

Umwelt

Transgene schädlingsresistente Pflanzen in der Schweiz?

Ellen Hütter, Franz Bigler, Padruot M. Fried, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Reckenholz (FAL), CH-8046 Zürich

Auskünfte: Franz Bigler, e-mail: franz.bigler@fal.admin.ch, Fax +41 (0)1 377 72 01, Tel. +41 (0)1 377 71 11

Transgene schädlingsresistente Pflanzen wurden 1999 weltweit auf einer Fläche von gut 9 Millionen Hektaren angebaut. Auch für die Schweiz stellt sich die Frage nach dem Nutzen und den Nachteilen dieser Pflanzen für die belebte Umwelt und die Landwirtschaft. Wir sind dieser Frage anhand der internationalen Fachliteratur und im Dialog mit Fachpersonen aus dem In- und Ausland nachgegangen.



Die Übertragung eines eingebauten Gens via Pollen ist bei Mais auf nicht-transgene Maissorten möglich. (Foto: G. Brändle, FAL)

Die Entwicklung schädlingsresistenter Nutzpflanzen durch gentechnologische Methoden hat zwei Hauptziele. Einerseits sollen Verluste auf dem Feld durch Schädlinge verringert und die Erträge dadurch gesichert werden. Andererseits soll der Einsatz von chemischen Schädlingsbekämpfungsmitteln vermindert oder vermieden und dadurch die Umwelt im Vergleich zur heutigen Schädlingsbekämpfungspraxis geschont werden. Die Einsparung von chemischen Insektiziden ist zudem mit einer Arbeits-einsparung und einem möglicherweise geringeren finanziel-

len Aufwand für den Pflanzenschutz verbunden. Vor dem Anbau dieser transgenen Pflanzen müssen der tatsächliche Nutzen und die möglichen Nachteile für die belebte Umwelt und die Landwirtschaft abgeklärt werden. In der Schweiz hat das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) die Aufgabe, Bewilligungsgesuche für Freisetzungsvorhaben mit transgenen Pflanzen zu prüfen. Eine an der Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau Zürich-Reckenholz im Auftrag des BUWAL durchgeführte Literaturstudie soll Entscheidungsgrundlagen schaffen, um Gesuche für die Freisetzung transgener schädlingsresistenter Nutzpflanzen beurteilen zu können. Die Studie soll zudem aufzeigen, welche Fragen vor einer allfälligen Freisetzung zu klären sind¹.

¹ Die Studie erscheint in der Schriftenreihe Umwelt des BUWAL im Frühling 2000

Auswahl der Pflanzen für die Schweiz

In den USA, Kanada, Argentinien, Mexiko, Südafrika, China, Australien und Europa (Frankreich, Spanien und Deutschland) sind transgene schädlingsresistente Varietäten von Mais, Kartoffeln, Baumwolle und Tomaten zum kommerziellen Anbau zugelassen (Tab. 1).

Alle diese Varietäten exprimieren Gene des Bodenbakteriums *Bacillus thuringiensis*, auch bekannt als Bt, das seit vielen Jahren in Form von insektiziden Spritzmitteln weit verbreitet eingesetzt wird (<http://www.transgen.de>, Stand Dezember 1999; James 1999). In diese und zahlreiche weitere Pflanzenvarietäten wurden verschiedene weitere Gene, primär von anderen Bakterien, seltener von Insekten und höheren Pflanzen transferiert. Von besonderem Interesse sind dabei Gene, welche für Inhibitoren

Tab. 1. Weltweiter kommerzieller Anbau von transgenen schädlingsresistenten Pflanzen 1999 (Mio. ha)

