

- [20] Hartmann, A., Afsmus, B., Kirchhof, G., and Schloter, M.: Direct approaches for studying soil microbes. In: Van Elsas, J. D., Trevors, J. T., and Wellington, E. M. H. (Hrsg.): *Modern Soil Microbiology*. New York: Marcel Dekker 1997, 279.
- [21] Wagner, M., Amann, R., Lemmer, H., and Schleifer, K.-H.: Probing activated sludge with oligonucleotides specific for proteobacteria: in adequacy of culture-dependent methods for describing microbial community structure. *Appl. Env. Microbiol.* 59 (1993) 1520.
- [22] Zelles, L., Bai, Q. Y., Ma, R. X., Rackwitz, R., Winter, K., and Beese, F.: Microbial biomass, metabolic activity and nutritional status determined from fatty acid patterns and polyhydroxybutyrate in agriculturally managed soils. *Soil Biol. Biochem.* 26 (1994) 439.

Anschrift der Verfasser:

Dr. Dieter Ernst, Hilkea Rosenbrock und Prof. Dr. Heinrich Sandermann, GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Institut für Bioche-

mische Pflanzenpathologie, Ingolstädter Landstr. 1, 85764 Neuherberg; Dr. Anton Hartmann und Dr. Gudrun Kirchhof, GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Institut für Bodenökologie, Ingolstädter Landstr. 1, 85764 Neuherberg; Stephan Bauer, Dr. Wolfgang Ludwig und Prof. Dr. Karl-Heinz Schleifer, Technische Universität München, Lehrstuhl für Mikrobiologie, 80290 München; Prof. Dr. Gerhard Fischbeck, Technische Universität München, Lehrstuhl für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, 85354 Freising-Weihenstephan

Begleitforschung zu Freisetzungsexperimenten mit gentechnisch veränderten Pflanzen: »nice to know« oder »need to know«?

Von P. Brandt

Zusammenfassung

Derzeit gibt es 293 Standorte für Freisetzungsexperimente mit gentechnisch veränderten Pflanzen in Deutschland. Mehr als die Hälfte dieser Freisetzungstandorte liegt in den vier Bundesländern Niedersachsen (53), Mecklenburg-Vorpommern (43), Bayern (41) und Nordrhein-Westfalen (34). Wird die Laufzeit der genehmigten Freisetzungsvorhaben mit einbezogen, so ergeben sich bereits nach dem derzeitigen Stand nahezu 1000 Optionen auf Freisetzungsexperimente im Laufe der nächsten zehn Jahre.

Begleitforschungsprojekte in Angliederung an die laufenden Freisetzungsexperimente mit gentechnisch veränderten Pflanzen haben eine Vielzahl von diversen Einzelaspekten zum Untersuchungsgegenstand. Eine Koordination der Begleitforschungsprojekte ist derzeit nicht zu erkennen, da es mehrfach zu redundanten Untersuchungen kommt.

Anhand der (Teil-)Ergebnisse aus den Begleitforschungsprojekten der Bundesländer Bayern, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz, Sachsen und Sachsen-Anhalt zum a) »Horizontalen Gentransfer«, b) zur Möglichkeit der erhöhten Fitness und c) zum Auskreuzen des Transgens wird exemplarisch aufgezeigt, daß diese Ergebnisse bislang nur bestätigenden und quantitativen Charakter hatten und daß sie nicht qualitativ eine Veränderung der Bewertungsgrundlage (Stand der Wissenschaft) herbeigeführt haben, aufgrund der die bisherigen Genehmigungen ausgesprochen worden sind.

Einleitung

In den vergangenen Jahren wurde die »Grüne Gentechnik« vor allem in Deutschland zu einem der Hauptthemen der öffentlichen Diskussion [1]. Bedingt durch Erkenntnisse aus der Mole-

kulargenetik wird sie als eine der Schlüsseltechnologien des kommenden Jahrhunderts bezeichnet [2]. Ökologen warnen jedoch vor bisher nicht erkannten Risiken und/oder fordern strengere Sicherheitsmaßnahmen [3, 4].

Ähnlich der Entwicklung in den USA ab 1993 nach Einführung eines Anmeldeverfahrens für Freisetzungsexperimente mit bestimmten gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP) [1] hat die Zahl der Freisetzungsexperimente mit GVP in

Summary

Research in parallel to field trials with genetically modified plants: "nice to know" or "need to know"?

Just now there are 293 sites for field trials with genetically modified plants in Germany. More than the half of the sites are within the four federal states 'Niedersachsen' (53), 'Mecklenburg-Vorpommern' (43), 'Bayern' (41) and 'Nordrhein-Westfalen' (34). Taking into account the duration of the field trials, which have been approved, already round about 1000 options for field trials can be calculated for the next ten years.

Research projects in parallel to field trials with genetically modified plants focus on a lot of diverse aspects of these field trials. At that time there is no coordination of these research projects shown by many redundant investigations.

Results of the research projects in parallel to field trials of the federal states 'Bayern', 'Niedersachsen', 'Rheinland-Pfalz', 'Sachsen' and 'Sachsen-Anhalt' with regard to a) the horizontal gene transfer, b) the possibility of higher fitness and c) the outcrossing of the transgene are shown. It will be illustrated by these examples that the results mentioned above only confirm and quantify the scientific data which were formerly the basis for decision and approval.

Deutschland nach dem »Vereinfachten Verfahren«¹ seit 1996 stärker zugenommen. Da diese Verfahrensart vorrangig im Rahmen der Sortenprüfung eingesetzt wird, entfallen auf Bundesländer mit einem großen landwirtschaftlich genutzten Flächenanteil wie Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern, Bayern und Nordrhein-Westfalen auch eine größere Anzahl der Freisetzungsorte (Tab. 1). In Anbetracht der unterschiedlichen Laufzeiten der einzelnen Vorhaben sagt allerdings die Anzahl der Freisetzungsorte noch wenig aus über die tatsächlichen Aktivitäten in diesem Bereich im jeweiligen Bundesland. In dieser Beziehung ist es daher aussagekräftiger, für die Bundesländer die potentielle Anzahl der Vegetationsperioden anzugeben, für die Freisetzungsexperimente durch Genehmigungsbescheide zugelassen worden sind (Tab. 2). Die Gruppe der Bundesländer mit den meisten derartigen Optionen auf Freisetzungsexperimente wird durch diese Zählweise zwar nicht verändert, jedoch wird durch die Unterteilung in die bereits abgelaufenen Optionen (bis 1998) und die ab 1999 noch zur Verfügung stehenden Optionen auf Freisetzungsexperimente mit GVP in eindrucksvoller Weise deutlich gemacht, in welchem Umfang in den kommenden zehn Jahren Freisetzungsexperimente in den einzelnen Bundesländern bereits nach dem heutigen Stand der Zulassungen möglich sind.

