

## Wissenschaftliche Begleitung von Freilandversuchen mit Rhizomania-resistenten Zuckerrüben

Detlef Bartsch<sup>1</sup>, Antje Dietz-Pfeilstetter<sup>2</sup>, Renate Koenig<sup>2</sup>, Ingolf Schuphan<sup>1</sup>, Kornelia Smalla<sup>2</sup> und Wilfried Wackernagel<sup>3</sup>

<sup>1</sup> RWTH-Aachen, Lehrstuhl für Biologie V, Ökologie, Ökotoxikologie, Ökochemie,

Worringerweg 1, 52074 Aachen

<sup>2</sup> Biologische Bundesanstalt für Land und Forstwirtschaft (BBA),  
Institut für Pflanzenvirologie, Mikrobiologie und biologische Sicherheit,  
Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig

<sup>3</sup> Carl von Ossietzky-Universität Oldenburg, Genetik, Fachbereich Biologie,  
Postfach 2503, 26111 Oldenburg

### Zusammenfassung

Der Umwelteinfluss von transgenen Pflanzen hängt sowohl von der Qualität der neu eingeführten Gene als auch von den spezifischen Eigenschaften der veränderten Pflanzenart ab. Die hier vorgestellten Untersuchungen zielten auf die Aufklärung von Interaktionen zwischen der transgenen Pflanze und ihrer Umwelt ab. Gegenstand der Untersuchungen war die Frage, ob transgene Zuckerrüben (*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris* var. *altissima*) mit verschiedenen transgenen Veränderungen in der Lage sind, sich selbst oder zumindest Teile ihrer neu eingeführten Gene in naturnahen oder naturfernen Umwelten zu etablieren. Weitere intensive Studien wurden zu Fragen der Virusrekombination, der heterologen Enkapsidierung, des horizontalen Gentransfers von Pflanzen auf Bakterien sowie der Stabilität der Genexpression durchgeführt. Wie erwartet wurden keine Kreuzungsbarrieren zwischen transgenen Zuckerrüben mit Kulturverwandten oder wilden Rübenarten gefunden. Die Konkurrenzkraft der transgenen Rüben war unter Virusbefall im Vergleich zu konventionellen Kontrollen erhöht, aber bei Abwesenheit von Krankheitserregern entfällt dieser Konkurrenzvorteil. Diese Beobachtung wurde sowohl bei reinen Zuckerrüben wie auch bei Hybriden zwischen Zuckerrüben und Mangold gemacht. Auf den untersuchten Standorten von wilden Rüben (*Beta vulgaris* ssp. *maritima*) war der virale Krankheitserreger nicht nachzuweisen, deshalb bietet eine transgene Virusresistenz dort keinen ökologischen Vorteil. Unabhängig vom fehlenden Krankheitserreger zeigen Wildrüben-Populationen eine indifferente natürliche Verteilung der Krankheitsanfälligkeit von niedrigem bis hohem Niveau. Es wurden außerdem keine Hinweise auf unerwünschte Effekte hinsichtlich viraler RNA-Rekombination, heterologer Encapsidierung, horizontalem Gentransfer von Pflanzen auf Bakterien und der Stabilität der transformierten Gene gefunden. Die Resultate führen zu folgender Schlussfolgerung: Nach dem Inverkehrbringen der hier untersuchten transgenen Zuckerrüben werden sich die gentechnischen Eigenschaften bis hin zu Wildpopulationen ausbreiten, aber ökologische Effekte der (cpBNYVV-) Rhizomania-, (*nptII*-) Antibiotika- und (*bar*-) Herbizidresistenz-Gene sind nicht zu erwarten.

## Abstract

The impact of transgenic plants on the environment is depending on the qualities of the newly introduced genes as well as on the specific characteristics of the modified plant species. The present investigations aim to clarify the interactions between transgenic plants and their environment. Investigations were made to assess whether transgenic sugar beet (*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris* var. *altissima*) with several modifications is able to establish itself or its new genes in different natural or disturbed environments. Extensive additional studies were carried out on virus recombination, heterologous encapsidation, horizontal gene transfer from plants to bacteria, and stability of gene expression.

As we had expected no barriers were found for crossing the transgenic sugar beets with cultivated relatives or wild beet variants. The competitiveness of the transgenic beet was enhanced under infestation conditions, while, in the absence of the virus, no advantages in competition were detected. This was found with sugar beet and with hybrids between sugar beet and Swiss chard. In the investigated natural habitats of wild beets (*Beta vulgaris* ssp. *maritima*) no virus infestation was detected, therefore the virus resistance did not offer a selective advantage. Wild beets show a wide range of susceptibility to infection, ranging from high susceptibility to almost complete resistance. No indications were found for unwanted effects with respect to virus RNA recombination, heterologous encapsidation, horizontal gene transfer of transgenes from plants to bacteria, and gene stability.

These results lead to the following assessment: after commercialisation of the modified sugar beet, transgenes will spread into natural beet populations, but ecological effects of (*cpBNYVV*-) rhizomania, (*nptII*-) antibiotic and (*bar*-) herbicide resistance genes are unlikely.