Kultur	Zielschädling	Fläche	Land
Mais	<i>Ostrinia nubilalis</i> (Maiszünsler)	7,5	USA, Kanada, Argentinien, Südafrika, Frankreich, Spanien, Deutschland, Ungarn
Baumwolle	<i>Heliothis virescens</i> (Amerikanische Tabakknospenmotte) <i>Helicoverpa zea</i> (Amerikanischer Baumwollkapselwurm)	1,3	USA, Australien, Argentinien, Mexiko, China
Kartoffeln	<i>Leptinotarsa decemlineata</i> (Kartoffelkäfer)	<0,1	USA, Kanada, Osteuropa
Tomaten	Lepidopteren (Schmetterlinge)	<0,1	USA

von Verdauungsenzymen der Insekten (Proteasen, α -Amylasen) codieren. Sorten mit solchen Genen befinden sich noch im Versuchsstadium (Schuler *et al.* 1998). Basierend auf den relevanten Schädlingen in den flächenmässig bedeutendsten Kulturen der Schweiz wurden als Fallbeispiele in der Studie Bt-Mais (mit Resistenz gegen den Maiszünsler *Ostrinia nubilalis*), Bt-Kartoffeln (mit Resistenz gegen den Kartoffelkäfer *Leptinotarsa decemlineata*) und Protease-Inhibitor (PI)-exprimierender Raps (mit teilweiser Wirkung gegen verschiedene Käfer als Rapschädlinge) ausgewählt und anhand folgender Beurteilungskriterien diskutiert.

Beurteilungskriterien

Neben den erwähnten Vorteilen der Einsparung chemischer Insektizide und einer Ertragsssicherung von transgenen schädlingselementen Nutzpflanzen sind bei einem grossflächigen Anbau auch mögliche Nachteile für die belebte Umwelt und die Landwirtschaft zu berücksichtigen. Diese Nachteile müssen immer im Vergleich zu den bisher eingesetzten Verfahren der Schädlingsbekämpfung beurteilt werden. Zu den möglichen Nachteilen von transgenen schädlingselementen Pflanzen zählen: Die Entwicklung einer Resistenz der Zielschädlinge gegen das in der transgenen Pflanze exprimierte insektizide Toxin, Schädigung von Nicht-Zielorganismen wie Nützlinge, Bienen, Nicht-Zielherbivoren und Bodenorganismen sowie die Übertragung des eingebauten Gens via Pollen auf sexuell kompatible Kreuzungspartner (vertikaler Gentransfer). Die landwirtschaftliche Praxis kann auch direkt betroffen sein, beispielsweise wenn der Anbau der transgenen Pflanzen mit Auflagen verbunden ist, die einen vermehrten Aufwand mit sich bringen und die Entscheidungsfreiheit einschränken (z.B. Ein-

halten von Sicherheitsabständen zu benachbarten Feldern, um eine Auskreuzung zu vermeiden). Aufgrund von Erfahrungen aus dem Ausland ist zudem zu erwarten, dass der Absatz der transgenen Erntegüter nicht ohne Hemmnisse gewährleistet ist.

Resistenzentwicklung der Zielschädlinge

Grundsätzlich besitzen alle Schädlinge das Potenzial, eine Resistenz gegen einen gegen sie eingesetzten Wirkstoff zu entwickeln. Dieser Wirkstoff kann ein Insektizid sein oder ein Toxin, das in einer transgenen Pflanze exprimiert wird (Tabashnik 1994). Transgene schädlingselemente Pflanzen stellen eine präventive und zurzeit noch während der gesamten Vegetationsperiode wirksame Bekämpfungsmethode dar. Der Selektionsdruck auf die Populationen der Zielschädlinge ist damit hoch. Der Einsatz der herkömmlichen Schädlingsbekämpfungsverfahren erfolgt hingegen in den meisten Fällen gezielt und nach dem Schadschwellenprinzip, was den Selektionsdruck auf die Schädlingspopulationen geringer hält. Der grossflächige Anbau transgener schädlingselementer Pflanzen mit denselben Resistenzgenen kann die Entwicklung einer Resistenz begünstigen. Neben dem Selektionsdruck durch die Konzentration des in den Pflanzen produzierten Toxins ist die Resistenzentwicklung auch abhängig vom Wirkungsmechanismus des insektiziden Wirkstoffs, von der Biologie (z.B. Anzahl Generationen pro Jahr) und dem Verhalten des Schädlinge (z.B. mobil oder sessil, Wirtsspektrum u.a.) sowie dem Vererbungsmodus und der genetischen Basis der Resistenz.

