Öko-Institut e.V.
Institut für angewandte Ökologie
Institute for Applied Ecology

Aufbereitung des Wissensstandes zu Auskreuzungsdistanzen

Im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz

Ruth Brauner, Katja Moch und Holger Christ

Öko-Institut e.V., Freiburg

Bereich Biodiversität, Ernährung und Landwirtschaft

September 2004

Öko-Institut e.V.
Geschäftsstelle Freiburg
Postfach 6226
D-79038 Freiburg

Tel.: 0761 – 452 95 0
Fax: 0761 – 47 54 37

www.oeko.de

Inhaltsverzeichnis

1 EINLEITUNG 3
2 WISSENSSTAND ZU AUSKREUZUNGSDISTANZEN 4
2.1 Raps 5
2.1.1 Tabellarische Zusammenstellung der Studien 7
2.1.2 Wichtigste Studien 12
2.1.3 Analyse und Fazit 25
2.2 Mais 28
2.2.1 Tabellarische Zusammenstellung der Studien 30
2.2.2 Wichtigste Studien 33
2.2.3 Analyse und Fazit 42
2.3 Rüben 44
2.3.1 Tabellarische Zusammenstellung der Studien 46
2.3.2 Wichtigste Studien 47
2.3.3 Analyse und Fazit 51
2.4 Kartoffeln 53
2.4.1 Tabellarische Zusammenstellung der Studien 54
2.4.2 Wichtigste Studien 55
2.4.3 Analyse und Fazit 61
3 FAZIT 62
4 LITERATUR 65

1 EINLEITUNG

Die EU-Kommission (2003) hat im vergangenen Jahr festgelegt: „Keine Form der Landwirtschaft - ob konventionelle, ökologische oder GVO-gestützte Produktionssysteme - sollte in der Europäischen Union ausgeschlossen sein.“ Sie definiert: „Koexistenz bedeutet, dass die Landwirte unter Einhaltung der Etikettierungs- und Reinheitsvorschriften eine echte Wahl zwischen konventionellen, ökologischen oder GV Produktionssystemen haben.“ Das bedeutet, dass Produzenten die Möglichkeit haben müssen, dass die von ihnen produzierte Waren maximal 0,9 % gentechnische Verunreinigungen enthalten, da ab diesem Wert die Ware gekennzeichnet werden muss.

Den von der EU-Kommission empfohlenen einzelstaatlichen Strategien und geeigneten Verfahren für die Koexistenz trägt das derzeitig im Gesetzgebungsverfahren befindliche deutsche Gentechnikgesetz Rechnung. Daher fordert es unter anderem, dass Landwirte, die gentechnisch veränderte Pflanzen anbauen, die Auskreuzung aus entsprechenden Beständen minimieren müssen. Die dazu notwendigen Maßnahmen befinden sich noch in der Diskussion.

Vor allem Isolationsabstände bieten sich als Element der Minimierung von Auskreuzung an. Isolationsabstände stellen räumliche Maßnahmen dar. Darüber hinaus gibt es Maßnahmen, die als mechanische Barrieren (Anbau von Hecken oder Mantelsaaten), als zeitliche Barrieren (Wartefristen nach Anbau von gentechnisch veränderten Nutzpflanzen wegen Überdauerung von Samen im Boden) und physikalische Barrieren (Entfernen von Durchwuchspflanzen) gefasst werden können.

Isolationsabständen können Auskreuzungen und damit Verunreinigung reduziert aber nicht vollständig unterbinden. Daher sollte das Vorschreiben von Sicherheitsabständen auf jeden Fall ein zentraler Bestandteil eines größeren Maßnahmenkatalogs sein, der in seiner Gesamtheit dazu in der Lage ist, eine Koexistenz zu gewährleisten.

In diesem Gutachten wird der Wissensstand zu nutzpflanzenspezifischen Auskreuzungsraten über unterschiedliche Distanzen dargestellt. Daraus werden Isolationsabstände abgeleitet, soweit die empirische Datenlage dies zulässt. Zu den Nutzpflanzen Raps, Mais, Rübe und Kartoffel werden Vorschläge zu Isolationsabständen für Auskreuzungsraten von 1, 0,5 und 0,1 % unterbreitet.

2 WISSENSSTAND ZU AUSKREUZUNGSDISTANZEN

Empfehlungen und Vorschriften zu Isolationsdistanzen im landwirtschaftlichen Anbau zur Vermeidung von Auskreuzung aus anderen Feldern und damit zur Reinhaltung des Ernteguts beruhen derzeit überwiegend auf den in der Saatgutproduktion gewonnenen Erfahrungen. Eine 100 %ige Reinheit wird mit der bisherigen Methodik in der Saatgutproduktion jedoch nicht gewährleistet (Agriculture and Environment Biotechnology Commission 2003).

Regelungen zur Minimierung von ungewünschten Auskreuzungen bestehen in Deutschland bislang durch das Saatgutverkehrsgesetz (SaatVerkG 1985, 2002). Auf EU-Ebene sind die Richtlinien 66/402/EWG, 2002/54/EG, 2002/55/EG, 2002/56/EG und 2002/57/EG maßgebend. Darin werden Mindestanforderungen für das geerntete und in Verkehr gebrachte Saatgut, insbesondere hinsichtlich der Sortenreinheit beschrieben (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Isolationsabstände in der Saatgutproduktion für Basis-Saatgut (Quellen: EU-Richtlinie 66/402/EWG über den Verkehr mit Getreidesaatgut vom 14.06.1966 (Weizen, Mais), EU-Richtlinie 2002/54/EG über den Verkehr mit Betarübensaatgut vom 13. Juni 2002, EU-Richtlinie 2002/57/EG über den Verkehr mit Saatgut von Öl- und Faserpflanzen vom 13. Juni 2002)

Nutzpflanze	Isolationsabstände in der EU	maximaler Anteil fremder Sorten
Raps	200 m	„ausreichend sortenecht und sortenrein“ = 0,1 bis 0,3 % (nach RL 2002/57/EG)
Mais	200 m	0,1 bis 0,5 % (nach RL 66/402/EWG)
Rübe	1.000 m	„ausreichend sortenecht und sortenrein“ (nach RL 2002/54/EG)

In der Schweiz sind verglichen mit den EU-Vorgaben in der Saatgutproduktion höhere Abstände vorgeschrieben, beispielsweise bei Raps 400 m (0,3 %) statt 200 m (Verordnung des EVD über Saat- und Pflanzgut von Acker- und Futterpflanzen vom 07.12.1998).

Bislang wurden noch an keiner Stelle geeignete Isolationsdistanzen zur Gewährleistung der Koexistenz gentechnisch veränderter und nicht gentechnisch veränderter Pflanzen für den kommerziellen Anbau verbindlich festgelegt. Es liegen jedoch Publikationen zu bereits beobachteten Auskreuzungsdistanzen vor.