Wenn auch die rund 1000 Optionen auf Freisetzungsexperimente für die nächsten Jahre von der Anzahl her nicht unerheblich erscheinen, so ist doch daran zu erinnern, daß es sich dabei um Versuche mit GVP handelt, welche räumlich und zeitlich begrenzt sind und nur unter Einhaltung der im Genehmigungsbescheid festgelegten Versuchsbedingungen durchgeführt werden dürfen. Im Gegensatz dazu ist für einige GVP bereits die Genehmigung für das Inverkehrbringen und die Sortenzulassung erteilt worden, so daß diese GVP ebenso uneingeschränkt angebaut werden können wie konventionell gezüchtete Sorten [1, 3].

Im Hinblick auf die Bewertung der sicherheitsrelevanten Aspekte von Freisetzungsexperimenten mit GVP ist im Gentechnikgesetz (GenTG) eindeutig festgelegt, daß die sicherheitsrelevanten Eigenschaften der für die Freisetzung bestimmten Pflanze sowie die für ihr

Tabelle 1: Verteilung der 293 Standorte für die bislang genehmigten Freisetzungsexperimente mit gentechnisch veränderten Organismen auf die Bundesländer (Stand 19. 8. 1998)

Bundesland	Erststandorte	nachgemeldete Standorte	Summe
Baden-Württemberg	4	16	20
Bayern	12	29	41
Berlin	–	–	–
Brandenburg	8	10	18
Bremen	–	–	–
Hamburg	–	–	–
Hessen	1	1	2
Mecklenburg-Vorpommern	21	22	43
Niedersachsen	18	41	59
Nordrhein-Westfalen	17	17	34
Rheinland-Pfalz	4	5	9
Saarland	–	–	–
Sachsen	5	18	23
Sachsen-Anhalt	6	16	22
Schleswig-Holstein	1	11	12
Thüringen	2	8	10
Summe	99	194	293

Überleben, ihre Fortpflanzung und Verbreitung relevanten Umstände dem Stand der Wissenschaft entsprechend zu beschreiben sind. Im Kommentar zum § 15 GenTG [5] wird dazu erläutert, daß »die Verweisung des Gesetzgebers auf den Stand der Wissenschaft die Regulierung der Gentechnik und damit den vom Gentechnikgesetz intendierten Rechtsgüterschutz dynamisiert. Die Angaben müssen sich damit nach den neuesten Erkenntnissen der jeweils einschlägigen Wissenschaften richten. Zugrunde zu legen sind dabei alle vertretbaren wissenschaftlichen Erkenntnisse, nicht nur die in Kreisen der Wissenschaft ganz überwiegend vertretene Auffassung. Nicht um Erkenntnisse, sondern um – nicht zu berücksichtigende – Spekulationen handelt es sich aber, wenn Annahmen über sicherheitsrelevante Eigenschaften des Organismus oder über die für Überleben, Fortpflanzung und Verbreitung bedeutsamen Umstände weder einen empirisch belegbaren noch einen wissenschaftlich-theoretisch präzisierbaren Anknüpfungspunkt haben.«

Begleitforschung: Ziele und Absichten

In Anlehnung an die genehmigten Freisetzungsexperimente wurden und

werden in zunehmendem Maße sogenannte Begleitforschungsprojekte in einzelnen Bundesländern initiiert. Untersuchungsziele sind u. a.

- Vergleichender Anbau von GVP und nicht transgenen Kultursorten,
- Pollenverbreitung und Befruchtung,
- Unkrautpopulation und Unkrautsamenbank,
- Rhizosphären- und Bodenbakterien,
- Verweildauer und Abbaubarkeit des Transgens im Boden,
- Arthropodenfauna,
- Populationsdichte und -zusammensetzung blütenbesuchender Insekten,
- Migrationsverhalten blütenbesuchender Insekten,
- Verwildierungspotential der GVP.

Der Umfang und damit auch die Zielrichtung der Begleitforschungsprojekte ist sehr unterschiedlich; in manchen auf ein oder zwei Jahre zeitlich begrenzten Projekten wird nur einer der oben genannten Aspekte untersucht. Da es zahlreiche Überschneidungen und redundante Untersuchungen zu einzelnen Aspekten gibt, findet eine Koordinierung oder Absprache derzeit offensichtlich zwischen den verschiedenen Institutionen nicht statt, die diese Begleitforschungsprojekte durchführen (bzw. durchführen lassen).

¹ Entscheidung der Kommission vom 22. 10. 1993 (93/584/EWG) nebst Anhang

In Anbetracht dieser Begleitforschungsprojekte muß betont werden, daß sie weder Bestandteil der jeweiligen Genehmigungsverfahren zu beantragten Freisetzungsexperimenten mit GVP waren, noch im Rahmen der erfolgten Zulassung als zusätzliches Projekt dem Betreiber des Freisetzungsvorhabens auferlegt worden sind. Die derzeitigen Begleitforschungsprojekte zu Freisetzungsexperimenten mit GVP unterscheiden sich also in keiner Weise von jeglicher herkömmlichen Forschungstätigkeit, die vorrangig von wissenschaftlichem Interesse und finanziellen Möglichkeiten gesteuert wird.

»Nice to know« oder »need to know«?