Da bei den Zielschädlingen der diskutierten Kulturen Mais, Kartoffeln und Raps, dem Maiszünsler, dem Kartoffelkäfer und dem Rapsglanzkäfer bereits Re-

sistenzen gegen chemische und biologische Insektizide bekannt sind, muss grundsätzlich in allen drei Kulturen mit der Entwicklung einer Resistenz gegen das insektizide Genprodukt in der transgenen Wirtspflanze gerechnet werden. In Laborexperimenten konnten Maiszünsler und Kartoffelkäfer auf Resistenz gegen Bt-Spritzmittel selektioniert werden (Arpaia *et al.* 1998; Huang *et al.* 1999). Eine Resistenz gegen Bt-Spritzmittel ist aufgrund der unterschiedlichen Wirkungsmechanismen von inaktiven Bt-Kristallen in Spritzmitteln und aktiven Bt-Toxinen in transgenen Pflanzen jedoch nicht mit einer Resistenz gegen Bt-transformierte Pflanzen gleichzusetzen (z.B. Whalon und Wierenga, 1994; Altre *et al.* 1996; Wierenga *et al.* 1996). Es wird vermutet, dass Insekten schneller eine Resistenz gegen Bt-exprimierende Pflanzen entwickeln werden als gegen Bt-Spritzmittel, da weniger Schritte nötig sind, um die Wirkung von Bt zu überwinden (z.B. Tang *et al.* 1999; Moar *et al.* 1995; Whalon und Wierenga 1994). Das Risiko einer Resistenzentwicklung des Maiszünslers und des Kartoffelkäfers gegen Bt-exprimierende Wirtspflanzen ist grundsätzlich gegeben. Das Ausmass des Risikos kann jedoch zum heutigen Zeitpunkt noch nicht bestimmt werden. Ebenfalls in Laborversuchen wurde kürzlich eine rasche Adaptation des Rapsdflöhs gegen PI-exprimierenden Raps nachgewiesen (Girard *et al.* 1998) was darauf hinweist, dass auch der Rapsglanzkäfer ein Potenzial zur Resistenzentwicklung besitzt.

Flächenschätzungen für transgene Pflanzen

Aufgrund der Struktur der landwirtschaftlichen Betriebe, der Anbaupraxis (Fruchtfolgen) und der relativ kleinen Parzellen in der Schweiz würden die transgenen Kulturen auf verhältnismäs-

sig kleinen Flächen und zufällig verteilt angelegt und der Selektionsdruck auf die Schädlingspopulationen gering gehalten. Der **Maiszünsler** tritt in der Schweiz jährlich auf einer Fläche von 40'000 bis 50'000 ha auf (Bigler und Bosshart, mündl. Mitt. 1999). Auf etwa 15'000 ha (etwa 25 % der gesamten Maisanbaufläche) verursacht der Schädling wirtschaftlich relevante Schäden, die auf etwa 7'000 ha ausschliesslich und erfolgreich mit der Schlupfwespe *Trichogramma brassicae* bekämpft werden. Grosszügige Schätzungen gehen davon aus, dass in der Schweiz maximal 15'000 bis 20'000 Hektaren mit Bt-Mais angesät würden. Der **Kartoffelkäfer** wird jährlich auf einer Fläche von 3'000 bis 5'000 ha (20 bis 30 % der gesamten Kartoffelanbaufläche) mit Bt-Spritzmitteln, Insektenhäutungshemmern sowie Pyrethroiden und Phosphorsäureestern bekämpft. Von dieser Fläche werden rund die Hälfte (1'900 ha) nach den Richtlinien des Biolandbaus und der IP-Suisse angebaut, die den Anbau von transgenen Pflanzen nicht erlauben. Der Anbau von Bt-Kartoffeln wäre somit auf etwa 1'000 bis 3'000 ha gerechtfertigt. Die Bekämpfung des **Rapsglanzkäfers** (*Meligethes aeneus*) erfolgt jährlich auf einer Fläche von etwa 10'000 Hektaren (rund 2/3 der gesamten Rapsanbaufläche) vorwiegend mit Pyrethroiden und Phosphorsäureestern. Da in der Schweiz praktisch kein Raps nach Biolandbau-Richtlinien angebaut wird, wäre mit transgenem Raps auf etwa den heute behandelten Rapsflächen zu rechnen.

