.....</b>	<b>54</b>
4.10.1	Transgene Fische .....	54
4.10.1.1	Pleiotropieeffekte.....	55
4.10.1.2	Stabilität der Expressionen.....	56
4.10.1.3	Weitere Risikoaspekte .....	57
<b>5</b>	<b>RECHERCHEMETHODIK.....</b>	<b>58</b>
<b>6</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>60</b>

## 1 ZUSAMMENFASSUNG

Freisetzungsversuchen wird eine zentrale Rolle bei der Feststellung von Anzeichen für (unerwünschte) Umwelteffekte transgener Organismen beigemessen. Aus diesem Grunde sollte die Erfassung, Kommunikation und Diskussion von umweltrelevanten Freisetzungsdaten von zentraler Bedeutung sein. Schon um die Erfassung solcher Daten steht es jedoch schlecht: Es wird geschätzt, dass weltweit bei weniger als 99 % der Freisetzungen von GVO überhaupt ökologische Daten erhoben werden. Eine Koordination der ökologischen Begleitforschung bei Freisetzungen findet weder auf nationaler noch auf internationaler Ebene statt. Auch eine Zusammenführung und Aufbereitung der gewonnenen Daten und Ergebnisse geschieht nur in Ansätzen. Mit dem vorliegenden Gutachten wird versucht, diese Lücke mindestens teilweise zu schließen.

### Mikroorganismen

Bisher ist es nicht möglich, die Auswirkungen von gentechnisch veränderten Mikroorganismen (GVMO) auf das Gesamtökosystem zu untersuchen. Allerdings haben die spezifischen Eigenschaften von Mikroorganismen, wie vielfach schnelle Generationszeiten, Anpassungsmöglichkeit an ungünstige Umweltbedingungen und die Fähigkeit, genetisches Material untereinander auszutauschen, dazu geführt, dass verschiedene Indikatoren entwickelt wurden, die Hinweise auf die mögliche Schädigung bei der Freisetzung von GVMO liefern können. Dazu gehören

- Überdauerungs- oder Überlebensfähigkeit,
- Verbreitung,
- Populationsdynamik,
- Konkurrenz zwischen verschiedenen Mikroorganismen,
- Effekte auf Lebensgemeinschaften in der Umwelt.

Bei Sicherheitsuntersuchungen während der Freisetzung von GVMO stehen heute Persistenz und Verbreitung der freigesetzten Mikroorganismen und der rekombinanten Genprodukte im Mittelpunkt.

Die Etablierungschancen von GVMO werden durch biotische Faktoren, wie z.B. Nahrungsangebot, Fraßfeinde, Bakteriophagendichte, konkurrierende Mikroorganismen oder Populationsdichte und durch abiotische Faktoren, wie Temperatur, pH-Wert, Sauerstoffbedarf, Wasser- und Salzgehalt und Bodenbeschaffenheit beeinflusst. Einige Mikroorganismen können sehr lange Zeiträume unter schlechten Umweltbedingungen überleben, indem sie Sporen oder Zysten bilden. Andere Mikroorganismen bilden keine solche Dauerstadien, sondern können in einen Zustand übergehen, in dem sie zwar lebensfähig, nicht aber kultivierbar (VNC: viable but not culturable) sind. Das vielfach geäußerte Argument, dass GVMO aufgrund zusätzlicher Gene – eines „extra burden“ – grundsätzlich benachteiligt sind, ist durch viele Arbeiten widerlegt. In der Regel lässt sich eine mindestens transiente Überlebensfähigkeit der GVMO nachweisen. In vielen Fällen ist aber auch von einer dauerhafteren Überlebensfähigkeit auszugehen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Risikobeurteilung von GVMO ist ihre Verbreitung vom Ort der Freisetzung in andere Lebensräume. Dadurch können Mikroorganismen aus ungünstigen Umweltkompartimenten in eine Umgebung transportiert werden, in der günstigere Überlebensbedingungen herrschen. Ein solcher Transport kann über Wind, Fließ- und Regenwasser sowie an Gegenständen oder Erntegütern angeheftet stattfinden. Aber auch Organismen wie Protozoen, Insekten (z.B. Springschwänze) und andere Bodentiere, wie Regenwürmer, können als Vektoren dienen. Sowohl ein vertikaler, in tiefere Bodenschichten

hinein stattfindender als auch ein lateraler Transport konnte in Freisetzungsversuchen nachgewiesen werden.