Während der vergangenen sieben Jahre ergaben sich im Rahmen der zahlreichen Begleitforschungsprojekte keine Untersuchungsergebnisse, die Anlaß hätten sein können, die bislang erteilten Genehmigungen für Freisetzungsexperimente mit GVP zu widerrufen oder zu modifizieren. Dies soll exemplarisch für drei Teilbereiche (»Horizontaler Gentransfer«, Möglichkeit der erhöhten Fitness und Auskreuzen des Transgens) der Risikoerwägungen für Freisetzungsexperimente mit GVP verdeutlicht werden, ohne daß hier der An-

spruch erfüllt werden kann, sämtliche wissenschaftlich relevante Literatur einzubeziehen und zu behandeln. Zu diesem Zweck werden Ergebnisse aus den Begleitforschungsprojekten aus Bayern [6], Niedersachsen [7], Rheinland-Pfalz [8], Sachsen [9] sowie Sachsen-Anhalt [10] herangezogen:

1) Horizontaler Gentransfer: Die Möglichkeit eines »Horizontalen Gentransfers« des Transgens (Übertragung von der GVP auf einen anderen Organismus über die Artgrenzen hinweg) ist eine der Befürchtungen, die im Zusammenhang mit der Freisetzung von GVP diskutiert wird.

Von der Sache her könnte vermutet werden, daß ein derartiger Gentransfer eher im Bereich der Mikroorganismen zu erwarten ist als im Bereich der Höheren Pflanzen. Insofern können Freisetzungsexperimente mit gentechnisch veränderten Mikroorganismen von besonderem Interesse sein für die Beantwortung der Frage, ob derartige Vorgänge bereits beobachtet werden konnten und – wenn ja – in welcher Frequenz.

1987 wurde in England in der Nähe von Rothamsted ein transgener *Rhizobium*-Stamm (*Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* Stamm RSM2004) freigesetzt, dessen konjugatives Plasmid

durch eine Tn5-Insertion markiert war sowie eine chromosomal kodierte Resistenz gegen Rifampicin aufwies [11]. In den ersten acht Monaten nach der Freisetzung fiel der Titer dieser transgenen Rhizobien von 10^4 – 10^5 auf 10^2 – 10^3 pro Gramm Boden. Auf dieser Titer-Höhe sind die transgenen Rhizobien noch heute auf der ehemaligen Freisetzungsfäche nachweisbar, obwohl ihre Wirtspflanze *Pisum sativum* dort seit 1989 nicht mehr angebaut worden ist. In dem Zeitraum von 1987 bis 1989 wurden über 4000 Wurzelknöllchen der auf der Freisetzungsfäche angebauten Erbsenpflanzen untersucht und festgestellt, daß nur 2 % davon die transgenen Rhizobien enthielten. In keinem einzigen Fall konnten in den Wurzelknöllchen endogene Rhizobien nachgewiesen werden, auf die das Tn5-markierte Plasmid aus den transgenen Rhizobien transferiert worden war. Mit demselben, in dieser Hinsicht negativen Ergebnis wurden vergleichbare Freisetzungsexperimente 1988 in Frankreich mit transgenen Rhizobien [12], 1987 in den USA mit transgenen Pseudomonaden [13] und 1995 in Deutschland mit transgenen Rhizobien durchgeführt.

Sind für den postulierten »Horizontalen Gentransfer« des Transgens im Bereich der Mikroorganismen vorrangig die natürlichen Mechanismen der Konjugation, Transformation oder Transduktion in Betracht zu ziehen, so ist es für den Gentransfer der rekombinanten DNA (rDNA) von GVP auf Mikroorganismen zunächst notwendig, daß die rDNA vor diesem möglicherweise existierenden Ereignis verfügbar wird. Dafür kommen in erster Linie die pflanzliche Seneszenz [6] und die längerdauernde Präsenz der intakten rDNA im Boden in Frage [14-16]. Konnte die rDNA in verschiedenen Untersuchungen auch über mehr als drei Monate im Erdboden nachgewiesen werden [14, 16], so gelang es bislang nicht, den »Horizontalen Gentransfer« des Transgens von GVP auf Mikroorganismen nachzuweisen [17]. Selbst Untersuchungen, in denen bei Verwendung von aus GVP isolierter DNA oder von GVP-Homogenaten unter optimierten Laborbedingungen aufnahmebereite Bodenbakterien (*Acinetobacter calcoaceticus* BD413) transformiert werden konnten, sprechen dafür, daß unter natürlichen Bedingungen ein derartiger »Horizontaler Gentransfer« – wenn überhaupt – nur ein Ereignis von äußerst geringer Eintrittswahrscheinlichkeit sein könnte.

Tabelle 2: Anzahl der jährlichen Optionen auf Freisetzungsexperimente mit gentechnisch veränderten Organismen aufgrund der ergangenen Genehmigungen sowie die Verteilung dieser jährlichen Optionen bis 1998 bzw. ab 1999 auf die Bundesländer. Weitere Erläuterungen im Text (Stand 19. 8. 1998)

Bundesland	Anzahl der jährlichen Optionen				Summe
	am Erststandort		an nachgemeldeten Standorten		
	bis 1998	ab 1999	bis 1998	ab 1999	
Baden-W.	10	3	22	51	86
Bayern	25	13	35	126	199
Brandenburg	16	20	16	95	147
Hessen	3	0	2	1	6
Mecklenburg-V.	43	60	39	106	248
Niedersachsen	36	28	60	161	285
Nordrhein-W.	32	41	22	94	189
Rheinland-P.	10	9	8	38	65
Sachsen	16	6	33	88	143
Sachsen-Anhalt	13	12	27	77	129
Schleswig-H.	3	3	22	67	95
Thüringen	6	0	15	35	56
Summe	213	195	292	949	1649

Für die Erteilung der Zulassung für beantragte Freisetzungsexperimente mit GVP war und ist u. a. zu beachten, daß für die Abschätzung, ob mit der Übertragung der rDNA von GVP auf Mikroorganismen ein Gefahrenpotential verbunden ist, die Häufigkeit, mit der ein solcher horizontaler Gentransfer zu erwarten sein könnte, von untergeordneter Bedeutung ist. Entscheidend ist vielmehr, ob für Mikroorganismen unter den gegebenen natürlichen Bedingungen durch den Erwerb der rDNA ein Selektionsvorteil einhergeht, da prinzipiell auch seltene Transferereignisse zur Etablierung der rDNA in Mikroorganismen und so möglicherweise zu Veränderungen in der Mikroflora führen könnten.