Auswirkungen auf Nicht-Zielorganismen

Nicht nur die Schädlinge stehen in Wechselwirkung mit der transgenen Pflanze, auch Nützlinge, Bienen, Nicht-Zielherbivoren und Bodenorganismen nehmen in unterschiedlicher Form Stoffe

aus der Pflanze auf. Erst wenige Studien, die nach Auswirkungen von transgenen schädlingsresistenten Pflanzen auf Nützlinge und Nicht-Zielherbivoren suchen, wurden unter Feldbedingungen durchgeführt. In diesen Feldversuchen blieben die Entwicklung und die Anzahl der während mehrerer Wochen oder Monaten beobachteten Nützlinge und Nicht-Zielherbivoren unverändert im Vergleich zur Kontrolle (Pilcher *et al.* 1997; Lozzia und Rigamonti 1998; Novartis 1998; Riddick *et al.* 1998). Die Studien wiesen jedoch gewisse Mängel in der Versuchsmethodik auf, beispielsweise eine zu kurze Versuchsdauer oder den in Laborversuchen getesteten Insekten wurden ungeeignete Nahrung vorgeetzt. In mehreren Laborstudien konnten hingegen deutlich negative Auswirkungen sowohl von Bt-exprimierenden Pflanzen als auch von Bt und PI in Nährmedien auf Nicht-Zielorganismen nachgewiesen werden (z.B. Chilcutt und Tabashnik 1997; Hilbeck *et al.* 1998a,b, 1999). Es bestehen kaum Untersuchungen über die Auswirkungen von Bt-Kartoffeln (resp. käferwirksamem Bt-Toxin) oder PI-Raps (resp. PI) auf Nicht-Zielorganismen. Obwohl Laborstudien in kleinem Rahmen und unter weitgehendem Ausschluss von Umweltfaktoren und Interaktionen mit anderen Organismen durchgeführt werden, können die Resultate durchaus Hinweise geben auf mögliche Ereignisse im Feld. Sie müssten deshalb unter natürlichen Bedingungen überprüft werden.

Für die Beurteilung chemischer Pflanzenschutzmittel wird heute routinemässig die Auswirkung auf Nicht-Zielorganismen beurteilt. In ähnlicher und angepasster Weise sollen auch transgene Pflanzen auf Nicht-Zielorganismen geprüft und beurteilt werden. Nur so können ökologische Vor- und Nachteile objektiv verglichen werden.

Übertragung der Gene via Pollen

Die in die transgene Pflanze eingebaute Gensequenz befindet sich in den meisten Fällen auch im Pollen. Durch Wind und/oder Insekten werden die Pollen auf die Narbe von Kreuzungspartnern getragen, wobei es sich um die gleiche oder um eine verwandte, sexuell zusammen passende Pflanzenart handeln kann. Dieser Vorgang wird vertikaler Gentransfer genannt. Es ist schwierig, die Verbreitungsdistanz von Pollen zu bestimmen, da sie von zahlreichen Faktoren wie Windverhältnisse, Topographie, Grösse des Feldes, Dichte der Pflanzen, Pollenform und -gewicht abhängt. Ein vertikaler Gentransfer geht unabhängig davon vor sich, ob die Gensequenz mit traditioneller Züchtung oder gentechnischen Methoden in das Pflanzengenom eingeschleust wurde. Im Feld findet ein Gentransfer von Kulturpflanzen auf sexuell passende verwandte Wildpflanzen natürlicherweise ständig statt. Mit der Gentechnologie können neu, wie im Fall von Bt-Pflanzen, bakterielle Gene in den pflanzlichen Genpool gelangen. Entstehen aus der Kreuzung fruchtbare Hybriden, muss untersucht werden, ob sich das neue Gen langfristig im Ökosystem hält. Eine andere Frage ist, ob das neue Gen in den Nachkommen auch exprimiert wird.