In der nachfolgenden Zusammenstellung des Wissenstandes zu Auskreuzungsdistanzen werden keine Untersuchungen zum Pollenflug und zur Pollendeposition einbezogen, da diese nur Aussagen über den potentiellen Gentransfer zulassen. Die Ableitung von Isolationsabständen sollte jedoch anhand von tatsächlich gemessenen Auskreuzungsraten erfolgen. Daher wurden hier ausschließlich Studien berücksichtigt in denen Auskreuzungen ermittelt wurden.

2.1 Raps

Raps (*Brassica napus* L. ssp. *oleifera*) ist eine ein- bis zweijährige, schotenbildende Kulturpflanze. In Deutschland betrug 2003 die Anbaufläche circa 1.266.000 ha, die Erntemenge etwa 3,6 Mio. t (Statistisches Bundesamt 2004).

Raps ist prinzipiell selbstfertil. Fremdbestäubung ist jedoch ebenso möglich, da die Narbe bei Raps drei Tage vor bis drei Tage nach den Antheren reif ist. Die Angaben zum Anteil der Fremdbestäubung variieren in der Literatur extrem, nämlich zwischen 2 und 90 % (Neemann & Scherwaß 1999). Das Verhältnis von Fremd- zu Selbstbestäubung hängt unter anderem von der Witterung ab, es unterscheidet sich jedoch auch zwischen den verschiedenen Rapssorten (Hühn & Rakow 1979).

Rapsfelder produzieren in der Regel über 30 bis 40 Tage Pollen. Die durchschnittliche Anzahl von Pollenkörnern pro m^3 Luft beträgt in einem Rapsfeld zwischen 600 und 1.000. Es wurden jedoch auch Durchschnittswerte von bis zu 2.800 Pollenkörnern pro m^3 Luft festgestellt (McCartney & Lacey 1991).

Rapspollen sind mehr oder weniger kugelförmig mit einem Durchmesser von 25 µm. Ihre Größe entsprich damit ungefähr der Größe vieler Pilzsporen, die in erster Linie vom Wind verbreitet werden (McCartney & Lacey 1991). Allerdings sind Rapsblüten durch Merkmale wie eine leuchtende Farbe, Nektarien, starken Duft und nach außen offene Antheren auch auf eine Fremdbestäubung durch Insekten ausgelegt (Gerdemann-Knörck & Tegeder 1997). Für Raps ist also sowohl von Wind- als auch von Insektenbestäubung auszugehen (Timmons et al. 1995). In Brandenburg wurden bei Untersuchungen in Rapsfeldern und in deren unmittelbarer Umgebung eine hohe Anzahl von Bienen-, Schwebfliegen- und Pflanzenwespenarten nachgewiesen (Saure et al. 1998, Saure et al. 1999a&b). Nach Mesquida et al. (1988) wird bei Raps aber 90% der Insektenbestäubung durch Honigbienen geleistet.

Für Raps als potentiellen Selbstbestäuber ist es entscheidend, ob auf dem möglichen Empfängerfeld männlich sterile oder fertile Pflanzen wachsen. Die meisten Untersuchungen zur Einkreuzung bei Raps beziehen sich auf männlich sterile Pflanzen, bei denen die Konkurrenz des eigenen Pollens und Selbstbestäubung wegfällt. Natürlich steigt die Gefahr einer Einkreuzung, je höher die Fremdbefruchtungsrate ist.

In der Züchtung und in der Saatgutproduktion wird mit männlich sterilen Pflanzen gearbeitet. In der EU werden für konventionellen Raps Isolationsdistanzen von 100 m für die Produktion von zertifiziertem Saatgut beziehungsweise von 200 m für die Produktion von Basissaatgut vorgeschrieben, um Sortenreinheit zu erreichen. Für zertifiziertes Saatgut von Hybridsorten gelten 300 m als Isolationsdistanz (Ingram 2000a und b).

Im Anbau wird dagegen kein männlich steriler Raps verwendet. Auch beim Hybridsaatgut wird mit restaurierten Hybriden gearbeitet, die Pollen produzieren. Dadurch soll auch im Falle von ungünstigen klimatischen Bedingungen ausreichend Pollen zur Verfügung stehen. Es ist also nicht ohne weiteres möglich, Auskreuzungsergebnisse, die mit männlich sterilen

Pflanzen erzielt wurden, auf die normale Anbausituation zu übertragen. Vielmehr müssten dann geringere Auskreuzungsraten angenommen werden.

Darüber hinaus stellen ruderale Rapsbestände eine potentielle Auskreuzungsquelle dar. Untersuchungen in Deutschland haben gezeigt, dass Rapspflanzen eigene Wildpopulationen bilden. Sie sind außerhalb von Kulturflächen stark verbreitet und kommen auch weit entfernt von diesen häufig vor. So findet man für Raps eine fast flächendeckende Verbreitung in Deutschland (GenEERA 2001-2004). Es liegt auf der Hand, dass die ruderalen Rapspflanzen ebenso wie verwandte Wildarten leicht Gene weitergeben und somit als Genpool dienen können. Darüber hinaus müssen einjährige Bestände aus Transportverlusten sowie Ausfallraps beim Anbau von Raps in die Überlegungen zum Auskreuzungspotential einbezogen werden. Rapssamen können im Boden bis zu 15 Jahre überdauern (Brauner et al. 2002). Durchwuchspflanzen von Raps können also über Jahre eine Quelle für Auskreuzungen darstellen.

Beim Anbau von Raps erhöht sich durch diese Faktoren das Verbreitungspotential von Transgenen in Raps von Jahr zu Jahr. Dadurch können sich über längere Zeiträume hohe Anteile gentechnischer Veränderungen in der Ernte ergeben. Beim Anbau von gentechnisch verändertem Raps können Isolationsabstände deshalb keinesfalls die einzige Maßnahme sein, um eine Koexistenz dauerhaft zu gewährleisten.

.