Aus diesem Grund wurde in den bisherigen über 90 Zulassungsverfahren auch die Möglichkeit des »Horizontalen Gentransfers« nicht negiert, sondern in jedem Einzelfall bewertet, ob ein derartiger Selektionsvorteil für Mikroorganismen entstehen könnte, wenn das Transgen aus GVP in ihr Genom transferiert werden würde.

Die Bewertungsgrundlage für Freisetzungsexperimente mit GVP hat sich also durch die Ergebnisse der Begleitforschung nicht geändert.

2) Möglichkeit der erhöhten Fitness: Die gentechnischen Veränderungen der GVP, die derzeit in Deutschland im Rahmen von Freilandversuchen getestet werden, beruhen im wesentlichen auf der Insertion eines Genkonstruktes, das entweder eine Herbizidresistenz oder eine Resistenz gegen den Befall durch bestimmte Phytopathogene verleiht oder das die Modifizierung einer bestimmten pflanzlichen Stoffgruppe (z. B. Blütenfarbstoffe, Stärke oder Öle) bewirkt. Die Bewertung der GVP kann sich natürlich nicht nur auf die eigentliche gentechnische Modifikation beschränken, sondern hat (wie schon oben ausgeführt) alle sicherheitsrelevanten Eigenschaften der GVP samt ihrer komplexen Wechselbeziehungen mit der Umwelt einzubeziehen. Daher ist u. a. auch zu prüfen und zu bewerten, ob zu erwarten ist, daß die GVP durch die gentechnische Modifikation außer der gewünschten Eigenschaft weitere andere Eigenschaften hinzuerworben hat, die in ihrer Summe der GVP eine erhöhte Fitness (z. B. Persistenz und Verbreitungspotential) verleihen, und ob zu erwarten ist, daß dadurch mögliche Gefahren für »Leben und Gesundheit von Menschen, Tiere, Pflanzen sowie die

sonstige Umwelt in ihrem Wirkungsgefüge und Sachgüter« (siehe § 1 GenTG; [5]) bestehen oder entstehen könnten.

Solche Überlegungen sind nicht nur von theoretischer Natur wie die Untersuchungen mit transformierten Rhizobien zeigen bzw. mit transformierten Rapspflanzen nahelegen:

- *Rhizobium leguminosarum*, das mit dem Gen cryIIIA für ein δ -Endotoxin aus *Bacillus thuringiensis* subsp. *tenebrionis* transformiert worden war und damit z. B. gegen den Befall der Wurzeln von *Vicia faba* durch *Sitona*-Larven eingesetzt werden könnte, erwies sich im Konkurrenzversuch mit den nicht transformierten Rhizobien im Vorteil, Wurzelknöllchen von *Vicia faba* zu besiedeln [19].
- Rapspflanzen (*Brassica napus*), die mit dem Gen cryIAC für ein δ -Endotoxin aus *Bacillus thuringiensis* transformiert worden waren und damit eine Resistenz gegen Fraßinsekten erworben hatten, konnten auf Ruderal-Standorten im Vergleich zu nicht transformierten Rapspflanzen den Winter ohne Fraßschäden überdauern und waren dadurch im Frühjahr befähigt, eine größere Anzahl von Blüten und in Folge im Sommer eine größere Anzahl von Samen zu produzieren [20]. Ein ähnlicher Fitnessvorteil wird transgenen Rapspflanzen zugesprochen, deren Samen durch gentechnische Modifikation eine andere Zusammensetzung der Reserve-Öle haben [21].

Es wird sicher jedem einsichtig sein, daß aus einer Erhöhung der Fitness der GVP im Vergleich zu der nicht transformierten Ausgangssorte - für sich allein betrachtet - noch nicht auf eine Gefährdung im obigen Sinne gefolgert werden kann. Von einer potentiellen Gefährdung könnte im Einzelfall nur dann ausgegangen werden, wenn der Fitnessvorteil der GVP am beantragten Freisetzungsort realisierbar ist und wenn die Vielzahl landwirtschaftlicher Praktiken nicht mehr gewährleisten würde, z. B. die Verbreitung und dauerhafte Etablierung der GVP an unerwünschten Standorten zu verhindern. Ein Vergleich des Phänotyps und des Anbauverhaltes von GVP und nicht transformierter Kultursorte (sowie u. U. von artverwandten Unkräutern), wie er z. B. für *Beta vulgaris* ssp. *vulgaris* und *Beta vulgaris* ssp. *maritima* bzw. für *Brassica napus* und *Sinapis alba* durchgeführt wurde [22], liefert wertvolle Belege für eine derartige Bewertung.

In den bisherigen über 90 Zulassungsverfahren wurde nach Behandlung dieser Erwägungsgründe festgestellt, daß durch die im jeweiligen Einzelfall vorliegende gentechnische Modifikation nicht zu erwarten ist, daß die betreffende GVP einen Fitness-Vorteil an dem beantragten Freisetzungsort erlangen könnte, der z. B. die Verbreitung und dauerhafte Etablierung der GVP begünstigen würde.

Das Begleitforschungsprojekt in Sachsen-Anhalt [10] hat in dieser Hinsicht ergeben, daß sich die transgenen Rapspflanzen und die entsprechenden, nicht gentechnisch veränderten Kultursorten in ihrem Anbauverhalten in den Jahren 1996/97 und 1997/98 nicht signifikant unterschieden haben und daß der im Nachgang zum Anbau aufgelaufene Ausfallraps der GVP ebenso wie der der nicht gentechnisch veränderten Kultursorten auf dieselbe Weise erfolgreich beseitigt werden konnte. Das Begleitforschungsprojekt in Niedersachsen [7] zeigt auf, daß sich kein transgener Raps auf Ruderal-Standorten in der Umgebung des Freisetzungsortes etablieren konnte. Das Begleitforschungsprojekt in Bayern [6] gibt Werte für die Menge von transgenem Ausfallraps auf den Versuchsflächen sowie die Anzahl von auflaufenden transgenen Rapsamen auf benachbarten Parzellen oder der Fläche der ehemaligen Mantelsaat an, die in ihrer Größenordnung nicht über die aus dem Anbau von konventionell gezüchteten Rapsorten hinausgehen.