Weder Mais noch Kartoffeln haben in der Schweiz andere sexuell passende Kreuzungspartner als Pflanzen derselben Art. Der Kreuzblütler Raps hingegen, aus einer Kreuzung zwischen Rübse und Kohl hervorgegangen, bildet auch bei der Bestäubung von Rübsenblüten fruchtbare Nachkommen (Jacot und Jacot 1994). Rübsen werden fast ausschliesslich im Zwischenfutterbau oder als Gründüngung angebaut und blühen zur Hauptsache zeitlich verschoben zu Raps. Eine Hybri-

disierung mit diesen Pflanzen kann deshalb unter natürlichen Bedingungen mit grosser Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden. Gelegentlich werden Rübsen jedoch auch in Randstreifen von Rapsfeldern als Ablenkfutter für Rapsschädlinge angebaut; mit diesen Pflanzen ist eine Hybridisierung möglich, da sich die Blütezeit um rund zwei Wochen überschneidet. Obwohl in der Schweiz noch zahlreiche weitere Arten von Kreuzblütlern vorkommen (z.B. mehrere weit verbreitete Ackerunkräuter) entstanden aus Kreuzungen, in denen Raps als Pollenspender fungierte, nie fruchtbare Nachkommen (z.B. Renard *et al.* 1993; Jacot und Jacot, 1994; Müllner *et al.* 1997).

Folgen einer Auskreuzung

Die Auskreuzung von transgenen Pflanzen auf nicht-transgene Nutzpflanzen ist in mehrerer Hinsicht unerwünscht. Einerseits können bei einer Auskreuzung die gesetzlich festgesetzten Grenzwerte für gentechnisch veränderte Organismen in Lebensmitteln und Futtermitteln verletzt werden. Findet eine Auskreuzung auf Pflanzen derselben Art statt, die nach den Richtlinien des Biolandbaus oder der IP-Suisse angebaut werden, wird die Nulltoleranz für fremde Gene auf diesen Betrieben verletzt. Zweitens führt die Auskreuzung bei Expression des eingeführten Gens in den Nachkommen zu einer Ausbreitung des Genprodukts und damit zu einem erhöhten Selektionsdruck auf die Schädlinge. Die Erhöhung des Selektionsdrucks wird aber sehr gering sein, da in der Praxis im Mais-, Kartoffel- und Rapsanbau in der Regel jedes Jahr neues Saat- respektive Pflanzgut zugekauft wird. Zudem verrotten auf der Erde verbleibende Maiskörner während dem Winter und keimen im kommenden Jahr nicht mehr aus. Rapssamen können zwar bis zu

mehreren Jahren im Boden überdauern, Durchwuchsrap- und -kartoffeln werden jedoch in der Regel in den nachfolgenden Kulturen beseitigt.

Bisher kaum untersucht wurde, ob ein vertikaler Gentransfer auf Wildpflanzen Auswirkungen auf Nicht-Zielorganismen hat, die sich auf den Wildpflanzen ernähren.

Auswirkungen auf die Anbaupraxis

In den Tabellen 2 bis 4 werden die bedeutendsten Auswirkungen auf die Anbaupraxis zusammengefasst, die beim Anbau von transgenen schädlingsresistenten Varietäten in der Schweiz zu erwarten sind.