Ein weiteres Risiko der Freisetzung von GVMO ist die Verdrängung von Arten aus der autochthonen Mikroflora. Ein Hinweis auf die Fitness von GVMO ist deren Fähigkeit zur Verdrängung des entsprechenden Wildtyp-Stammes. Versuche in Mikrokosmen und im Freiland zeigten bisher, dass GVMO fallabhängig eine verringerte, gleiche oder erhöhte Konkurrenzfähigkeit aufweisen können.

Risikoüberlegungen zur Freisetzung von GVMO müssen zusätzlich beachten, dass die freigesetzten Mikroorganismen selbst Gene von anderen Mikroorganismen erwerben und so ihre ökologischen Eigenschaften verändern können. Andererseits besteht aber auch die Möglichkeit, dass GVMO ihre Transgene an endogene Mikroorganismenpopulationen weitergeben. Generell können Mikroorganismen genetisches Material durch Konjugation, Transduktion oder Transformation austauschen. Alle drei Transferarten wurden auch bei GVMO gefunden.

Untersuchungen zu Umweltwirkungen von GVMO in verschiedenen Umweltmedien wurden bisher nur in geringer Zahl durchgeführt.

Eine Auswertung durch verschiedene Autoren kommt zu folgender Einschätzung: GVMO können

- erfolgreich mit indigenen Mikroorganismen von gestörten Ökosystemen konkurrieren,
- ihre neuen Gene an indigene Organismen transferieren und diese können in den neuen Wirten auch exprimiert werden,
- allgemeine und spezifische Stoffwechselaktivitäten sowie den Umsatz von Biomasse beeinflussen,
- die Struktur von Lebensgemeinschaften und ihre Funktionen in unterschiedlichen Habitaten beeinflussen,
- Interaktionen zwischen Symbionten und Organismen verschiedener trophischer Ebenen verändern und
- Stoffwechselprodukte hervorbringen, die unerwartete Wirkungen auf die Umwelt ausüben.

Eine konkrete Bewertung dieser Wirkungen fällt jedoch aufgrund des immer noch mangelhaften Wissens in der mikrobiellen Ökologie schwer.

## **Pflanzen**

Eine unkontrollierte Ausbreitung transgener Pflanzen wird in der Regel als Risiko betrachtet. Dabei stehen agronomische Überlegungen im Vordergrund. Das Ausbreitungspotential gentechnisch veränderter Pflanzen wird jedoch auch als ökologisches Risiko betrachtet, für das allerdings kein einheitlicher Bewertungsmaßstab besteht. Neben der Ausgangspflanze spielen die mit Hilfe der Gentechnik übertragenen Gene und Genkonstrukte eine zentrale Rolle bei der Vorabrisikoeinschätzung. Der Einfluss der beabsichtigten gentechnischen Eigenschaftsveränderung auf das Ausbreitungsverhalten von GVO ist allerdings weitgehend unklar. Der vertikale Gentransfer von Transgenen durch intraspezifische und interspezifische Hybridisierung in verwandte Kultur- und Wildpflanzenarten ist ein viel diskutierter Sicherheitsaspekt der Nutzung gentechnisch veränderter Pflanzen. Umfangreiche Untersuchungen zum Hybridisierungspotential und den Wahrscheinlichkeiten wurden in Europa hauptsächlich für Raps und Zuckerrübe durchgeführt. Im Rahmen von „normalen“ Freisetzungsversuchen sind in der Regel keine Erhebungen zum Hybridisierungsgeschehen durchgeführt worden. Es wurden aber spezielle Forschungsvorhaben durchgeführt, die gezielt das Hybridisierungspotential von transgenen Pflanzen zum Gegenstand hatten.