Die Bewertungsgrundlage für Freisetzungsexperimente mit GVP hat sich also durch die Ergebnisse der Begleitforschung nicht geändert.

3) Auskreuzen des Transgens: Der Transfer des Transgens über die Verbreitung des transgenen Pollens auf Kreuzungspartner der GVP in der Umgebung des Freisetzungsortes ist ein immer wieder aufgegriffener Aspekt der öffentlichen Diskussion über Freisetzungsexperimente. Bei dieser Diskussion wird meist übersehen, daß es aus der landwirtschaftlichen Praxis genügend Erfahrung und aus einzelnen Untersuchungen mit konventionell gezüchteten Pflanzen schon seit mehr als zehn Jahren quantitative Angaben darüber gibt, wie viel und wie weit der Pollen der verschiedenen Kulturpflanzenarten verbreitet werden kann. Setzt man z. B. die Pollenmenge am Rand von blühenden Rapsfeldern (Größe 3 bis 10 ha) gleich 100 %, so sind in einer Ent-

fernung von 360 m von solchen Feldern immer noch 10 bis 12 % und in 1,5 bis 2,5 km Entfernung noch geringe Prozentsätze der Ausgangspollenmenge in der Luft nachweisbar [23]. Von Bedeutung für die sicherheitsrelevanten Aspekte von Freisetzungsexperimenten mit GVP ist aber nicht so sehr die Raps-pollenverbreitung als die aus ihr resultierende Hybridbildung in der Umgebung der Freisetzungsstandorte. Auch dazu liegen quantitative Angaben aus älteren Untersuchungen vor. So wurde bereits 1982 publiziert [24], daß in der Nähe von Rapsfeldern in einer Entfernung von 50, 140 bzw. 350 m Hybridisierungsraten von 2,1 %, 1,1 % bzw. 0,6 % nachzuweisen sind. In Tabelle 3 sind diese Werte [24] denen gegenübergestellt, die sich aus den fünf Begleitforschungsprojekten [6-10] sowie aus weiteren Untersuchungen [25, 27-29] ergeben haben. Es wird an Hand dieser vergleichenden Zusammenstellung grundsätzlich deutlich, daß

- die Hybridisierungsrate mit zunehmender Entfernung vom blühenden

Rapsfeld/Freisetzungsstandort abnimmt,

- die Mantelsaat aus nicht transgenen Rapspflanzen eine verminderte Wirkung auf den Pollenausstrag und die resultierende Hybridisierungsrate im Umfeld hat,
- die Hybridisierungsrate im Umfeld des blühenden Rapsfeldes/Freisetzungsstandortes mit seiner Größe zunimmt,
- die Hybridisierungsraten der verschiedenen Projekte nur tendenziell, aber nicht zahlenmäßig vergleichbar sind, da das Ausmaß an Pollenausstrag und Hybridisierung offensichtlich durch das Zusammenspiel einer Vielzahl von Faktoren wie Rapsorte, Standortbedingungen, Wetterverlauf usw. bestimmt wird.

Wie bereits im Zusammenhang mit dem »Horizontalen Gentransfer« in analoger Weise ausgeführt, war und ist für die Erteilung der Zulassung für beantragte Freisetzungsexperimente mit GVP u. a. zu beachten, daß für die Abschätzung,

ob mit der Übertragung transgenen Pollens auf Kreuzungspartner des transgenen Raps und anschließende Hybridbildung ein Gefahrenpotential verbunden ist, die Häufigkeit, mit der eine solche Hybridbildung zu erwarten sein könnte, von untergeordneter Bedeutung ist. Entscheidend ist vielmehr, ob für die Hybridpflanzen unter den gegebenen natürlichen Bedingungen durch den Erwerb der gentechnischen Modifikation ein Selektionsvorteil einhergeht, da prinzipiell auch seltene Transferereignisse zur Etablierung der Hybridpflanzen in der Umwelt und so möglicherweise zu unerwünschten Veränderungen führen könnten.

In den bisherigen, über 90 Zulassungsverfahren wurde davon ausgegangen, daß ein Austrag von transgenem Pollen über etwaige Mantelsaaten und/oder Isolationszonen hinaus auf Kreuzungspartner im Umfeld des Freisetzungsstandortes erfolgen wird, und es war zu prüfen, ob aus den zu erwartenden Hybridisierungsereignissen, wie sie auch in zahlreichen Publikationen beschrieben werden [z. B. 4, 30-38], mögliche Gefahren für die Schutzgüter nach § 1 GenTG (siehe oben) entstehen könnten.

Die Bewertungsgrundlage für Freisetzungsexperimente mit GVP hat sich also durch die Ergebnisse der Begleitforschung nicht geändert.

Tabelle 3: Vergleichende Zusammenstellung der Hybridisierungsraten bei *Brassica napus* [24] oder *Brassica rapa* [26] in der Umgebung von Feldern mit konventionell gezüchtetem Raps oder der Hybridisierungsraten bei *Brassica napus* in der Umgebung von Freisetzungsexperimenten mit transgenem Raps [6-10, 25, 27-29]

Fläche ⇨ (qm)	Hybridbildung (%)										
	27 [24]	27 [25]	26 [26]	27 [27]	6 [6]	960 [8]	3500 [9]	1000 [7]	10 [10]	≤ 10000 [28]	400 [29]
Abstand (m) ⇨ i.d.b.B.		4,7	1,0*			0,5*				6,1*	6,3
		M		M 2,0	M 6,0*	M	M	M			
1		M 1,6		M 1,6	M	M	M	M			
1,5		M		M	M 5,6*	M	M	M			
3		M 0,4		M 0,7	M 4,8*	M	M	M			
4		M		M		M 0,9	M 0,9*	M			
6		M 0,11		M 0,5		M	M	M 7,6			
8		M				M	M	M			
12		M 0,016						M			
14		M						M 0,7			
24		M 0,004									
36		M 0,001									
45-50	2,1	M 0,0003				0,83*					
70-75		M 0				0,55*					
100						0,49*			0,5		
140	1,1										
200								0,03		0,0156	
350-400	0,6								3,7	0,0038	