Der Anbau von transgenen schädlingsresistenten Nutzpflanzen in der Schweiz kann im Fall von Bt-Kartoffeln und PI-Raps zu einer Reduktion der bisher eingesetzten chemischen Insektizide und dadurch zu einer Reduktion der Umweltbelastung führen. Mit der Einsparung von Insektizideinsätzen ist auch eine Arbeits- und möglicherweise Kostenersparnis verbunden. Vermutlich wird diese Ersparnis durch das Planen, Koordinieren und Anlegen von Refugien zum Resistenzmanagement wieder wett gemacht. Bei allen drei besprochenen transgenen Varietäten Mais, Kartoffeln und Raps besteht die Möglichkeit, dass die Zielschädlinge eine Resistenz gegen das in der transgenen Pflanze exprimierte Toxin entwickeln können. Auch die im Kartoffel- und Rapsanbau eingesetzten Insektizide können zur Resistenz des Kartoffelkäfers und des Rapsglanzkäfers gegen die Wirkstoffe führen. Diese Insektizide haben zudem teilweise negative Auswirkungen auf Nicht-Zielorganismen. In Laborstudien konnte nachgewiesen werden, dass Bt-Mais, Bt-Kartoffeln und PI-Raps Nicht-



Zielorganismen beeinträchtigen können.

Wissenslücken und ihre Konsequenzen

Zahlreiche Faktoren, welche die Resistenzentwicklung eines Zielschädlings beeinflussen und das Zielinsekt, die Einzelpflanze und die Kultur betreffen, sind noch unbekannt. Die Entwicklung eines wirksamen Resistenzmanagement-Konzepts ist jedoch von der genauen Kenntnis dieser Faktoren abhängig. Die Forschung zu diesen Punkten wird stark vorangetrieben. Ob sich das heute empfohlene «High-dose/refuge» Resistenzmanagement in der Praxis langfristig bewährt, kann mangels Erfahrungen noch nicht gesagt werden.

Die Planung und Kontrolle der Refugien («refuge») ist mit einem wesentlichen Arbeits- und Kostenaufwand verbunden. Es ist bis heute nicht festgelegt, welche Instanz in der Schweiz den finanziellen und zeitlichen Aufwand dafür übernehmen soll. Wer beispielsweise im Fall einer Resistenzentwicklung verantwortlich sein soll, wird zurzeit im Rahmen der Gen-Lex diskutiert.

Um die langfristigen Auswirkungen der transgenen Pflanzen auf Nicht-Zielorganismen genau abzuklären, braucht es vermehrt Untersuchungen unter Labor-, Halfreiland- und Feldbedingungen, die methodisch korrekt

Zahlreiche Faktoren, welche die Resistenzentwicklung eines Zielschädlings wie den Kartoffelkäfer beeinflussen, sind noch unbekannt.

(Foto: G. Brändle, FAL)

Glossar

Allele:	Formen eines Gens, die sich im Erscheinungsbild des Organismus gleich oder unterschiedlich auswirken
Expression eines Gens:	Umsetzung der genetischen Information in ein Genprodukt, meist ein Protein
Genom:	die Gesamtheit der Gene (genetische Information) eines Organismus
Herbivoren:	Pflanzenmaterial-fressende Insekten
heterozygot:	mischerbig; verschiedene Allele eines Gens im Erbgut von Organismen
homozygot:	reinerbig; gleiche Allele eines Gens im Erbgut von Organismen
Protease-Inhibitor (PI):	Stoff, welcher die proteinspaltenden Enzyme im Darm der Insekten hemmt
transgen:	Bezeichnung für Organismen, in deren Genom mittels gentechnischer Methoden ein oder mehrere Gene eines anderen Organismus eingebaut wurden
Vertikaler Gentransfer:	Übertragung eines Gens via Pollen auf eine andere Pflanze

durchgeführt werden. In der Prüfung von Pflanzenschutzmitteln wird die Wirkung eines Mittels auf definierte repräsentative Nützlingsarten, Bodenorganismen, aquatische Organismen, Vögel und Säuger untersucht. Ein entsprechendes standardisiertes Vorgehen sollte auch eingeführt werden zur Prüfung von transgenen schädlingsresistenten Varietäten vor der Zulassung.