2.1.1 Tabellarische Zusammenstellung der Studien

Fertiler Raps als Pollenempfänger

Literaturquelle	Beteiligte Institutionen	Ort & Zeitraum	Quelle (Größe, Form, Sorte)	Empfänger (Größe, Form, Sorte)	Pollentransportmittel & Umgebungsstruktur	Nachweismethode der Auskreuzung	Auskreuzungsrate	Weiteste gemessene/ gefundene Entfernung	Sonstiges
Brown AP, Brown J, Thill DC & Brammer TA (1996):Gene transfer between canola (*Brassica napus*) and related weed species. Proceedings of the 8th Symposium on Environmental Releases of Biotechnology Products: Risk Assessment Methods and Research Progress, Ottawa, Canada.	Department of Plant, Soil and Entomological Sciences, University of Idaho, Moskow, USA Plant Genetic Systems PGS, Gent, Belgien	k. A., vermutlich Pacific Northwest Region der USA 1993-1995	Transgene Linien mit Glufosinat-Resistenz 20 m x 20m	Konventionelle Linie 8m (1993) bzw. 30 m (1994, 1995) breiter Streifen Streifen um Quelle	k. A.	Überprüfung der Keimlinge im 3-5-Blatt-Stadium auf Glufosinat-Resistenz	1993 0 m: 6,3 % 7,5 m: 0,5 % 1994 5 m: 0,1 % 26 m: „small proportion“	1993: 7,5 m / 7,5 m 1994 & 1995: 26 m / 26 m	1994: Heißer und trockener Sommer, Folge: kürzere Blühdauer, weniger Pollen pro Blüte und weniger(!) Insekten im Feld beobachtet
Coghlan A (2001): Keep Your distance. New Scientist 24.11.2001.	Saskatoon Research Centre of the Agriculture Ministry	Kanada	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	50-400 m: 0,2 % 800 m: 0,07 %	k. A.	Bezieht sich auf Studie bzw. Aussage von Hugh Beckie Versuchsbedingungen unklar
Downey RK (1999): Gene flow and rape – the Canadian experience. In: Lutmann PJW (1999): Gene Flow and Agriculture: Relevance for Transgenic Crops. BCPC Symposium Proceedings No. 72: 109-116.	Agriculture and Agri-Food Canada,Saskatoon Research Centre Monsanto Canada United Grain Growers	Kanada 1998	Sorte: “RoundupReady” (RR) Raps großes Feld	Konventioneller Raps großes Feld	k. A.	Vermutlich Überprüfung auf RoundupReady-Resistenz	20 m: 0,01-1,5 % 50 m: 0,0-0,4 % 100 m: 0,1-0,4 %	100 m / 100 m	Pollendonor hatte „Feldgröße“. Angaben zum Versuchsdesign allerdings äußerst spärlich.
Feldmann S (2000): Begleitforschung zur Freisetzung herbizidresistenter, transgener Rapspflanzen 1995 - 1999. Ein Beitrag zur biologischen Sicherheitsforschung – Endbericht; Hrsg: Niedersächsisches Landesamt für Ökologie; Nachhaltiges Niedersachsen 13 - Dauerhaft umweltgerechte Entwicklung: 1-57.	Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Hildesheim; BBA, Braunschweig; Hoechst AgrEvo Schering GmbH; Pflanzenschutzamt der Landwirtschaftskammer Hannover	bei Hannover 1995-1998	Winterraps, transgene Linie „Falcon GS 40/90/Hoe 6 Ac“ 60 m x 20 m mit Glufosinat-Resistenz	„Falcon“ Um Quelle im Abstand von 6 m eine 8m breite Mantelsaat Zusätzlich 28 Pflanzen in Gruppen à 4 (1996) bzw. 132 Pflanzen in Gruppen à 6 (1997) Fangpflanzen in mindestens 200 m Abstand zur Mantelsaat um die Pollenquelle	vermutlich Wind und Insekten	Überprüfung der Samen und Keimlinge in vitro und der Keimlinge im 3-4-Blatt-Stadium auf Glufosinat-Resistenz Bestätigung durch In beiden Fällen anschließend indirekter ELISA-Test & PCR	1996: 6-7 m: 0,75-21,35 % 13-14 m: 0,05-1,75 % >214 m: 0-0,03 % 1997: 6-7 m: 1,05-28,5 % 13-14 m: 0,05-3,75 % >214 m: 0-0,83 %	>214 m / >214 m	1996 schlechte Samenausbeute (Hagelschauer vor Ernte), 1997 zum Teil verzögertes Abblühen (nicht synchron) durch Gänsefraß im März 1997.
Manasse R, Kareiva P (1991): Quantifying the Spread of Recombinant Genes and Organisms. In Ginzburg L.R. (1991) Assessing Ecological Risks of Biotechnology. Butterworth-Heinemann, Stoneham, USA: 215-231.	Monsanto & Co.; Agriculture Canada; University of California-Berkeley; Cooperate State Research Service, USDA (Biotic Stress, Weed Science Program)	Scott, Saskatchewan Kanada	Transgene Linie der Sorte „Westar“. mit Glyphosat-Resistenz Verschiedene „Blöcke“, Größe: k.A. Quellblöcke von gemähtem Roggen umgeben	konventioneller Raps entlang eines Transekts Blöcke in 50, 100 (zu beiden Seiten der Quelle), 180 und 400 m Abstand Empfängerblöcke innerhalb eines nicht geernteten Weizenfeldes	k. A.	Überprüfung der Samen / Keimlinge auf Glyphosat-Resistenz *in vitro*	50 m: 0,022 % 100 m: 0,011 %	400 m / k. A..	
Morris WF, Kareiva PM & Raymer PL (1994): Do barren zones and pollen traps reduce gene escape from transgenic crops? Ecological Applications 4(1): 157-165.	Center for Population Biology, University of California, Davis, USA Department of Zoology NJ-15, University of Washington, Seattle, USA Agronomy Department, University of Georgia, Griffin, USA Calgene, Inc.	Winters, Yolo County, California USA & Newton, Baker County, Georgia USA Aussaat: Nov. 1991 Ernte: Mai 1992	Transgene Linie A112 von Calgene mit Kanamycin-Resistenz und veränderten Ölcharakteristika Gruppe von 109 Blöcken à 1,52 m x 1,52 m	Konventioneller Raps Je 8x3 Blöcke im Norden und Süden à 1,52 m x 1,52 m von Quelle oder Ödland (4 oder 8 Meter) oder Ödland und Mantelsaat von Quelle getrennt. Ferner je 5 Blöcke im Westen und Osten à ca. 1,5 m x 5 m, mit schmalen Seite an Quelle angrenzend Reihenabstand: 30 cm	Honigbiene Umgebung: Kalifornien: landwirtschaftlich genutzte Gegend Georgia: isoliertes Feld umgeben von Kiefern-Pflanzung	Überprüfung der Samen / Keimlinge auf Kanamyzin-Resistenz *in vitro*	California ohne Ödland/Mantelsaat: 0 m: 1,75-2,2 % 0,3 m: 1 % 0,6 m: 0,75 % 3 m: 0,65 % 4,6 m 0,5 % California mit Ödland/Mantelsaat: 4-5,5 m: 0,8-5,0 % 5,75-7,25 m: 0,6-3,5 % 7,5-9 m: 0,1-1,0 % 8-9,25 m: 0,6-5,4 % 9,25-11,25 m: 0,4-3,9 % 11,25-13 m: 0,8-2,5 % Georgia ohne Ödland/Mantelsaat: 0 m: 3,1-3,75 % 0,3 m: 1,4-1,6 % 0,6 m: 1,0-1,35 % 3 m: 0,6 % 4,6 m: 0,5-0,8 % Georgia mit Ödland/Mantelsaat: 4-5,5 m: 0,8-5,0 % 5,75-7,25 m: 0,1-2,6 % 7,5-9 m: 0,3-1,2 % 8-9,25 m: 0,25-2,6 % 9,25-11,25 m: 0,03-1,4 % 11,25-13 m: 0,2-0,9 %	13 m / 13 m	Alle Daten aus Graphik abgelesen