I. d. b. B. = im direkt benachbarten Bestand; M = Mantelsaat aus nicht gentechnisch veränderten Rapspflanzen mit zeitgleicher Blühperiode wie die GVP; * = gemittelte Werte aus den Angaben der jeweiligen Publikation

Koordination mag wünschenswert sein, Erfassung der Ergebnisse ist notwendig

In Anbetracht der Vielfältigkeit der Aspekte zu Freisetzungsvorhaben mit GVP, welche in den einzelnen Begleitforschungsprojekten untersucht wurden und in Zukunft noch werden, und in Bezug auf die Relevanz für den Vollzug des GenTG ist des »Zentrum für Gentechnologie« am Robert Koch-Institut von seinem gesetzlichen Auftrag her sicher auch gehalten, eine zentrale Funktion im Rahmen der Begleitforschung zu übernehmen. Diese zentrale Funktion kann jedoch nicht eine etwaige Koordination der verschiedenen Aktivitäten im Bereich der Begleitforschung sein - so wünschenswert eine solche Koordination manchem vielleicht auch erscheinen mag -, sondern ist eher darin zu sehen, die Ergebnisse der verschiedenen Begleitforschungsprojekte zu sammeln und zu sichten und sie für den Vollzug des GenTG nutzbar zu machen. Dies erscheint dringend notwendig, da sonst die Ergebnisse aus den diversen Begleitforschungsprojekten vielfach nicht oder

nur teilweise publiziert werden und damit nur intern zur Verfügung stehen oder aber in sehr speziellen Journalen aufgenommen werden und damit ebenfalls nicht allgemein »zugänglich« sind.

Wenn das »Zentrum für Gentechnik« am Robert Koch-Institut aufgrund seines gesetzlichen Auftrags als Zulassungsstelle an den Ergebnissen der Begleitforschung interessiert ist, so kann es auch die Vermittlerrolle zu Fachkreisen und der Öffentlichkeit wahrnehmen, indem es dafür sorgt, daß diese Ergebnisse in geeigneter Form publiziert werden. Dieses Schwerpunktheft des Bundesgesundheitsblattes soll ein erster Schritt im Sinne dieser Vermittlerfunktion sein.

Resümee

Die bisherigen Ergebnisse der verschiedenen Begleitforschungsprojekte, von denen hier exemplarisch die von fünf Bundesländern [6–10] in Bezug auf den »Horizontalen Gentransfer«, die Möglichkeit der erhöhten Fitness und das Auskreuzen des Transgens auf Kreuzungspartner vergleichend behandelt worden sind, haben keine neuen qualitativen Erkenntnisse erbracht. Sie haben dazu beigetragen, die Daten zu bestätigen und quantitativ zu untermauern, wie sie aus landwirtschaftlicher Erfahrung und wissenschaftlichen Publikationen (auch von konventionell gezüchteten Kulturpflanzenarten) bereits bekannt waren und den bisherigen Zulassungsverfahren u. a. als Bewertungsgrundlage zur Verfügung standen. Auch wenn die derzeitigen Ergebnisse der Begleitforschung nicht dazu beigetragen haben, mögliche Risikopotentiale von freizusetzenden GVP anders zu bewerten oder gar neue aufzuzeigen, so ist nicht auszuschließen, daß eine Erprobung und Validierung von Methoden im Rahmen der heutigen Begleitforschung zu Freisetzungsexperimenten mit GVP, von welchen nach dem Stand der Wissenschaft keine Gefährdung der Schutzgüter nach § 1 GenTG zu erwarten ist, wünschenswert und geeignet sein kann im Hinblick auf zukünftige Freisetzungsvorhaben mit GVP, deren Risikoeinschätzung ganz andere Anforderungen stellen und spezielle Voruntersuchungen erfordern könnten.

Literatur:

- [1] Brandt, P.: Erwartungen und Realität. In: P. Brandt (Hrsg.): Zukunft der Gentechnik. Basel: Birkhäuser-Verlag 1997, 1–14.
- [2] Gassen, H. G., Bangsow, T., Hektor, T., und König, B.: Die wirtschaftlichen Perspektiven der Gentechnik. In: P. Brandt (Hrsg.): Zukunft der Gentechnik. Basel: Birkhäuser-Verlag 1997, 15–30.
- [3] Nehmann, G., und Braun, P.: Freisetzungspraxis und ökologische Begleitforschung. In: P. Brandt (Hrsg.): Zukunft der Gentechnik. Basel: Birkhäuser-Verlag 1997, 189–208.
- [4] Brandt, P.: Transgene Pflanzen. Herstellung, Anwendung, Risiken und Richtlinien. Basel: Birkhäuser-Verlag 1995, 197–234.
- [5] Eberbach, W., Lange, P., und Ronellenfitsch, M. (Hrsg.): Recht der Gentechnik und der Biomedizin. Verlag C. F. Müller (1998), B.15/78.
- [6] Ernst, D., Rosenbrock, H., Hartmann, A., Kirchof, G., Bauer, S., Ludwig, W., Schleifer, K.-H., Sandermann, H., und Fischbeck, G.: Sicherheitsforschung zu Freisetzungsvorhaben in Roggenstein (Bayern). Bundesgesundhbl. 41, 12 (1998) 523–530.
- [7] Feldmann, S. D., Brandes, S., Pfeilstätter, E., Matzk, A., und Schiemann, J.: Begleituntersuchungen des Landes Niedersachsen zur Freisetzung transgener, herbizidresistenter Rapspflanzen. Bundesgesundhbl. 41, 12 (1998) 536–542.
- [8] Hankeln, T., Feldmann, R. C., und Schmidt, E. R.: Untersuchungen zum Gentransfer und zur Freisetzung von DNA aus transgenen Pflanzen in Feldversuchen. Bundesgesundhbl. 41, 12 (1998) 542–547.
- [9] Pellman, H., Reißer, W., Schlegel, M., und Theophilou, S.: Begleitforschung zu Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen in Sachsen. Bundesgesundhbl. 41, 12 (1998) 552–559.
- [10] Förster, K., Schuster C., Belter, A., und Diepenbrock, W.: Agrarökologische Auswirkungen des Anbaus von transgenem herbizidtoleranten Raps (*Brassica napus*). Bundesgesundhbl. 41, 12 (1998) 547–552.
- [11] Hirsch P. R., und Spakes J. D.: Survival and dispersion of genetically modified rhizobia in the field and genetic interactions with native strains. FEMS Microbiol. Ecol. 15 (1993) 147–159.
- [12] Amarger N., und Delgutte D.: Monitoring genetically manipulated *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* released in the field. In: Tagungsband des International Symposium on the Biosafety Results of Field Tests of Genetically Modified Plants and Microorganisms. Kiawah Islands, South Carolina (1990) 221–225.
- [13] Clewell D. B., und Flannagan S. E.: The conjugative transposons of Gram-positive bacteria. In: Clewell D. B. (Hrsg.): Bacterial Conjugation. New York: Plenum Press 1993, 369–393.
- [14] Sandermann, H., Rosenbrock, H., und Ernst, D.: Horizontaler Gentransfer bei Herbizidresistenz? Der Einfluß von Genstabilität und Selektionsdruck. In: Brandt P. (Hrsg.): Zukunft der Gentechnik. Basel: Birkhäuser-Verlag 1998, 209–220.
- [15] Widmer, F., Seidler, R. J., und Watrud, L. S.: Sensitive detection of transgenic plant marker gene persistence in soil microcosms. Mol. Ecol. 5 (1996) 603–613.
- [16] Widmer, F., Seidler, R. J., Donegan, K. K., und Reed, G. L.: Quantification of transgenic plant marker gene persistence in the field. Mol. Ecol. 6 (1997) 1–7.
- [17] Nielsen, K. M., Gebhard, F., Smalla, K., Bønes, A. M., und van Elsas, J. D.: Evaluation of possible horizontal gene transfer from transgenic plants to the soil bacterium *Acinetobacter calcoaceticus* BD413. Theor. Appl. Genet. 95 (1997) 815–821.
- [18] Gebhard, F., and Smalla, K.: Transformation of *Acinetobacter* sp. strain BD413 by transgenic sugar beet DNA. Appl. Environment. Microbiol. 64 (1998) 1550–1554.
- [19] Giddings, G., Myrton, L., Griffiths, M., McCarthy, A., Morgan, C., and Skot, L.: A secondary effect of transformation in *Rhizobium leguminosarum* transgenic for *Bacillus thuringiensis* subspecies *tenebrionis* δ -endotoxin (cryIIIa) genes. Theor. Appl. Genet. 95 (1997) 1062–1068.
- [20] Stewart, C. N., All, J. N., Raymer, P. L., and Ramachandran, S.: Increased fitness of transgenic insecticidal rapeseed under insect selection pressure. Mol. Biol. 6 (1997) 773–779.
- [21] Linder, C. R., and Schmitt, J.: Potential persistence of escaped transgenes—performance of transgenic oil-modified Brassica seeds and seedlings. Ecological Applications 5 (1995) 1056–1068.
- [22] Fredshavn, J. R., and Poulsen, G. S.: Competitiveness of transgenic plants. Symposium: »Gene transfer: Are wild species in danger«, Le Louvain, Schweiz, 9. Nov. 1993, pp. 31–36.
- [23] Timmons, A. M., Charters, Y. M., Crawford, J. W., Burn, D., Scott, S. E., Dubbels, S. J., Wilson, N. J., Robertson, A., O'Brien, E. T., Squire, G. R., and Wilkinson, M. J.: Risks from transgenic crops. Nature 380 (1996) 487.
- [24] Stringham, G. R., and Downey, R. K.: Effectiveness of isolation distances in seed production of rapeseed (*Brassica napus*). Agron. Abstracts (1982) 136–137.
- [25] Scheffler, J. A., Parkinson, R., and Dale, P. J.: Frequency and distance of pollen dispersal from transgenic oilseed rape (*Brassica napus*). Transgenic Res. 2 (1993) 356–364.
- [26] Scott, S. E., and Wilkinson, M. J.: Transgene risk is low. Nature 392 (1998) 320.
- [27] Morris, W. F., Kareiva, P. M., and Raymer, P. L.: Do barren zones and pollen traps reduce gene escape from transgenic crops. Ecol. Applications 4 (1994) 157–165.
- [28] Timmons, A. M., Charters, Y. M., Crawford, J. W., Burn, D., Scott, S. E., Dubbels, S. J., Wilson, N. J., Robertson, A., O'Brien, E. T., Squire, G. R., and Wilkinson, M. J.: Risk from transgenic crops. Nature 380 (1996) 487.
- [29] Scheffler, J. A., Parkinson, R., and Dale, P. J.: Evaluating the effectiveness of isolation distances for field plots of oilseed rape (*Brassica napus*) using a herbicide-resistance transgene as a selectable marker. Plant Breeding 114 (1995) 317–321.
- [30] Chevre, A.-M., Eber, F., Baranger, A., and Renard, M.: Gene flow from transgenic crops. Nature 389 (1997) 924.
- [31] Metz, P. L. J., Jacobsen, E., Nap, J. P., Pereira, A., and Stiekema, W. J.: The impact on biosafety of the phosinothricin-tolerance transgene in interspecific *B. rapa* x *B. napus* hybrids and their successive backcrosses. Theor. Appl. Genet. 95 (1997) 442–450.
- [32] Jørgensen, R. B., and Andersen, B.: Spontaneous hybridization between oilseed rape (*Brassica napus*) and weedy *B. campestris* (*Brassicaceae*): a risk of growing genetically modified oilseed rape. Amer. J. Bot. 81 (1994) 1620–1626.
- [33] Kerlan, M. C., Chevre, A. M., Eber, F., Baranger, A., and Renard, M.: Risk assessment of outcrossing of transgenic rapeseed to related species: I. Interspecific hybrid production un-