## Einleitung

Die gentechnische Veränderung von Kulturpflanzen und die damit verbundene Nutzung von neuen „transgenen“ Eigenschaften gewinnt zunehmend an Bedeutung und wird zukünftig nicht mehr aus der Pflanzenzüchtung wegzudenken sein. Ob diese Veränderungen auch ökologische Konsequenzen nach sich ziehen werden, liegt maßgeblich an der biologischen Sicherheit der neuen Eigenschaften, wobei u.a. Stabilität, Verbreitung und Verbleib der transgenen Erbinformation bzw. ein damit verbundenes Auftreten unerwünschter Nebeneffekte zu nennen sind.

Seit Anfang der 90er Jahre arbeitet das Unternehmen KWS SAAT AG mit gentechnischen Methoden an der Entwicklung von Zuckerrüben, die gegen eine von Landwirten gefürchtete Viruserkrankung resistent sind (Schiemann und Casper, 1994). Bei dieser Krankheit handelt es sich um die sogenannte „Wurzelbärtigkeit“, die durch das Rhizomania-Virus (als BNYVV, *beet necrotic yellow vein virus*) ausgelöst und von einem bodenbürtigen Pilz (*Polymyxa betae*) übertragen wird. Einmal im Boden vorhanden, wird man den Krankheitserreger nicht mehr los. Bisher gibt es keine Bekämpfungsmöglichkeiten, und

die damit verbundenen Ernteeinbußen konnten durch klassische Toleranzzüchtung nur vermindert werden. Bei der klassischen Züchtung wurden Gene in aufwendigen Kreuzungen aus wilden Vorfahren der Zuckerrübe übertragen, die zwar nicht die Ausbreitung der Krankheit, wohl aber die Ertragsverluste in Grenzen halten. Alle ökologische und landwirtschaftliche Erfahrung lehrt, dass solche klassisch gezüchteten Krankheitstoleranzen nicht ewig vorhalten und dass deshalb immer wieder neue Anstrengungen zur Sicherung der Ernte unternommen werden müssen.

Eine solche Anstrengung nutzt gentechnische Methoden zur Übertragung transgener Eigenschaften der Virusresistenz. Hierbei wird ein Virusgen (verantwortlich für die Eiweißhülle des Virus; coat protein; cp) auf die Zuckerrübe übertragen, wodurch eine Art „Immunisierung“ der Zuckerrübe erfolgt und der Krankheitserreger vermehrungsunfähig wird. Zusätzlich sind zwei weitere Gene in die Zuckerrübe eingefügt worden, die der Auswahl und Erkennung beim Herstellungsprozess dienen („Markierungsgene“). Es handelt sich hierbei um eine Herbizidtoleranz (Phosphinothricin-Resistenz; *bar*-Gen) und eine Antibiotika-Resistenz (Kanamycin-Resistenz; *nptII*-Gen).

Alle drei eingefügten Gene sind Gegenstand der hier vorgestellten Sicherheitsforschung. Es gibt keinen plausiblen Grund zu der Annahme, dass die drei Gene einen unerwünschten Einfluss auf die menschliche Gesundheit ausüben. Seit Jahrzehnten gelangen die drei Gene und die von ihnen kodierte Eiweiße in die Nahrungskette. Erkrankte Zuckerrüben mit Virusgenen haben seit Jahrzehnten keine Nebenwirkungen bei der Verfütterung an Tiere gezeigt. Die beiden Markierungsgene stammen aus weit verbreiteten Mikroorganismen und finden seit Menschengedenken ihren Weg in unsere Nahrung, ohne dass es zu unerwünschten Reaktionen gekommen wäre. Bei der biologischen Sicherheitsforschung an virusresistenten Zuckerrüben konnten deshalb alle Anstrengungen auf die ökologischen Umweltwirkungen der Gene und ihrer Wirtspflanze konzentriert werden. Zu ökologischen Umweltwirkungen werden zum Beispiel das Entstehen neuartiger Krankheitserreger oder die Einbürgerung und Ausbreitung neuartiger Pflanzen einschließlich ihres Einflusses auf Lebensgemeinschaften von Mikroorganismen, Tieren und Pflanzen gezählt.

Konventionelle Zuckerrüben werden seit ungefähr 200 Jahren vom Menschen genutzt und haben dabei keinerlei unerwünschte ökologische Effekte auf Wildpflanzen und Wildtiere gezeigt. Als einzig verlässliche Bewertungsgrundlage ist deshalb der Vergleich zu herkömmlich gezüchteten Zuckerrüben geeignet, und zwar sowohl unter Virusbefalls- als auch Nichtbefallsbedingungen im Freiland. Mit Beginn des ersten Freilandversuches im Jahr 1993 wurden die virusresistenten Zuckerrüben von einer intensiven Sicherheitsforschung begleitet. Die gesellschaftliche Auseinandersetzung um die damaligen Freilandversuche machte den dringenden Bedarf an wissenschaftlich fundierten Untersuchungen deutlich (Bartsch, 1997; Zeddies, 1997). Inzwischen liegen diese Ergebnisse in einer Vielzahl von Veröffentlichungen in wissenschaftlichen Fachzeitschriften vor (s. Tab. 1). Es fehlt aber an einem Überblick und einer allgemeinverständlichen Zusammenfassung der bisherigen Untersuchungen. Wir versuchen deshalb an dieser Stelle eine Zusammenstellung und Bewertung der Sicherheitsrelevanz für die wichtigsten biologischen Eigenschaf-

ten der Zuckerrüben vorzunehmen. Wichtige Erkenntnisse und Verweise auf die wissenschaftliche Originalliteratur sind in der beigefügten Tabelle aufgelistet.