Nicht abschliessend geklärt ist weiter, welche Sicherheitsabstände zu benachbarten nicht-transgenen Kulturen derselben Art eingehalten werden müssen, um einen vertikalen Gentransfer zu verhindern. Bis heute ist weder gesetzlich geregelt, welche

Instanzen die Einhaltung von Sicherheitsabständen zu benachbarten Betrieben kontrolliert und Auskreuzungen erfasst, noch wer nach erfolgter Auskreuzung haftbar gemacht wird.

Um diese Wissenslücken zu füllen, müssen zuerst Prüfmethode ausgearbeitet und standardisiert werden, nach denen die gewünschten Untersuchungen durchgeführt werden. Diese sollten vom Ablauf her zuerst im Labor, dann als Halfreiland- und schliesslich als Freilandversuche erfolgen. Sollte eine transgene Sorte für den kommerziellen Anbau zugelassen werden, müssten durch Begleitforschung und mit einem Monitoring paral-

Tab. 2. Auswirkungen von Bt-Mais auf die Anbaupraxis in der Schweiz

Beurteilungskriterien	Beurteilung für Bt-Mais	Auswirkungen auf die Anbaupraxis
Einsparung von Insektiziden	nein	keine
Resistenzentwicklung	Gefahr vorhanden	bei Verlust der Wirksamkeit der Bt-Sorten Umstellung auf den Einsatz von <i>Trichogramma</i> -Schlupfwespen (sofern sie dann noch auf dem Markt sind)
Auswirkungen auf Nicht-Zielorganismen	Labor: ja Feld: bisher keine	kann noch nicht beurteilt werden.
Auskreuzung -auf verwandte Wildpflanzen -auf nicht-transgene Maissorten	nein ja	bei Auskreuzung in Maisfelder, die nach den Kriterien des Biolandbaus oder der IP-Suisse angebaut werden, verstossen die Produzierenden gegen die vorgeschriebene Nulltoleranz für fremde Gene, was zu Absatzproblemen der Ernten führen würde.
Introgression des Bt-Gens ins Ökosystem	nein	-

Tab. 3. Auswirkungen von Bt-Kartoffeln auf die Anbaupraxis in der Schweiz

Beurteilungskriterien	Beurteilung von Bt-Kartoffeln	Auswirkungen auf die Anbaupraxis
Einsparung von Insektiziden	ja	Arbeitersparnis durch Wegfallen der Spritzmittelapplikationen vermehrter Aufwand für Planung, Anlegen und Kontrolle von Refugien
Resistenzentwicklung	Gefahr vorhanden	Verlust der Wirksamkeit der Bt-Sorten und evtl. Bt-Spritzmittel, vermehrter Einsatz von Insektiziden
Auswirkungen auf Nicht-Zielorganismen	möglich	kann noch nicht abgeschätzt werden
Auskreuzung -auf verwandte Wildpflanzen -auf konventionelle Kartoffelsorten	nein möglich	eine Auskreuzung in Kartoffelfelder, die nach den Kriterien des Biolandbaus oder der IP-Suisse angebaut werden, hat keine Konsequenzen, da die Kartoffelsamen nicht weiter verwendet werden
Introgression des Bt-Gens ins Ökosystem	nein	-

Tab. 4. Auswirkungen von Protease-Inhibitor-exprimierendem Raps (PI-Raps) auf die Anbaupraxis in der Schweiz