- der optimal conditions with emphasis on pollination and fertilization. *Euphytica* 62 (1992) 145–153.
- [34] Kerlan, M. C., Chevre, A. M., and Eber, F.: Interspecific hybrids between a transgenic rapeseed (*Brassica napus*) and related species: cytogenetical characterization and detection of the transgene. *Genome* 36 (1993) 1099–1106.
- [35] Lefol, E., Danielou, V., and Darmency, H.: Predicting hybridization between transgenic oilseed rape and wild mustard. *Field Crop Res.* 45 (1996) 153–161.
- [36] Lefol, E., Fleury, A., and Darmency, H.: Gene dispersal from transgenic crops. II Hybridization between oilseed rape and the wild hoary mustard. *Sex Plant Reprod.* 9 (1996) 189–196.
- [37] Raybould, A. F., and Gray, A. J.: Genetically modified crops and hybridization with wild relatives: a UK perspective. *J. Appl. Ecol.* 30 (1993) 199–219.
- [38] Scheffler, J. A., and Dale, P. J.: Opportunities for gene transfer from transgenic oilseed rape (*Brassica napus*) to related species. *Transgenic Res.* 3 (1994) 263–278.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Dr. Peter Brandt, Robert Koch-Institut, Zentrum für Gentechnologie, Nordufer 20, 13353 Berlin, und Institut für Pflanzenphysiologie und Mikrobiologie der Freien Universität Berlin, Königin-Luise-Str. 12–16, 14195 Berlin

Begleituntersuchungen des Landes Niedersachsen zur Freisetzung transgener, herbizidresistenter Rapspflanzen

Von S. D. Feldmann, S. Brandes, E. Pfeilstetter, A. Matzk und J. Schiemann

Zusammenfassung

Das Land Niedersachsen begleitet seit 1995 im Landkreis Hannover ein Freilandexperiment von gentechnisch veränderten Rapspflanzen mit einer auf fünf Jahre konzipierten Untersuchung zum Umweltverhalten transgener Kulturpflanzen. Um die Verbreitung der gentechnisch erzeugten Herbizidresistenz in Nichtzielökosysteme zu erfassen, wird die Flora und Vegetation im Umkreis von ca. 1000 m um das Freisetzungsgelände regelmäßig kartiert und verwandte Wildarten, die als mögliche Kreuzungspartner des transgenen Raps in Frage kommen könnten, werden mit Hilfe molekularbiologischer Methoden auf die gentechnische Veränderung hin analysiert. Bislang wurden am Standort Gehrden/Ditterke keine Hybridisierungsereignisse nachgewiesen, die auf eine Verbreitung und dauerhafte Etablierung des Rapsstragens in die Wildkrautflora hinweisen würden.

Um die Übertragung der gentechnisch veränderten Erbeigenschaft von Winterraps in nicht transgene Rapspflanzen zu quantifizieren, wurde in unterschiedlichen Entfernungen zum transgenen Versuchsfeld (6 m, 14 m, 200 m) Saatgut von nicht transgenen Rapspflanzen, die theoretisch durch transgenen Pollen bestäubt werden konnten, untersucht. Die Fremdbestäubung durch transgenen Rapspollen nahm mit zunehmender Entfernung vom transgenen Rapsfeld deutlich ab. Die Auskreuzungsraten der in der inneren Mantelsaat untersuchten Parzellen (6 m) schwankten zwischen 0,8–21 % und in der äußeren Mantelsaat (14 m) zwischen 0,1–1,8 %. Im Durchschnitt lagen sie bei 7,6 % (MS innen) und 0,7 % (MS außen). Die das transgene Versuchsfeld als Schutzstreifen umgebende 8 m breite Rapsmantelsaat bewirkte eine drastische, aber keine vollständige Reduktion des Austrages von

transgenem Pollen. In 200 m Entfernung vom transgenen Feld wurden bei den auf Fremdbefruchtung angewiesenen, männlich sterilen Pflanzen Auskreuzungsraten zwischen 1,2–21 % nachgewiesen, bei fertilen Pflanzen erheblich niedrigere Frequenzen bis zu 0,03 %.

Summary

Studies on the biological safety of transgenic, herbicide resistant rapeseed in Lower Saxony

Research in parallel to a field trial with genetically modified rape plants were initiated by the federal state »Niedersachsen« in 1995 for five years. On behalf of the dissemination of the herbicide-resistance created by genetical modification of the rape plants into the surrounding of the field trial all plant species in a circle of about 1000 m were registered and wild relatives of *Brassica napus* were analysed by PCR for detection of the genetic modification. As yet no outcrossing could be detected in seeds of *Sinapis* and *Raphanus* species.

In the distances of 6 m, 14 m and 200 m from the field trial non-transgenic rape plants were exposed as receptor plants. The outcrossing rate decreased depending on the distance to the field trial (0.8–21 % within the inner part (6 m) and 0.1–1.8 % within the outer part (14 m) of the belt of non-transgenic rape plants). The surrounding belt of non-transgenic rape plants reduced the output of transgenic rape pollen drastically but not totally. In a distance of 200 m from the field trial the outcrossing rate on non-transgenic male sterile rape plants was 1.2–21 % and on non-transgenic male fertile rape plants up to 0.03 %.

Einleitung

Im landwirtschaftlichen Bereich nimmt die Bedeutung molekular- und zellbiologischer Methoden als Ergänzung zu traditionellen Verfahren der Pflanzen-

züchtung zu. Mit Hilfe der Gentechnologie werden bei der Ölpflanze Raps als Züchtungsziele vor allem Krankheitsresistenzen, Resistenzen gegen Unkrautvernichtungsmittel und Qualitätsmerkmale angestrebt.

Weltweit wurden in den letzten Jahren herbizidresistente, transgene Rapspflanzen in zahlreichen, überwiegend kleinflächigen Freisetzungsexperimenten angebaut; auf EU-Ebene fanden etwa 22 % der beantragten Freisetzungsgelände mit gen-