## **Ergebnisse**

### **Vitalität der Rüben-Samenkeimlinge**

Junge Rüben werden bei der Keimung im Boden als erstes mit dem Virus konfrontiert. Für eine erste Vitalitätsprüfung bei der Keimung sind sie deshalb besonders geeignet und können erste Hinweise auf etwaige ökologische Effekte der transgenen Eigenschaften geben. Versuche, die im Jahr 1994 durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass es beim ersten Wachstumsschritt keine Unterschiede zwischen herkömmlichen und transgenen Keimlingen gibt, unabhängig davon, ob der Krankheitserreger im Boden vorlag oder nicht (Bartsch *et al.*, 1996).

### **Durchsetzungskraft gegenüber anderen Pflanzen**

Werden die Pflanzen größer, müssen sie mit anderen Pflanzen um Licht und Nährstoffe konkurrieren. Krankheiten schwächen dabei einzelne Individuen so stark, dass ihr Durchsetzungsvermögen darunter leiden kann. In mehrjährigen Freilanduntersuchungen von 1993-1999 wurde deshalb das ökologische Verhalten der Rüben unter Konkurrenzdruck erfasst. Dabei zeigte sich, dass gentechnisch veränderte Rüben bei starkem Virusbefall tatsächlich besser wachsen im Vergleich zu den herkömmlichen Rüben, was auch das Ziel der gentechnischen Veränderung war. Bei allen anderen Wachstumsbedingungen finden sich keine Unterschiede. Die verstärkte Durchsetzungskraft von transgenen Rüben war allerdings nicht höher als die von herkömmlich gezüchteten virustoleranten Pflanzen (Bartsch *et al.*, 1996; Bartsch und Brand, 1998).

### **Überleben im Winter**

Zuckerrüben sind „zweijährige Pflanzen“, das heißt, sie bilden im ersten Jahr lediglich einen verdickten Rübenkörper und können erst im zweiten Jahr blühen und Nachkommen erzeugen. Den dazwischen liegenden Winter müssen sie trotz widriger Kälte überstehen, was ihnen aber nach den bisherigen Erfahrungen nur unter sehr milden Bedingungen in nennenswertem Umfang gelingt. Die mit der Zuckerrübe verwandten wilden Rüben kommen deshalb natürlicherweise nur im Mittelmeergebiet und an den Nordeuropäischen Meeresküsten unter dem Einfluss des Golfstroms vor. Eine Verbreitung der Rüben ist also durch die mangelnde Winterhärte beeinträchtigt. Es lag daher nahe zu untersuchen, ob transgene Eigenschaften diese wichtige Einschränkung der Pflanzen-Fitness verändern. Um möglichst verschiedenartige Winterbedingungen zu erfassen, wurden Versuche von 1994-1999 an verschiedenen Orten in Deutschland durchgeführt. In keinem der Winter – ob mild oder eher kalt – waren Unterschiede zwischen transgenen und herkömmlichen Zuckerrüben festzustellen (Pohl-Orf *et al.*, 1999a).

### Unkrautentstehung durch vorzeitiges Blühen

Für Rüben gibt es allerdings noch die Möglichkeit, ungünstige Witterungsverhältnisse (einschließlich Winterkälte) in Form von Samen zu überstehen. Voraussetzung hierfür ist der Abschluss des Lebenszyklus von der Keimung bis zur Samenproduktion innerhalb von einem Jahr. Diese sogenannte „Einjährigkeit“ ist von besonderer Bedeutung bei einer speziellen Form der Zuckerrübe, der sogenannten Unkrautrübe. Äußerlich von jungen Zuckerrüben nicht zu unterscheiden, entwickeln Unkrautrüben keinen Rübenkörper und blühen statt dessen frei in Zuckerrübenfeldern ab und produzieren Samen. Aufgrund ihrer Ähnlichkeit zur Zuckerrübe sind sie mit chemischen Unkrautmitteln nicht zu bekämpfen, sondern es ist nur mit Handarbeit das Entfernen der spät sichtbaren Blütenstände möglich. Einjährige Unkrautrüben erschweren die maschinelle Ernte der Zuckerrüben und vermindern bei übermäßigem Vorkommen auch den Ertrag empfindlich. Die unerwünschte Einjährigkeit können Zuckerrüben auf zweierlei Wegen erlangen: Zufällige Übertragung („Kreuzung“) von Unkrautgenen aus wilden einjährigen Rüben (siehe nächster Abschnitt) oder durch Selektion bedingte Rückentwicklung zum Verhalten der ursprünglichen wilden Rüben. Letzterem Verhalten wurde bei der Sicherheitsbetrachtung besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Es wurde aber eher ein gegenteiliger „sicherheitsfördernder“ Effekt gefunden, nämlich dass transgene Zuckerrüben weniger an dieser genetischen Rückentwicklung leiden als herkömmliche Pflanzen (Pohl-Orf *et al.*, 1999a). Dadurch würden die transgenen Rüben als „Unkrautrüben“ seltener zur Blüte gelangen als herkömmliche Rüben. Eine Verallgemeinerung für den Einfluss aller gentechnischen Veränderungen auf das Blühen sollte man hieraus aber nicht ableiten.