Die Vorkommen von Raps ausserhalb der Kulturlflächen in Mitteleuropa werden unterschiedlich beurteilt. In Kanada kommt Raps verbreitet als Durchwuchs auf Kulturlflächen vor (Downey, 1999).

Vorherrschend ist die Einschätzung, daß bei Raps prinzipiell mit der Möglichkeit einer Etablierung gerechnet werden muss. Da in verschiedenen Untersuchungen mit herbizidtolerantem Raps keine Unterschiede in den kompetitiven Eigenschaften zwischen transgenem und konventionellem Raps festzustellen sind, muss auch mit der Verwilderung von transgenem Raps gerechnet werden. Raps ist zudem eine in Europa einheimische Pflanze mit einer Reihe von kreuzungsfähigen Verwandten.

Die Ergebnisse von Kreuzungsexperimenten belegen, dass ein von Raps ausgehender Genfluss in Wildkrautpopulationen stattfinden kann. Potentielle Hybridisierungspartner von *Brassica napus* finden sich hierbei nicht nur in der Gattung *Brassica* sondern auch in weiteren Gattungen in der Familie der Kreuzblütler. Unter Freilandbedingungen gelang eine Hybridisierung von transgenem Raps mit Rübsen (*Brassica rapa*), Sareptasenf (*Brassica juncea*), Schwarzem Senf (*Brassica nigra*), Grausenf (*Hirschfeldia incana*, synonym *Brassica adpressa*), Hederich (*Raphanus raphanistrum*) und Ackersenf (*Sinapis arvensis*).

Zuckerrüben haben ein Potential zur Verwilderung. In mehreren europäischen Ländern und in den USA werden sie als Unkraut gefunden. Beta-Rüben besitzen innerhalb ihrer Art keinerlei Kreuzungsbarrieren. Es kommen Kreuzungen der verschiedenen Kulturformen untereinander sowie Kreuzungen zwischen Wildformen und Kulturformen vor. Dies ist auch die Schlussfolgerung aus deutschen Begleitforschungsprojekten, die an der Universität Aachen durchgeführt wurden. Es wurden keinerlei Kreuzungsbarrieren zwischen transgenen Varianten der Beta-Rüben und anderen Kultur- oder Wildformen gefunden. Eine Verbreitung der Transgene nach einer Kommerzialisierung ist nach der Einschätzung der Wissenschaftler sicher zu erwarten.

Transgene herbizidresistente Sojabohnen, bereits seit 1996 im kommerziellen Anbau, weisen eine Reihe von ungeplanten Veränderungen auf, die wahrscheinlich auf Positions- oder Pleiotropieeffekte zurückgeführt werden können. So ist der Phytohormonhaushalt der Pflanzen verändert und die Stengel weisen eine deutlich höhere Lignifizierung auf. Dies führt bei höheren Temperaturen zum Aufspalten der Stengel und in der Folge zu Ernteverlusten.

Transgene Baumwolle hat unter kommerziellen Anbaubedingungen ebenfalls teilweise unerwartete Probleme gezeigt. In einigen Anbaugebieten traten 1997 bei einer herbizidresistenten Baumwolle Kapseldeformationen und ein frühzeitiger Abwurf der Kapseln auf. Die insektenresistente Sorte hat nach Ergebnissen der USDA (des amerikanischen Landwirtschaftsministeriums) in bestimmten Gebieten zum Befall durch sekundäre, bisher kaum in Erscheinung tretende Schädlinge geführt, die zu hohen Pestizidaufwendungen geführt haben.

Mögliche Resistenzentwicklungen der betroffenen Schädlinge durch insektenresistente Pflanzen spielen eine große Rolle im Rahmen der Risikoabschätzung. Unter Freilandbedingungen wurden bisher noch keine weitgehenden Resistenzentwicklungen festgestellt. Allerdings geben Laborversuche Anlass zur Besorgnis. Insbesondere lassen neuere Untersuchungen zum Vererbungsmuster einer *Bt*-Resistenz bei *Bt*-empfindlichen Schädlingen darauf schliessen, dass nicht allein von einem rezessivem Vererbungsweg ausgegangen werden darf. Damit müssten Resistenzmanagementpläne, die auf einer Refugienstrategie (paralleler Anbau auf benachbarten Flächen von konventionellen Sorten, die als Rückzugsgebiet für empfindliche Schädlinge dienen) basieren, überarbeitet werden. Zudem gibt es Hinweise, dass resistente Schädlinge eine längere Entwicklungszeit bis zur Geschlechtsreife brauchen. Damit wäre eine Refugienstrategie hinfällig.