Rakow G & Woods DL (1987): Outcrossing in Rape and Mustard under Saskatchewan Prairie Conditions. Canadian Journal of Plant Science 67: 147-151.	Research Station Agriculture Canada, Saskatoon, Canada; Research Station Agriculture Canada Beaverlodge, Canada	Saskatoon Kanada 1982-1984	Sorte „Reston“ erucasäurereich 6 x 8 m Reihenabstand 30 cm	Sorte: „Westar” und vier andere, ebenfalls erucasäurearme Linien (B,C,D und E) Zwischen den Reihen innerhalb der Quelle Pflanzenabstand: 1,5 m	k. A.	Untersuchung des Erucasäuregehalts der Samen mit Gaschromatographie	0 m: 12,5-32,8 %	k. A.	Testplots lagen „von anderen Pollenquellen entfernt“
Scheffler JA, Parkinson R & Dale PJ (1993): Frequency and distance of pollen dispersal from transgenic oilseed rape (*Brassica napus*). Transgenic Research 2: 356-364.	Cambridge Laboratory, AFRC Institute of Plant Science Research, John Innes Centre, Norwich, UK; European Community Biotechnology Action Programme Plant Genetic Systems PGS, Gent, Belgien INRA, Rennes, Frankreich PROSAMO; Advanced Technologies (Cambridge) Ltd; Agricultural Genetics Company, CIBA-Geigy plc.; Du Pont (UK) Ltd.; Hoechst AG, ICI plc; Monsanto Europe, Plant Genetic Systems, Shell Research Ltd.; Unilever (UK) Ltd.	Ort: k. A., vermutlich Nähe Cambridge UK Aussaat: April 1990	Sommerraps, transgene Linie der Sorte „Westar“ mit Glufosinat-Ammonium-Resistenz Kreisfläche mit 9m Durchmesser 6 kg/ha	Sorte: „Westar“ 105 m x 105 m, die zentrale Quelle umgebend 5 kg/ha Ferner konventioneller Raps auf Kreisfläche mit 1 m Durchmesser in der Mitte des transgenem Raps 6 kg/ha	An allen Längsseiten des Gesamtfeldes standen je ein und in 450 m Entfernung in nordöstlicher Richtung weitere 2 Bienenstöcke	Überprüfung der Keimlinge im ersten echten Blattstadium auf Glyphosat-Resistenz *in vitro* und im Freiland Bestätigung durch Überprüfung der Samen aus potentiell transgenen Pflanzen auf Glyphosat-Resistenz und Southern-Blot Analyse	0-0,5 m: 4,8 % 1 m: 1,4-1,6 % 3 m: 0,35-0,4 % 6 m: 0,033-0,11 % 12 m 0,016-0,025 % 24 m: 0,0-0,0041 % 36 m: 0,001-0,003 % 47 m: 0,0-0,00034 % 70 m: 0,0 %	70 m / 47 m	Nur 65% der Quellpopulation enthielt das Markergen; Versuchsdesign spiegelt nicht reale Feldbedingungen wieder Die Auskreuzungsrate schwankte aufgrund verschiedener Nachweismethoden für Auskreuzung (*in vitro* / Freiland)
Scheffler JA, Parkinson R & Dale PJ (1995): 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: 317-321.	Institut für Allgemeine Botanik, Universität Hamburg, Hamburg; John Innes Centre, Norwich, UK; Plant Genetic Systems PGS, Gent, Belgien EEC BRIDGE programme; PROSAMO	k.A., vermutlich Nähe Cambridge UK 1992	Sommerraps transgene Linie der Sorte „Westar“ mit Glufosinat-Ammonium-Resistenz 20 m x 20 m 6,5 kg/ha	Sommerraps, Sorte „Westar“ (konventionell) Je 2 Empfängerplots à 20 m x 20 m in 200 und 400 m Entfernung zur Quelle 6,5 kg/ha Zwischen Quelle und Empfängerplots offene Erde oder Gerste	u. a. Hummeln und Honigbienen Keine Rapsfelder in bis zu 3km Entfernung	Überprüfung der Keimlinge im ersten echten Blattstadium auf Glyphosat-Resistenz Bestätigung durch 'replicated colour-change bioassey' und Southern blot analysis	200 m: 0,016-0,020 % 400 m: 0,004-0,005 %	400 m / 400 m	Die 400m entfernten Plots lagen nur 10 % der Zeit in der Hauptwindrichtung
Simpson EC, Norris CE, Law JR, Thomas JE & Sweet JB (1999): Gene flow in genetically modified herbizide tolerant oilseed rape (*Brassica napus*) in the UK. In: Lutmann PJW (1999): Gene Flow and Agriculture: Relevance for Transgenic Crops. BCPC Symposium Proceedings No. 72: 75-81.	National Institute of Agricultural Botany, Cambridge, UK; Ministry of Agriculture, Fisheries and Food; Department of the Environment, Transport an the Regions; Plant Genetic Systems PGS, Gent, Belgien; AgrEvo; Monsanto	Caxton, Cockle Park, Bridgets, Wye UK 1997-1998	Eine transgene Winterrapslinien mit Glufosinat-Ammonium-Resistenz, eine transgene Winterrapslinien mit Glyphosat-Resistenz Je Linie 3 Felder à ca. 40m^2	Sorten: „Express”, „Nickel”, „Falcon” & „Apex” Je Linie 3 Felder à ca. 40m^2 Zu Quellen hin Pollenbarriere aus konventionellem Raps von mindestens 6 m Breite Weitere Felder in größerer Distanz zu Quellen	Bienen und Hummeln nur in geringer Anzahl	Überprüfung der Keimlinge im 3-5-Blatt-Stadium auf Glufosinat-Ammonium -Resistenz und alternativ auf Glyphosat-Resistenz Bestätigung bei Doppelresistez durch PCR	6 m: 0,05 % 8 m: 0,05-0,33 % 10 m: 0,05-0,44 % 14 m 0,05-0,44 % 30 m: 0,05 % 34 m: 0,05 % 50 m: 0,05-0,16 % >6 m: 0-18,33 %	50 m / 50 m	Es wurden an verschiedenen Standorten und mit unterschiedlichen Linien verschiedenste Ergebnisse festgestellt Genaues Versuchsdesign (Feldform und Abstände) aus Angaben nicht nachvollziehbar
Staniland BK, McVetty PBE, Friesen FL, Yarrow S, Freyssinet G & Freyssinet M (2000): Effectiveness of border areas in confining the spread of transgenic *Brassica napus* pollen. Canadian Journal of Plant Science 80(3): 521-526.	Department of Plant Science, University of Manitoba, Winnipeg, Canada; Agriculture and Agri-Food Canada, Nepean, Ontario, Canada; Rhône Poulenc, Courbevoie, France, Rhône Poulenc Secteur Agro Lyon, France.	Carman und Winnipeg, Manitoba, Kanada 1994–1996	verschiedene transgene Linien mit Bromoxynil- Resistenz, 30 x 60 m	Mischung 50:50 der Sorten “Legend“ (früh blühend) und „Cyclone“ (spät blühend); Quelle umgebend, seitlich 15 m breit, an Stirnseiten 30 m breit. (Einsaat: 8kg/ha) Zwischen Quelle & Empfänger 1,5 m vegetationsfreier Streifen	Vermutlich Insekten und Wind Carman: Präsenz von wilden und domestizierten Bestäubern Winnipeg: höherer Anteil an wilden gegenüber domestizierten Bestäubern	Überprüfung der Keimlinge im 2-4-Blatt-Stadium und eine Woche später auf Bromoxynil-Resistenz	1,5 m: 0,15-1,56 % 4 m: 0,13-0,68 % 6,5 m: 0,03-0,65 % 11,5 m: 0,02-0,25 % 16,5 m: 0,03-0,23 % 21,5 m: 0,01-0,20 % 26,5 m: 0,01-0,03 % 31,5 m: 0.01-0,03 %	31,5 m / 31,5 m	Alle Daten aus Graphik abgelesen. Mischungen aus verschiedenen Rapslinien, daher verschiedene Blühzeitpunkte und keine optimale Überschneidung. Über 2 Jahre an 2 Standorten, somit 4 +/- verschiedene Umweltbedingungen; unklar ob Quelle heterozygot oder homozygot für Herbizidresistenz.
Stringam GR & Downey RK (1982): Effectiveness of isolation distance in seed production of rapeseed (*Brassica napus*). Agronomy Abstracts 136-137.	Research Station, Agriculture Canada, Saskatchewan, Kanada	Fünf Standorte in West-Kanada, 70er Jahre über vier Jahre	Kommerziell angebaute Linien, „Feldgröße“	Linie mit Chlorophyll-Defizienz 44,5 m x 46 m	k. A.	Überprüfung der Keimlinge auf Chlorophyll-Defizienz	46 m: 2,1 % 137 m: 1,1 % 366 m: 0,6 %	366 m / 366 m	Auskreuzung aus Feldquellen
Pauk J, Stefanov I, Fekete S, Bögre L, Karsai I, Feher A & Dudits D (1995): A study of different (caMV 35S and mas) promoter activites and risk assessment of field use in transgenic rapeseed plants. Euphytica 85: 411-416.	Central Research Institute, Szeged, Hungary; Institute of Plant Biology, Biological Research Center, Hungarian Academy of Sciences, Szeged, Hungary; University of Debrecen, Hungary OMFB Budapest	k. A.	Transgene Linie der Sorten „Arabella“ & „Santana“ mit Kanamyzin-Resistenz 6 Pflanzen	Sorten „Arabella“ & „Santana“ 1 ha, mit 6 transgenen Pflanzen (Quelle) im Zentrum.	Bienen; Testfeld von Wald, Wiesen und Getreidefeldern umgeben.	Überprüfung der Keimlinge auf Kanamyzin-Resistenz	1 m: 0,1 % 16 m: 0,001 % 32 m: 0,001 %	50 m / k. A.	Auswertung noch nicht endgültig abgeschlossen. Quelle nur sechs Pflanzen!