### Sexuelle Übertragung der Gene auf andere Pflanzen („Vertikaler Gentransfer“)

Die eingefügten transgenen Eigenschaften können sich auf andere Pflanzen verbreiten, wenn sie sexuell mit Zuckerrüben kreuzbar sind. Dafür ist Voraussetzung, dass beide Partner gleichzeitig zur Blüte kommen. Solch ein Fall ist erfahrungsgemäß sehr selten, aber nicht ausgeschlossen. Es gibt nur wenige verwandte Pflanzen, die zu einem Genaustausch in der Lage sind. Dazu gehören insbesondere Mangold, Rote Beete, Futterrüben und wilde Rüben, die allesamt zu der Art *Beta vulgaris* gehören. Gene von entfernt verwandten Arten wie z.B. Spinat (*Spinacia oleracea*) sind dagegen sexuell nicht übertragbar. Auch wenn in vielen Fällen eine sexuelle Genübertragung in der landwirtschaftlichen Praxis sehr unwahrscheinlich ist, muss unter Sicherheitsaspekten auch das ökologische Verhalten dieser transgenen Produkte betrachtet werden. Im Forschungsvorhaben wurden deshalb transgene Eigenschaften auf Mangold, Rote Beete und wilde Rüben übertragen und die Vererbung der Transgene in den Nachkommen analysiert (Dietz-Pfeilstetter und Kirchner, 1998; Dietz-Pfeilstetter *et al.*, 1998; Pohl-Orf *et al.*, 1999b). Die Produkte („Hybriden“) wurden auch in ihrem biologischen Verhalten (Keimung, Durchsetzungskraft, Überleben im Winter) untersucht (Bartsch und Pohl-Orf, 1996). Auch hier zeigte sich, dass sie sich nicht von herkömmlichen Pflanzen unterscheiden lassen. Es ist zwar auf Dauer mit dem Entstehen von herbizidresistenten Unkrautrüben zu rechnen, aber dieser Zustand unterscheidet sich nicht von der aktuellen Situation im Zuckerrübenanbau. Auch

hier reagieren gegenwärtig alle herkömmlichen Unkrautrüben im selben Maße gegenüber Herbiziden wie Zuckerrüben.

### Übertragung der Gene von Pflanzen auf Mikroorganismen („Horizontaler Gentransfer“)

Bei der Erzeugung gentechnisch veränderter Pflanzen werden häufig bakterielle Gensequenzen (z.B. Promotoren oder Antibiotika-Resistenzgene) in Pflanzen übertragen. Gleichzeitig dienen Bakterien (*Agrobacterium tumefaciens*) oft als Vehikel zum Einschleusen von Genen in das Pflanzengenom. Der umgekehrte Fall, die Übertragung von DNA transgener Pflanzen auf Mikroorganismen, war Gegenstand vielfältiger Spekulationen zur Sicherheit von Antibiotika-Resistenzgenen. Die Wahrscheinlichkeit eines horizontalen Gentransfers von Antibiotika-Resistenzgenen aus Pflanzen-DNA auf Bakterien und mögliche Auswirkungen eines solchen Transfers auf die Verbreitung von Antibiotika-Resistenzen war daher Gegenstand der Sicherheitsforschung. Natürliche Transformation wird als der wahrscheinlichste Mechanismus für einen Transfer von Pflanzen-DNA auf Bakterien angenommen. Solche Markierungsgene sind für die Selektion der erfolgreich veränderten Pflanzen früher unerlässlich gewesen. Sollten Mikroorganismen, die bisher empfindlich gegen bestimmte Antibiotika waren, solche Gene aus Pflanzen aufnehmen und in ihr Genom integrieren, so wären sie plötzlich auch resistent gegenüber den betreffenden medizinischen Wirkstoffen.