Resistenzentwicklung von Ackerbegleitpflanzen durch Auskreuzung wird in Zusammenhang mit der Nutzung herbizidresistenter Pflanzen diskutiert. Erste Erfahrungen aus dem großflächigen Anbau von Raps in Kanada bestätigen bereits in Freilandversuchen erzielte Ergebnisse. Mehrfach herbizidresistente Rapspflanzen, die als Durchwuchs in Folgekulturen auftreten, wurden ebenso gefunden wie Auskreuzungen auf verwandte Wildpflanzen. Die durch resistente Beikräuter in Folge des Anbaus transgener herbizidresistenter Pflanzen verursachten Probleme könnten wegen der Möglichkeit des Gentransfers und wegen der zu erwartenden Steigerung des Einsatzes einiger weniger Komplementärherbizide (gesteigerter Selektionsdruck) die bisherige Resistenzproblematik bei Herbiziden weit übertreffen.

Im Zentrum der Risikoforschung zu virusresistenten transgenen Pflanzen steht die agronomisch motivierte Frage, ob die gentechnischen Strategien zur Vermittlung von Virusresistenz die Verbreitung und Evolution von Viren verändern kann und ob dabei Pflanzenviren oder virale Pflanzenkrankheiten und Epidemien von erhöhter Schädlichkeit hervorgebracht werden können. Drei Risikotypen sind in diesem Zusammenhang von Interesse und wurden teilweise experimentell überprüft: Rekombinationen zwischen klonierten viralen Sequenzen und infizierenden Viren, heterologe Enkapsidierungen und Synergismen zwischen kloniertem Gen resp. Genprodukt und infizierenden Viren. Unter Gewächshausbedingungen konnte die Entstehung von Virusrekombinanten in transgenen Pflanzen nachgewiesen werden. Zwei der untersuchten Rekombinanten wiesen einen erweiterten Wirtsbereich auf, in drei Fällen konnten veränderte Symptome festgestellt werden. Heterologe Enkapsidierungen treten in Hüllprotein-exprimierenden transgenen Pflanzen auf. Es wurden sowohl heterologe Enkapsidierungen zwischen Viren derselben Virusgruppe als auch zwischen Viren verschiedener Gruppen gefunden. Untersuchungen zu Synergismen liegen bisher nicht vor.

Freilandversuche, die Effekte von transgenen Pflanzen auf Nichtzielorganismen untersuchen, wurden bisher im wesentlichen von den Firmen durchgeführt, die transgene Pflanzen auf den Markt bringen wollen. Hier wurden keinerlei Effekte nachgewiesen. Allerdings wurden bei Untersuchungen im Labor bzw. Gewächshaus Hinweise auf eine mögliche direkte und indirekte Schädigung von Nützlingen durch transgene insektenresistente Pflanzen gefunden.

Effekte auf im Boden lebende Zersetzer durch insektenresistente Pflanzen wurden hauptsächlich für das klonierte *Bt*-Toxin durchgeführt. Springschwänze werden in hohen Konzentrationen geschädigt. Auch Proteinase-Inhibitoren, die zur Insektenabwehr kloniert werden, zeigen toxische Wirkungen auf diese Organismengruppe. Effekte auf Bodenmikroorganismen wurden nur in Einzelfällen untersucht.