Ramsey G, Thompson C & Squire G (2003): Quantifying landscape-scale gene flow in oilseed rape. Final Report of DEFRA Project RG0216: An experimental and mathematical study of the local and regional scale movement of an oilseed rape transgene.	Scottish Crop Research Institute, Invergowrie, Dundee, UK DEFRA Department for Environment, Food & Rural Affairs, UK	Carse of Gowrie UK 1999	Linie mit Imidazolinon- und Sulphonylurea-Resistenz 7 ha Feld	Sorte "Maskot" Je 4 Gruppen von je 10 Fängerpflanzen in verschiedenen Entfernungen	Insekten (Honigbiene und Hummeln) wichtigste Bestäuber, auch Wind	Überprüfung der Keimlinge auf Sulphonylurea-Resistenz („Ally" von DuPont)	0 m: 14,5 % 10 m: 4,9 % 50 m: 1,9 % 225 m: 2,4 % 550 m: 0,2 % 800 m: 3,4 %	800 m / 800 m	
Rieger MA, Lamond M, Preston C, Powles SB & Roush RT (2002): Pollen-mediated movement of herbicide resistance between commercial canola fields. Science 296: 2386-2388.	Cooperative Research Center for Australian Weed Management; Department of Applied and Molecular Ecology, University of Adelaide, Glen Osmond, Australia; Western Australia Herbicide Initiative, University of Western Australia, Nedlands, Australia; Agriculture Victoria; New South Wales Department of Agriculture; Grains Research & Development Corporation	Australien 2000	Transgene Linie mit Chlorsulfuron-Resistenz (ALS-inhibiting) Felder von 25-100 ha	Verschiedene Linien von konventionellem Raps Felder von 25-100 ha	Wind und Insekten	Überprüfung der Keimlinge auf Chlorsulfuron-Resistenz	0-500 m: 0-0,16 % 500-1.000 m: 0-0,11 % 1.000-2.000 m: 0-0,2 % 2.000-3.000 m: 0-0,15 % 3.000-5.000 m: 0 %	5.000 m / 2.950 m	Auskreuzung unter realen Anbaubedingungen (große Pollenquellen und Empfängerpopulationen) Alle Daten aus Graphik abgelesen.

Steriler Raps als Pollenempfänger:

Literaturquelle	Beteiligte Institutionen	Ort & Zeitraum	Quelle (Größe, Form, Sorte)	Empfänger (Größe, Form, Sorte)	Pollentransportmittel & Umgebungsstruktur	Nachweismethode der Auskreuzung	Auskreuzungsrate	Weiteste gemessene/ gefundene Entfernung	Sonstiges
Baranger A, Chevre AM, Eber F & Renard M (1995): Effect of oilseed rape genotype on the spontaneous hybridization rate with weedy species: an assessment to transgene dispersal. Theoretical and Applied Genetics 91, 956 –963.	INRA Station d´amélioration des plantes, Le Rheu, France; Plant Genetic Systems PGS, Gent, Belgien EEC BRIDGE program	k. A., vermutlich Frankreich	Kommerzielle Rapsfelder in mindestens 500m Abstand zur Versuchsfläche (diese mit wild gesammelter *Raphanus raphanistrum* aus Brittany, Frankreich bestanden)	gv-männlich-sterile Linien der Sorten „Brutor“, „Drakkar“, „Miyuki“, „Samourai“ und „Hobson“ heterozygot für Glufosinat-Resistenz je 3 Reihen à 2 Meter Länge	mindestens 500m Abstand zu sonstigen Rapsfeldern	Überprüfung der Samengröße; Bestätigung durch Chromosomensatz	>500 m: 16,5-92,4 %	>500 m / >500 m	Ein bestimmter Anteil der Samen durch « Matromorphism » entstanden
Downey RK & Beckie H (2002): Report on Project Entitled Isolation Effectiveness in Canola Pedigree Seed Production	Agriculture and Agri-Food Canada, Saskatoon Research Centre, Saskatoon, Canada; CSGA; AAFC	Kanada; 2000	Kommerziell angebaute gv-Sorten mit Glyphosat- oder Glufosinat-Resistenz	Verschiedene männlich sterile Linien Insgesamt 50 Proben von Kanadischen Züchtern	k. A.	Überprüfung der Samen /Keimlinge auf Glyphosat-Resistenz oder Glufosinat- Resistenz Bestätigung durch Nachweis der Liberty-Gene per „Trait LL Leaf and Seed Test Kit“ bzw. durch Nachweis der RR-Gene per „Trait RUR Bulk Soybeen Test Kit“	>100 m: 0,57 % >500 m: 0,35 % >792 m: 0,05-7,20 % >1207 m: 0,37%	k. A.	In 41 von 50 Proben wurden bei mindestens 0,05 % eine Resistenz festgestellt. Angaben zu Distanzen liegen nur für die höchsten Kontaminationen vor
Feldmann S (2000): Begleitforschung zur Freisetzung herbizidresistenter, transgener Rapspflanzen 1995 - 1999. Ein Beitrag zur biologischen Sicherheitsforschung – Endbericht; Hrsg: Niedersächsisches Landesamt für Ökologie; Nachhaltiges Niedersachsen 13 - Dauerhaft umweltgerechte Entwicklung: 1-57.	Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Hildesheim; BBA, Braunschweig; Hoechst AgrEvo Schering GmbH; Pflanzenschutzamt der Landwirtschaftskammer Hannover	bei Hannover 1995-1998	Winterraps, Sorte „Falcon GS 40/90/Hoe 6 Ac“ 60 m x 20 m mit Glufosinat-Resistenz	Vermutlich Männlich sterile Sorte „Falcon“ 30 Pflanzen à 4 in mindestens 200 m Abstand zur Pollenquelle	vermutlich Wind und Insekten Um Quelle im Abstand von 6 m eine 8m breite Mantelsaat mit fertilen konventionellem „Falcon“	Überprüfung der Samen und Keimlinge in vitro und der Keimlinge im 3-4-Blatt-Stadium auf Glufosinat-Resistenz Bestätigung durch In beiden Fällen anschließend indirekter ELISA-Test & PCR	>200 m: 1,18-21,07 %	>200 m / >200 m	1996 schlechte Samenausbeute durch Hagelschauer vor Ernte
Lavigne C, Klein EK, Vallée P, Pierre J, Godelle B & Renard M (1998): A pollen dispersal experiment with transgenic oilseed rape. Estimation of the average pollen dispersal of an individual plant within a field. Theoretical and Applied Genetics 96: 886-896.	Laboratoire de Phytopathologie Moléculaire, IBP, Université Paris-Sud, Orsay Cedex, France Laboratoire Evolution et Systématique, Université Paris-Sud, Orsay Cedex, France INRA Station d´Amélioration des Plantes, Le Rheu, France INRA Laboratoire de Zoologie, Le Rheu, France EU BRIDGE program	Rennes, Bretagne Frankreich 1994-1995	männlich fertiler Winterraps der Linie „BOO4.oxy“, homozygot mit Oxynil-Resistenz Die Linie wurde aus einer gv-Linie der Sorte „Westar“ gewonnen 10x10m Reihenabstand: 0,5 m	Linie „Fu58.BOO4“ 90x90m, Quelle umgebend Je 10 Pflanzen pro Knotenpunkt von Gitternetz mit 3 m Abstand zwischen den Knoten	k. A.	Überprüfung der Keimling im Ein- bis Zweiblattstadium und 1 Monat später auf Oxynil-Resistenz	0 m: 56 % 3 m: 60 % 6 m: 6 % 9 m: 1 % 12 m: 0,3 % 15 m: 0,2 % etc.	40 m / 40 m	Daten nicht exakt aus Graphik ablesbar
Ramsey, G., Thompson, C., Squire, G. (2003): Quantifying landscape-scale gene flow in oilseed rape. Final Report of DEFRA Project RG0216: An experimental and mathematical study of the local and regional scale movement of an oilseed rape transgene.	Scottish Crop Research Institute, Invergowrie, Dundee, UK DEFRA Department for Environment, Food & Rural Affairs, UK	Westlich von Dundee UK 1999	Linie mit Imidazolinon- und Sulphonylurea-Resistenz 7 ha Feld	Männlich-sterile Sorte “Triolo” Zwischen 1-4 Gruppen von je 10 Fängerpflanzen in verschiedenen Entfernungen	Insekten (Honigbiene und Hummeln) wichtigste Bestäuber, ferner Wind	Überprüfung der Keimlinge auf Sulphonylurea-Resistenz („Ally“ von DuPont)	0 m: 88,9 % 10 m: 73,3 % 50 m: 78,6 % 225 m: 56,9 % 550 m: 65,5 % 800 m: 11,7 % 800-2.500 m: 0-25 % 2.500-5.000 m: 0-25 % 5.000-7.025 m: 0 % 26 km: „low level“	26 km / 26 km	
Simpson EC, Norris CE, Law JR, Thomas JE & Sweet JB (1999): Gene flow in genetically modified herbizide tolerant oilseed rape (*Brassica napus*) in the UK. In: Lutmann, PJW (1999): Gene Flow and Agriculture: Relevance for Transgenic Crops. BCPC Symposium Proceedings No. 72, 75-81.	National Institute of Agricultural Botany, Cambridge, UK; Ministry of Agriculture, Fisheries and Food; Department of the Environment, Transport an the Regions; Plant Genetic Systems PGS, Gent, Belgien; AgrEvo; Monsanto	Caxton, Cockle Park, Bridgets, Wye UK 1997-1998	Eine Winterrapslinien mit Glufosinat-Ammonium, eine Winterrapslinien mit Glyphosat-Resistenz Je Linie 3 Felder à ca. 40m^2	Sorte „Synergy” (varietal association hybrid: 80% steril, 20% fertil) Je Linie 3 Felder à ca. 40m^2 Zu Quellen hin Pollenbarriere aus konventionellem Raps von mindestens 6 m Breite Weitere Felder in größerer Distanz zu Quellen	Bienen und Hummeln nur in geringer Anzahl	Überprüfung der Keimlinge im 3-5-Blatt-Stadium auf Glufosinat-Ammonium -Resistenz und alternativ auf Glyphosat-Resistenz Bestätigung bei Doppelresistez durch PCR	4 m: 0,16-2 % 20 m: 0,05-0,16 % 34 m: 0,05-0,16 % 42 m: 0,05-0,33 % 54 m: 0,11 % 56 m: 0,05 % 150 m: 0,11-0,22 % > 6 m: 0-21 %	150 m / 150 m	Es wurden an verschiedenen Standorten verschiedene Ergebnisse festgestellt Genaues Versuchsdesign (Feldform und Abstände) aus Angaben nicht nachvollziehbar Empfänger “Synergy” zu 80% steril, 20% fertil)
Thompson CE, Squire G, Mackay GR, Bradshaw JE, Crawford J & Ramsay G (1999): Regional patterns of gene flow and ist consequence for GM oilseed rape. In: Lutmann, PJW (1999): Gene Flow and Agriculture: Relevance for Transgenic Crops. BCPC Symposium Proceedings No. 72, 95-100.	Scottish Crop Research Institute Dundee, UK	West of Dundee UK	Konventioneller Raps, kommerzielle Felder in einem Gebiet von etwa 70qkm	Männlich sterile Sorte „Triolo“ 52 Gruppen zu je 10 Pflanzen, Fläche je 0,15 m^2 Entfernung zu Pollenquellen zwischen 0 und 4000 Meter	k. A.	Anteil der erfolgreich bestäubten Blüten	1 m: 25-90 % 1-250 m: 22-78 % 250-500 m: 15-70 % 500-1.000m: 25-58 % 1.000-2.000 m: 8-35 % 2.000-4.000 m: 5 %	4.000 m / 4.000 m	Daten nicht exakt aus Graphik ablesbar