Dieser sogenannte „horizontale Gentransfer“ wurde bisher, trotz vielfältiger Studien unter Freilandbedingungen, nicht gefunden. Auch die an virusresistenten Zuckerrüben durchgeführten Untersuchungen bilden hier keine Ausnahme. Die gentechnisch übertragene Erbinformation wurde in den Boden durch Blattmaterial und Rübenreste, vor allem aber durch Pollenflug eingebracht und konnte dort auch noch nach mehreren Monaten nachgewiesen werden. Trotz der Anwesenheit von DNA-abbauenden Enzymen („mikrobiellen DNasen“) in der Bodenlösung vermag sogar freie DNA, entlassen aus dem Zuckerrübenmaterial, lange zu überdauern. Solche DNA könnte für Gentransfer durch Transformation von Bakterien zur Verfügung stehen. Ein Einbau in die Erbinformation von Mikroorganismen und eine Ausprägung wurden unter Freilandbedingungen jedoch nicht beobachtet. Einbau und Ausprägung sind offensichtlich schwierig. Ein Hauptgrund dürfte sein, dass entsprechende Gene in den Bakterien bereits vorliegen müssen, damit ein Einbau der gentechnischen Erbinformation durch homologe Rekombination erfolgen kann. Bei Fehlen der homologen DNA ist die Übertragung nicht möglich (für *nptII* geringer als  $1.3 \times 10^{-13}$  pro Bakterium; De Vries et al., 1999). Nach dem Stand der Wissenschaft ist mit einer Übertragung der Transgene auf Mikroorganismen im Freiland also allenfalls mit einer äußerst geringen Wahrscheinlichkeit zu rechnen. Unter optimierten Laborbedingungen konnte der horizontale Gentransfer jedoch von zwei Arbeitsgruppen unabhängig beobachtet werden (Smalla und Gebhard, 1999; De Vries und Wackernagel, 1998). Darüber hinaus muss man davon ausgehen, dass die betreffenden Gene statt von den transgenen Pflanzen aus eher von den Viren und Bakterien, von denen die Gene ursprünglich stammen, in die Bodenmikroorganismen übertragen werden können. Das *nptII*-Gen z.B. kommt vor allem in Kanamycin-resistenten Bakterien des Abwassers vor (Smalla et al.,

1993). Angesichts des häufigen Vorkommens von Antibiotika-Resistenzgenen in bakteriellen Populationen und der sehr niedrigen Frequenzen eines *in situ* bislang nicht nachgewiesenen Gentransfers von Pflanzen-DNA auf Bakterien ist es unwahrscheinlich, dass Antibiotika-Resistenzgene in gentechnisch veränderten Pflanzen zu einer zusätzlichen Verbreitung dieser Gene führen.

### **Stabilität der neuen Gene**

Werden transgene Eigenschaften in Pflanzen eingebracht, ist ihre zuverlässige Ausprägung von Bedeutung. Für den Landwirt ist wichtig, dass der versprochene Schutz vor Ernteverlusten für lange Zeit und unabhängig von ungünstigen Witterungsverhältnissen gewährleistet ist. Von ökologischem Interesse ist die Merkmalsausprägung nach sexueller Genübertragung auf verwandte Pflanzen wie Mangold oder wilde Rüben. Bisherige Untersuchungen im Gewächshaus haben gezeigt, dass in den Hybriden die Ausprägung des Virusresistenzgens und des Herbizidtoleranzgens stabil ist und dass die Transgene stabil weitervererbt werden (Dietz-Pfeilstetter und Kirchner, 1998; Dietz-Pfeilstetter *et al.*, 1998). Wie 1995 und 1996 im Freiland durchgeführte Experimente an Mangold/Zuckerrüben-Hybriden zeigen, ist jedoch die Ausprägung des Virusresistenzgens während der Vegetationsperiode nicht stabil. An heißen Tagen mit langer Sonnenscheindauer wurde bei etwa der Hälfte der Pflanzen eine Inaktivierung des Virusresistenzgens beobachtet, während das ebenfalls untersuchte Markierungsgen unabhängig von den Klimabedingungen stabil ausgeprägt wurde. Für die Entwicklung neuer Sorten bedeutet dies, dass die Zuverlässigkeit im Einzelfall genau geprüft werden muss, damit ein Qualitätsvorteil von transgenen Pflanzen auch tatsächlich gegeben ist.

### **Entstehung neuer Viruskrankheiten**

Das Prinzip der Entwicklung virusresistenter Pflanzen beruht auf der Übertragung eines Teils der Erbinformation des Krankheitserregers in die Erbinformation der Pflanze. Bei diesem Schritt gelangen Teilstücke des Virus in Bereiche, in denen sie zuvor nicht vorkamen. Aus diesem Grund wurde untersucht, ob durch diese Neuverteilung nicht andere Krankheitserreger gefördert werden. Theoretisch vorstellbar waren die ungewohnten Kombinationen von Virushüllen („heterologe Encapsidierung“) und Viruserbinformation („virale Rekombination“). In beiden Fällen hätten vielleicht Krankheitserreger mit einer größeren Aktivität und einem breiteren Wirkungsspektrum entstehen können. Diesen Fragen ist man in mehreren Untersuchungsjahren nachgegangen. Bisher haben sich trotz intensiver Forschung keinerlei Hinweise auf die Entstehung neuer Viren ergeben (Maiss *et al.*, 1995; Koenig und Lesemann, 1995).

### **Beeinflussung von Bodentieren**

In den ersten Versuchsjahren wurden Untersuchungen zu Nebenwirkungen auf Bodentiere durchgeführt. Da die Versuchsfelder mit den transgenen Rüben insgesamt sehr klein waren, sollten die erzielten Ergebnisse vorsichtig interpretiert werden. Bei den Untersuchungen wurde die Artenvielfalt von Bodentieren zwischen der Freilandfläche mit transgenen

bzw. herkömmlichen Rüben und umgebenden landwirtschaftlich genutzten Flächen verglichen. Dabei konnten keine bedeutenden Unterschiede hinsichtlich der Artenvielfalt und dem Auftreten einzelner Artengruppen festgestellt werden (Schuphan und Bartsch, 1997).

## Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen konnten zeigen, dass

- eine sexuelle Verbreitung der transgenen Eigenschaften auf wenige mit den Zuckerrüben verwandte Pflanzen möglich ist. Diese Verbreitungsmöglichkeit unterscheidet sich aber nicht von herkömmlichen Rüben;
- eine Übertragung der Virusresistenz für wilde Rüben keine ökologische Bedeutung hat, weil es die Krankheit in deren Verbreitungsgebieten nicht gibt;
- eine Übertragung der Markergene (*nptII*, *bar*) für wilde Rüben keine ökologische Bedeutung hat, weil Antibiotika oder Herbizide in deren Verbreitungsgebieten weder ausgebracht werden noch natürlicherweise im Boden vorliegen;
- Unkrautrüben nur dann einen ökologischen Vorteil haben, wenn sie die Herbizidresistenz gegen Phosphinothricin durch sexuelle Genübertragung erlangen und anschließend nur dieses eine Herbizid gespritzt wird. Ein wirtschaftlicher Schaden ist hier nur für Landwirte zu erwarten, die nicht rechtzeitig auf andere Mittel umstellen;
- sich das Durchsetzungsvermögen und die Winterhärte von transgenen Rüben nicht ungewöhnlich von herkömmlichen Rüben unterscheiden;
- keine unerwünschten Effekte auf Bodentiere zu erwarten sind;
- eine Verbreitung der transgenen Eigenschaften auf Mikroorganismen sehr unwahrscheinlich ist;
- sich bisher keine Anhaltspunkte für die Entstehung neuer Viren ergeben haben;
- die transgenen Eigenschaften stabil in die Erbinformation eingebaut wurden und unabhängig vom genetischen Hintergrund ausgeprägt werden.

Zusammenfassend kann also für den untersuchten Fall der gentechnisch veränderten Zuckerrüben festgestellt werden, dass die biologische Sicherheit von Pflanzen gewährleistet ist, die mit Resistenzen zum Schutz vor der Viruserkrankung Rhizomania, gegen das Antibiotikum Kanamycin und gegen das Pflanzenschutzmittel Phosphinothricin ausgestattet worden sind. Wie auch in der hier vorgestellten Untersuchung sollte sich die vergleichende Bewertung immer an den sicherheitsrelevanten Eigenschaften herkömmlicher Pflanzen orientieren, die ein akzeptiertes Maß in der Pflanzenzüchtung darstellen. Auch in der traditionellen Züchtung gibt es Effekte, die aus ökologischer Sicht möglicherweise als unerwünscht zu werten sind (Schmidt und Bartsch, 1996), aber bisher akzeptiert wurden. Dies unbeachtet zu lassen, hieße mit zweierlei Maß zu messen und bei einer voreiligen Ablehnung der Gentechnik im Pflanzenbau die Chance zu nehmen, neue Lösungsansätze für die Probleme der modernen Landwirtschaft zu entwickeln. Durch sorgfältige Ermittlung sicherheitsrelevanter Eigenschaften von transgenen Pflanzen und deren ausgewogene



<b>Biologische Eigenschaften der neuen Pflanzen</b>	<b>Unterschied zwischen transgenen und konventionellen Rüben</b>	<b>Schlussfolgerung</b>	<b>Literatur</b>
Übertragung der Gene auf verwandte Pflanzen („Vertikaler Gentransfer“)	nein	gleiche Sicherheit wie bei herkömmlichen Pflanzen	Bartsch, Pohl-Orf, 1996; Dietz-Pfeilstetter, Kirchner, 1998; Dietz-Pfeilstetter <i>et al.</i> , 1998
Vitalität der Samen	nein	gleiche Sicherheit wie bei herkömmlichen Pfl.	Bartsch <i>et al.</i> , 1996
Durchsetzungskraft gegenüber anderen Pflanzen	ja, nur bei Virus-erkrankung sind herkömmliche Rüben schwächer	keine Gefahr, da Virus-krankheit ökologisch unbedeutend für Wild-pflanzen ist	Bartsch <i>et al.</i> , 1996; Bartsch, Brand, 1998
Überleben im Winter	nein	gleiche Sicherheit wie bei herkömmlichen Pfl.	Pohl-Orf <i>et al.</i> , 1999
Unkrautentstehung durch vorzeitiges Blühen	ja, bei transgenen Rüben schwächer	gleiche Sicherheit wie bei herkömmlichen Pfl.	Pohl-Orf <i>et al.</i> , 1999
Übertragung der Gene auf Mikroorganismen („Horizontaler Gentransfer“)	im Labor nachzuweisen	gleiche Sicherheit wie bei herkömmlichen Pfl.	Gebhard, Smalla, 1998; Koenig, Lesemann, 1995; Smalla, Gebhard, 1999; Smalla <i>et al.</i> , 1993; De Vries <i>et al.</i> , 1999; De Vries, Wackernagel, 1998; Wackernagel <i>et al.</i> , 1999a,b,c
Entstehung neuer Viruskrankheiten	nicht nachzuweisen	gleiche Sicherheit wie bei herkömmlichen Pfl.	Maiss <i>et al.</i> , 1995; Koenig, Lesemann, 1995
Stabilität der neuen Gene	Stabilität der Expression einzelfallabhängig	gleiche Sicherheit wie bei herkömmlichen Pfl., bei entsprechenden Prüfungen	Dietz-Pfeilstetter, Kirchner, 1998; Dietz-Pfeilstetter <i>et al.</i> , 1998
Einfluss auf Bodentiere	nicht nachzuweisen	gleiche Sicherheit wie bei herkömmlichen Pfl.	Schuphan und Bartsch, 1997