Beurteilungskriterien	Beurteilung für PI-Raps	Auswirkungen auf die Anbaupraxis
Einsparung von Insektiziden	ja	Arbeitersparnis durch Wegfallen der Spritzmittelapplikationen Aufwand für Planung, Anlegen und Kontrolle von Refugien
Resistenzentwicklung	Gefahr vorhanden	Verlust der Wirksamkeit der PI-Sorten Resistenz gegen PI-Raps führt nicht zum Wirkungsverlust der bisher eingesetzten Insektizide
Auswirkungen auf Nicht-Zielorganismen	noch wenig erforscht, z.T. Schädigung von Bienen (Labor)	kann zurzeit noch nicht abgeschätzt werden
Auskreuzung -auf verwandte Wildpflanzen -auf konventionelle Rapsorten	ja ja	Auskreuzung auf verwandte Wildpflanzen: die Bildung schädlingresistenter Rübsen in der Gründüngung oder im Zwischenfutterbau ist in der Praxis eher unwahrscheinlich, da Raps und Rübsen zu unterschiedlichen Zeitpunkten blühen; eine Auskreuzung ist jedoch auf Rübsen in Randstreifen von Rapsfeldern möglich, da sich hier die Blütezeit von Raps und Rübse um rund zwei Wochen überschneidet Auskreuzung auf konventionelle Rapsorten: Biolandbau- und IP-Suisse- Produzenten verstossen gegen die Nulltoleranz für fremde Gene
Introgression des Bt-Gens ins Ökosystem	unwahrscheinlich	-

lel zum Anbau langfristige Prozesse beobachtet werden.

Dank

Wir danken dem Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), das die Studie finanziert hat. Dank gebührt den Mitgliedern der Experten-Be-

gleitgruppe und Fachleuten, die das Entstehen der Studie kompetent und engagiert unterstützt haben: Ursula Jenal-Wanner (BUWAL), François Pythoud (BUWAL), Eric Wyss (FiBL), Peter Wyss und Patricia Ahl Goy (Novartis), Elisabeth Schulte und Othmar Käppeli (BATS),

Ruedi Büchi, Andrea Lips und Werner Jossi (FAL).

Literatur

Das vollständige Literaturverzeichnis ist bei der Erstautorin erhältlich.

RÉSUMÉ

Des plantes transgéniques résistantes aux insectes en Suisse?

Les avantages des plantes transgéniques résistantes aux insectes sont la réduction des pertes et la diminution de l'utilisation d'insecticides.

En Suisse, la lutte contre la pyrale du maïs est réalisée exclusivement à l'aide du parasitoïde *Trichogramma brassicae*. Une diminution d'utilisation d'insecticides peut seulement être atteint avec les pommes de terre Bt et le colza exprimant un inhibiteur de protease. Les trois ravageurs principaux des cultures discutées, la pyrale du maïs, le doryphore et le méligèthe du colza ont déjà développé des résistances aux insecticides en laboratoire. Il est donc possible que la durée d'efficacité des plantes transgéniques soit compromise à long terme. Certains résultats de laboratoire indiquent que la culture de variétés transgéniques pourrait avoir des effets négatifs sur des insectes non-cibles. Par contre, de tels effets n'ont pas été révélés jusqu'à présent dans des essais en plein champ. Le jugement définitif des effets sur la faune non-cible n'est pas encore possible aujourd'hui. Un transfert vertical de gènes est possible sur des plantes de maïs, pomme de terre et colza non-transgéniques et, dans une faible mesure, sur la navette, une plante proche du colza.

SUMMARY

Planting transgenic pest resistant crops in Switzerland?

The main target of growing pest-resistant plants is to reduce crop losses due to insect pests and to reduce insecticide applications.

A reduction in insecticide use in Switzerland is only possible for Bt-potatoes and protease inhibitor expressing oilseed rape; in Switzerland no insecticides are registered nor used against the corn borer. As the three main pests of the crops discussed (corn borer, Colorado potato beetle, pollen beetle) have already developed resistance against several insecticides in the lab, it is possible that transgenic pest-resistant crops will lose their efficiency on the long term. Several laboratory studies on side-effects of transgenic crops on non-target insects indicate negative impacts of the toxin-expressing plants. Such effects are not demonstrated so far in the few existing field studies. Final conclusions on this subject are not possible yet. Vertical gene transfer is possible from all three transgenic crops on non-transgenic varieties within the maximum distance of pollen dispersal. From the many plants (mainly widespread weeds) closely related to oilseed rape, vertical gene transfer has only been observed on turnip (*Brassica campestris*=*Brassica rapa*).

Key words: transgenic plants, pest resistance, Bt-plants, resistance management, vertical gene transfer, side effects, non target organisms