Timmons AM, Charters YM, Crawford JW, Burn D, Scott SE, Dubbels SJ, Wilson NJ, Robertson A, O'Brien ET, Squire GR & Wilkinson MJ (1996): Risks from transgenic crops. Nature 380: 487.	Scottish Research Institute, Dundee, UK; Plant Science Department, Scottish Agricultural College, Ayr, UK. Department of Agricultural Botany, Plant Science Laboratories, University of Reading, Reading, Schottland	Angus, Schottland 1993-1995	Sorte „Libravo" isolierte Rapsfelder	Sorte „Comet", mit entfernten Antheren	Wind	simple-sequence repeat PCR und RAPD-Analyse	0 m: 6,3 % 100 m: 0,5 % 360 m: 3,7 %	k. A.	Fängerpflanzen ohne Antheren aber nach Exposition in der Nähe der GT
Wilkinson MJ, Timmons AM, Charters Y, Dubbels S, Robertson A, Wilson N, Scott S, O'Brien E & Lawson HM (1995): Problems of Risk Assessment With Genetically Modified Oilseed Rape. Brighton crop protection conference -weeds-, 1035-1044.	Scottish Crop Research Institute, Dundee, Schottland Department of Agricultural Botany, University of Reading, Reading, Schottland	Schottland	Sommer-Raps Sorte „Comet" mit Randomly Amplified Polimorphic DNA (RAPD) marker	Winter-Raps, Sorte „Falcon"	k.A.	Überprüfung auf Randomly Amplified Polimorphic DNA (RAPD) marker	>32 m: 0,03-0,05 %	k. A.	Der Blütezeitpunkt der beiden Sorten überschnitt sich nur zwei Wochen (von insgesamt 8 Wochen) Aufgrund der sehr ungenauen Angaben zum Versuchsdesign kann diese Studie keiner näheren Auswertung unterzogen werden

2.1.2 Wichtigste Studien

Literaturquelle

Downey RK (1999): Gene flow and rape – the Canadian experience. In: Lutmann PJW (1999): Gene Flow and Agriculture: Relevance for Transgenic Crops. BCPC Symposium Proceedings No. 72, 109-116.

Beteiligte Institutionen

Agriculture and Agri-Food Canada (http://www.cbsc.org/sask/main.cfm) – Saskatoon Research Centre, welches von industriellen Partnern unterstützt wird (http://res2.agr.ca/saskatoon/centre/resources-ressources_e.htm). Monsanto Canada hat die Raps-Daten zu 1998 bereitgestellt sowie die ‚Growouts' finanziert. Weitere Institutionen und Personen waren an den Versuchsteilen zu *Brassica rapa* beteiligt.

Versuchsdesign

Die Publikation von Downey in Lutman (1999) stellt eine Übersicht über mehrere Studien und Beobachtungen in Kanada dar. Ein sehr kurzer Absatz bezieht sich auf bisher unpublizierte Untersuchungen zur Auskreuzung aus Rapsfeldern („large field"). Neben einem Roundup Ready (RR)-Rapsfeld hat Monsanto Samenproben in zwei nicht herbizidresistenten Rapsfeldern in 20, 50 und 100 m Entfernung des RR-Rapsfeldes genommen. In Gewächshäusern wurden 991 bis 1009 Sämlinge pro Probefläche untersucht, vermutlich auf Roundup Ready-Resistenz. Nähere Angaben zur Nachweismethode wurden nicht gemacht.

Ergebnisse

In den beiden Empfängerfeldern wurden 0,01 % beziehungsweise 1,5 % herbizidresistente Pflanzen in 20 m Entfernung, 0,0 % beziehungsweise 0,4 % herbizidresistente Pflanzen in 50 m Entfernung und 0,1 % beziehungsweise 0,4 % herbizidresistente Pflanzen in 100 m Entfernung festgestellt.

Durchschnittliche wurde eine Auskreuzungsrate von 0,6 % beziehungsweise 0,16 % in die zwei nicht herbizidresistenten Rapsfelder bestimmt.

Bewertung der Studie und Anmerkungen

Diese Studie ist eine der sehr wenigen Studien, in der der Pollendonor Feldgröße hatte. Allerdings sind die Angaben zum Versuchsdesign äußerst spärlich, so dass unklar bleibt, was „Feldgröße" bedeutet.

Gänzlich fehlen unter anderem Angaben zum Ort, Zeitpunkt, Versuchsdesign, zur Probenahme, Behandlung der Samen, Witterung, Windrichtungen sowie zur Berechnung der Auskreuzungsraten. Aufgrund der sehr ungenauen Angaben zum Versuchsdesign ist keine nähere Aus- und Bewertung der Studie möglich. Die Relevanz der Ergebnisse ist somit fraglich.

Bemerkenswert ist allerdings, dass Downey (1999) in 20 m Entfernung noch bis zu 1,5 %, in 50 m Entfernung bis zu 0,4 % und in 100 m weiterhin bis zu 0,4 % RR-resistente Sämlinge

feststellten, dass also die höchsten festgestellten Auskreuzungsraten zwischen 50 und 100 m Entfernung nicht abnahmen, sondern konstant bei 0,4 % blieben.

Sehr auffällig ist auch die für ein ganzes Feld bestimmte durchschnittliche Einkreuzungsrate von 0,6 %.