**Tab. 1:** Übersicht über die untersuchten biologischen Eigenschaften der transgenen Pflanzen, die Unterschiede zu herkömmlichen Pflanzen, die Schlussfolgerungen und die zugrundeliegenden wissenschaftlichen Fachbeiträge

Bewertung erhalten wir uns die Möglichkeit zu einer vernünftigen und vorurteilsfreien Entscheidung über die Zukunft der Landwirtschaft.

## Danksagung

Unser Dank gilt KWS SAAT AG/PLANTA (Einbeck) für die Bereitstellung des Pflanzenmaterials. Die Arbeiten wurden gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (Fördernummern: 0310532, 0310582, 0310642, 0310785, 0311045).

## Literatur

Bartsch, D.:

Erfahrungen im Grenzbereich zwischen Befürwortern und Gegnern. In: Bender, W., Gassen H.G., Platzer, K., Sinemus, K. (Hrsg.) Gentechnik in der Lebensmittelproduktion – Wege zum interaktiven Dialog. Technische Universität Darmstadt (TUD) Schriftenreihe Wissenschaft und Technik 71 (ISBN 3–88607–113–8), S. 55-73, 1997.

Bartsch, D., Pohl-Orf, M.:

Ecological aspects of transgenic sugar beet: Transfer and expression of herbicide resistance in hybrids with wild beets. *Euphytica* 91, 55-58, 1996.

Bartsch, D., Schmidt, M., Pohl-Orf, M., Haag, C., Schuphan, I.:

Competitiveness of transgenic sugar beet resistant to beet necrotic yellow vein virus and potential impact on wild beet populations. *Molecular Ecology* 5, 199-205, 1996.

Bartsch, D., Brand, U.:

Mesohaline soil condition decreases BNYV-Virus infection of *Beta vulgaris*. *J. Plant Pathology* 80, 219-223, 1998.

De Vries, J., Meier, P., Wackernagel, W.:

The natural transformation of *Pseudomonas stutzeri* and *Acinetobacter* sp. by kanamycin resistance genes (*nptII*) present in plasmid DNA and the genome of transgenic plants depends on homologous sequences in the recipient cells. *Antonie Leeuwenhoek* (in press, 1999).

De Vries, J., Wackernagel, W.:

Detection of *nptII* (kanamycin resistance) genes in genomes of transgenic plants by marker-rescue transformation. *Mol. Gen. Genet.* 257, 606-613, 1998.

Dietz-Pfeilstetter, A., Kirchner, M.:

Analysis of gene inheritance and expression in hybrids between transgenic sugar beet and wild beets. *Molecular Ecology* 7, 1693-1700, 1998.

Dietz-Pfeilstetter, A., Weber, A., Barg, E., Kirchner, M.:

Untersuchungen zur Vererbung und Ausprägung von Transgenen in Zuckerrüben/Mangold-Hybriden (*Beta vulgaris* L.). *Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft.* 357, 116-117, 1998.

Gebhard, F., Smalla, K.:

Transformation of *Acinetobacter* sp. Strain BD413 by Transgenic Sugar Beet DNA. *Applied and Environmental Microbiology* 64, 1550-1554, 1998.

Koenig, R., Lesemann, D. E.:

Attempts to detect heteroencapsidations or other non-intended side effects in transgenic sugarbeet expressing the coat protein gene of BNYVV. Mitt. Biol. Bundesanstalt 309 (ISBN 3-8263-3071-4), S. 31-38, 1995.

Maiss, E., Koenig, R., Lesemann, D.E.:

Heterologous encapsidation of viruses in transgenic plants and in mixed infections. In: Jones (Hrsg.): Proceedings of the 3rd International Symposium on the Biosafety Results of Field Tests of Genetically Modified Plants and Microorganisms, Monterey CA. University of California - Division of Agriculture and National Resources, Oakland, S. 129-139, 1995.

Nielsen, K. M., Bones, A. M., Smalla, K., van Elsas, J. D.:

Horizontal gene transfer from transgenic plants to terrestrial bacteria - a rare event? FEMS Microbiology Reviews 22, 79-103, 1998.

Pohl-Orf, M., Brand, U., Drießen, S., Hesse, P., Lehnen, M., Morak, C., Mücher, T., Saeglitz, C., von Soosten, C., Bartsch, D.:

Overwintering of genetically modified sugar beet, *Beta vulgaris* var. *altissima* Döll, as a source for dispersal of transgenic pollen. Euphytica 108, 181-186, 1999.