Die Aktivitäten auf dem Gebiet transgener Bäume haben in den letzten Jahren stark zugenommen. Bis 1998 fanden offiziell weltweit 116 Freisetzungsversuche in 17 Staaten mit 24 verschiedenen Baumarten statt. Das generelle Problem transgener Organismen, die Stabilität der Expressionen, ist bei Bäumen aufgrund deren Langlebigkeit ein besonderes Problem. Bei Bäumen konnten in Freilandversuchen schon nach einem relativ kurzen Zeitraum Instabilitäten nachgewiesen werden. Auch Pleiotropie- oder Positionseffekte wurden bei Bäumen unter Freilandbedingungen relativ häufig beobachtet. Erste Untersuchungen an freigesetzten Pappeln in Schleswig-Holstein in Bezug auf deren Auswirkung auf Mykorrhiza wiesen signifikante Unterschiede zwischen der Mykorrhizierung von transgenen und nicht-transgenen Pflanzen auf. Die Hybridisierungsmöglichkeiten und damit das Risiko der ungewollten Ausbreitung von rekombinanten Gensequenzen müssen je nach Baumart unterschiedlich bewertet werden. Es sind aber gerade bei den Gattungen *Populus*, *Eukalyptus* und *Pinus* - die intensiv gentechnisch bearbeitet werden - hohe Hybridisierungspotentiale bekannt. Insektenresistente *Bt*-Toxin bildenden Pappeln in China wiesen nach 2 Jahren Fraßschäden auf, die von bis dato als unbedeutend eingestuft Insekten verursacht worden waren. Bei transgenen Pflaumenbäumen (*Prunus domestica*), welche ein virales Hüllprotein exprimieren, konnte bei einem Freilandversuch bereits nach kurzer Zeit ein Resistenzdurchbruch nachgewiesen werden.

## Tiere

Nach allgemeiner Einschätzung werden Fische als erste transgene Tiere kommerziell genutzt werden. Andere transgene Nutztiere werden in absehbarer Zeit nicht für eine landwirtschaftliche Nutzung auf den Markt gebracht werden. Untersuchungen zu potentiellen ökologischen Auswirkungen liegen demnach dazu nicht vor. Bei transgenen Fischen sind die Steigerung des Wachstums durch Integration von Wachstumshormongenen und die Beeinflussung der Kältetoleranz, die durch die Übertragung von für Anti-Frost-Proteine (AFP) kodierenden Gensequenzen erreicht werden, am weitesten fortgeschritten.

Die gentechnischen Veränderungen bei Fischen gehen mit z.T. großen Pleiotropieeffekten und/oder Positionseffekten einher.

Dazu gehören:

- Tumore
- veränderte Flossen- und Wirbelformen
- Schädeldeformationen
- abnormes Kiemenwachstum
- fehlende Körpersegmente
- verkümmerte Nacken- und Schwanzformen.

Auch die Stabilität der Genexpressionen ist bei transgenen Fischen ein noch nicht gelöstes Problem. Es liegt noch keine einzige wissenschaftliche Publikation vor, die eine stabile Aufrechterhaltung der Genexpression in Bezug auf die Wachstumssteigerung in der F<sub>1</sub>-Generation nachweisen konnte. Daneben ist Mosaizismus, d.h., dass innerhalb eines modifizierten Individuums sowohl Zellen mit als auch ohne die übertragenen Gensequenzen vorkommen, ein bei allen transgenen Fischen vorkommendes Phänomen.

Laborversuche und die versuchsweise Haltung in geschlossenen Zuchtbecken lassen einige Rückschlüsse auf ökologische Risiken zu. Die herkömmlichen Haltungsformen bei kommerziellen Fischzuchtbetrieben zeigen, dass ein Entweichen von Individuen bzw. deren Brut häufig vorkommt und sehr schwer zu verhindern ist. Bei Welsen wurde festgestellt, dass sich transgene Individuen problemlos mit nicht-transgenen Individuen kreuzen. Ähnliche Ergebnisse liegen für andere Arten vor. Ein ungewollter Transfer der modifizierten Gensequenzen in natürliche Populationen ist demnach ziemlich sicher zu erwarten.

Bei transgenen Fischen ist zudem eine Veränderung des Nahrungsspektrums in Qualität und Quantität beobachtet worden. Auch das Konkurrenzverhalten und die sexuelle Selektion werden durch die überdurchschnittlich großen, transgenen Fische verändert. Untersuchungen über mögliche Auswirkungen auf Prädatoren und andere Mitglieder der aquatischen Biozönosen liegen jedoch noch nicht vor.