Pohl-Orf, M., Brand, U., Bartsch, D., Schuphan, I.:

Results from biosafety research with transgenic sugar beet - ecological impact of virus resistance in cropland and wild beet habitats. In: G.E. de Vries (ed.), Past, Present and Future Considerations in Risk Assessment when using GMOs. Workshop Proceedings Leeuwenhorst Congress Centre Noordwijkerhout March 5-6, 1998. CCRO Workshop Proceedings (ISBN 90-804984 16), S. 89-98, 1999b.

Pohl-Orf, M., Brand, U., Schuphan, I., Bartsch, D.:

Der Einfluss gentechnisch erzeugter Rhizomania-Resistenz auf das ökologische Verhalten von Hybriden aus Kultur- und Wildrüben. In: Schiemann, J. (Hrsg.): Biologische Sicherheit – Proceedings zum BMBF-Workshop, Braunschweig 1998. Freisetzungsbegleitende Sicherheitsforschung mit gentechnisch veränderten Pflanzen und Mikroorganismen. Braunschweig, Jülich, BEO (Projektträger Biologie, Energie, Umwelt des BMBF), S. 101-110, 1999c.

Schiemann J., Casper, R.:

Freilandversuche mit gentechnisch veränderten Pflanzen. In: Biotechnologie in der Pflanzenzüchtung – BMBF Programm Biotechnologie 2000, Hrsg. Projektträger BEO Jülich (ISBN 3-88135-279-1), S. 135-141, 1994.

Schmidt, M., Bartsch, D.:

Zum Einfluss der Zuckerrüben-Saatgutproduktion auf Wildrüben - Ein Beitrag zur ökologischen Risikoabschätzung von gentechnisch veränderten Kulturpflanzen. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie (München-Weihestephan) 26 (ISBN 3-437-25228-3), S. 575-580, 1996.

Schuphan, I., Bartsch, D.:

Ökologische Untersuchungen zur Einschätzung der Umweltrisiken bei Freisetzung von transgenen Pflanzen - Konkurrenzverhalten, Überdauerungsfähigkeit, Verbreitung, Kreuzhybridisierung und Freiland-Monitoring. Abschlussbericht für das Bundesministerium für Bildung und Forschung, Förderkennzeichen 0310532, Technische Informationsbibliothek TIB Hannover, 40 Seiten, 1997.

Smalla, K., Gebhard, F.:

Freisetzungsbegleitende Sicherheitsforschung: Persistenz transgener Zuckerrüben-DNA im Boden und horizontaler Gentransfer. In: J. Schiemann (Hrsg.): Biologische Sicherheit – Proceedings zum BMBF-Workshop, Braunschweig 1998. Freisetzungsbegleitende Sicherheitsforschung mit gentechnisch veränderten Pflanzen und Mikroorganismen. Braunschweig, Jülich, BEO (Projektträger Biologie, Energie, Umwelt des BMBF), S. 121-136, 1999.

Smalla, K., van Overbeek, L.S., Pukall, R., van Elsas, J.D.:

Prevalence of *nptII* and *Tn5* in kanamycin-resistant bacteria from different environments. FEMS Microbiology Ecology 13, 47-58, 1993.

Wackernagel, W., Blum, S., Meier, P.:

DNA-Entlassung aus transgenen Zuckerrüben während der Vegetations- und Überwinterungsphasen und horizontaler Gentransfer im Boden – Abschlussbericht für das Bundesministerium für Bildung und Forschung, Förderkennzeichen 0311045, Technische Informationsbibliothek TIB, Hannover, 63 Seiten, 1999a.

Wackernagel, W., de Vries, J., Sikorski, J., Lorenz, M.:

Stability of recombinant DNA in soil and of its transforming potential for bacteria. In: G.E. Vries (ed.), Past, Present and Future Considerations in Risk Assessment when using GMOs. Workshop Proceedings Leeuwenhorst Congress Centre Noordwijkerhout. March 5-6, 1998. CCRO Workshop Proceedings (ISBN 90-804984), S. 33-39, 1999b.

Wackernagel, W., Blum, S., Meier, P.:

DNA-Entlassung aus transgenen Zuckerrüben während der Vegetations- und Überwinterungsphase und horizontaler Gentransfer im Boden In: J. Schiemann (Hrsg.): Biologische Sicherheit – Proceedings zum BMBF-Workshop, Braunschweig 1998. Freisetzungsbegleitende Sicherheitsforschung mit gentechnisch veränderten Pflanzen und Mikroorganismen. Braunschweig, Jülich, BEO (Projektträger Biologie, Energie, Umwelt des BMBF), S. 111-120, 1999c.

Zeddies, J.:

Erfolge und Grenzen einer intensiven Öffentlichkeitsarbeit. In: Bender, W., Gassen H.G., Platzer, K., Sinemus, K. (Hrsg.) Gentechnik in der Lebensmittelproduktion – Wege zum interaktiven Dialog. Technische Universität Darmstadt (TUD) Schriftenreihe Wissenschaft und Technik 71 (ISBN 3-88607-113-8), S. 75-82, 1997.