Leider weist die Publikation keine Daten über 100 m Entfernung auf.

Literaturquelle

Feldmann S (2000): Begleitforschung zur Freisetzung herbizidresistenter, transgener Rapspflanzen 1995 - 1999. Ein Beitrag zur biologischen Sicherheitsforschung – Endbericht. Hrsg: Niedersächsisches Landesamt für Ökologie; Nachhaltiges Niedersachsen 13 - Dauerhaft umweltgerechte Entwicklung: 1-57.

Beteiligte Institutionen

Koordination durch: Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Ökologische Begleitforschung des Landes Niedersachsen zu einem Freilandexperiment der Firma Hoechst Schering AgrEvon GmbH, Mitarbeiter der BBA, Braunschweig

Versuchsdesign

Hier wir der „Studienteil zur Auskreuzung in männlich fertilen Raps“ betrachtet. Die Versuche hatten das Ziel, das innerartliche Auskreuzungsverhalten des *pat*-Gens von Winterraps zu quantifizieren. Die Versuche fanden in den Jahren 1995 bis 1998 (Aussaat August 1995 und 1996, Blüte 1996 und 1997) bei Gehrden, südwestlich von Hannover statt.

Ein Rapsfeld mit Nord-Süd-Ausrichtung der Längsseite und einer Größe von 60 x 20 m, eingesät mit Glufosinat-tolerantem Winterraps der Sorte „Falcon GS 40/90/Hoe 6 Ac“ diente als Quellpopulation. Um dieses Feld befand sich im Abstand von 6 m eine 8 m breite Mantelsaat aus nicht-transgenem fertilem Raps (Feldmann pers. Mitteilung 9.9.2004)[1]. Von der Mantelsaat wurden die innere und die äußere Kante (Breite ca. 1,35m) in je 16 Abschnitten getrennt geerntet.

Zusätzlich wurden Fangpflanzen vorbereitet und in mindestens 200 m Abstand zur Mantelsaat um die blühende Pollenquelle ausgebracht. Dazu wurden je fünf Samen der pollenproduzierenden Sorte „Falcon“ in 10 l Eimern ausgesät und die Pflanzen im folgenden Frühjahr je auf eine Pflanze pro Eimer vereinzelt. Gleichzeitig wurden im ersten Jahr auch männlich sterile Fangpflanzen vorbereitet, die jedoch hier nicht weiter ausgewertet werden. In 1996 wurde mit 30 Eimern und in 1997 mit 150 Eimern mit fertilen Fangpflanzen gearbeitet. Ende April beziehungsweise Anfang Mai wurden die Fangpflanzen außerhalb des 200 m Isolationsabstandes zu je vier (1996) bzw. sechs (1997) Pflanzen je Standort ausgepflanzt (1996: 7 Standorte, 1997: 22 Standorte). Die Standorte befanden sich auf der Außenlinie eines 625 x 550 m Rechtecks um die transgene Pollenquelle und die Mantelsaat herum, so dass der kleinste Abstand zwischen Mantelsaat und Fangpflanzen mindestens 214 m betrug. Zwischen den jeweiligen Vierer-/Sechsertrupps von Fangpflanzen bestand jeweils ein Abstand von 100 m. In beiden Jahren wurden die Fangpflanzen im Juni ins Gewächshaus versetzt und reife Schote kontinuierlich geerntet.

Die Selektion auf Glufosinat-tolerante Keimlinge aus den Samen der Mantelsaat und den Fangpflanzen erfolgte mittels Keimversuchen unter Verwendung von Basta-haltigem Medium, Basta-Behandlung im 3-4-Blatt-Stadium und in beiden Fällen anschließend indirektem ELISA-Test.

[1] Der Versuchsaufbau wurde bereits falsch zitiert und die Mantelsaat als männlich steril beschrieben.

Zur Bestäubung kamen Wind und Insekten in Betracht.

Ergebnisse[2]

1996, Mantelsaat: Einkreuzung in 6 bis 7 m Abstand (kein Raps in dem 6 m Zwischenraum): zwischen 0,75 und 21,35 %, im Mittel 7,6 %.

1996, Mantelsaat: Einkreuzung in 13 bis 14m Abstand (kein Raps in den ersten 6 m, aber ab 6 m Abstand): zwischen 0,05 und 1,75 %, im Mittel 0,70 %.

1997, Mantelsaat: Einkreuzung in 6 bis 7 m Abstand (kein Raps in den 6 m Zwischenraum): zwischen 1,05 und 28,50 %, im Mittel 9,41 %.

1997; Mantelsaat: Einkreuzung in 13 bis 14 m Abstand (kein Raps in den ersten 6 m, aber ab 6 m Abstand): zwischen 0,05 und 3,75 %, im Mittel 1,23 %.

1996, Fangpflanzen: Einkreuzung im Abstand von mindestens 214 m und mehr in fertile Pflanzen: zwischen 0 und 0,03 %, im Durchschnitt 0,017 %

1997, Fangpflanzen: Einkreuzung im Abstand von mindestens 214 m und mehr in fertile Pflanzen: zwischen 0 und 0,83 %, im Durchschnitt 0,06 %.

Bewertung der Studie und Anmerkungen

Mit einer 20 m mal 60 m großen Quellpopulation nutzte Feldmann bereits eine relativ große Pollenquelle, die aber keine Feldgröße darstellt.

Die Fängerpflanzen in über 214 m Abstand zur Quelle standen nur einzeln mit einem jeweiligen 100 m Abstand voneinander. Dadurch waren die Pflanzen recht exponiert und für eine Insektenbestäubung attraktiv. Allerdings sind sie von der transgenen Pollenquelle durch die geschlossene Mantelsaat getrennt, die selbst auch Pollen produziert. Dass trotz der fertilen Mantelsaat bis in 200 m noch eine Auskreuzung bis zu 0,83 % erfolgte, lässt auf ein recht hohes Auskreuzungspotential auch in fertile Pflanzen und über weite Distanzen schließen. Da die Quellpopulation relativ klein war, kann bei einer normalen Anbausituation das Pollenangebot aus der Quelle erheblich größer sein.

[2] Diese Studie wird in anderen zusammenfassenden Arbeiten oft falsch zitiert. Die an anderer Stelle gemachten Angaben, Feldmann (2000) habe nur mit männlich sterilen Empfängerpflanzen gearbeitet, sind falsch.

Literaturquelle

Rieger MA, Lamond M, Preston C, Powles SB & Roush RT (2002): Pollen-mediated movement of herbicide resistance between commercial canola fields. Science (296) pp. 2368-2388.

Beteiligte Institutionen

Cooperative Research Center for Australian Weed Management; Department of Applied and Molecular Ecology, University of Adelaide, Glen Osmond, Australia; Western Australia Herbicide Initiative, University of Western Australia, Nedlands, Australia; Agriculture Victoria (gehört zum staatlichen Department of Primary Industries, Victoria, Australia und scheint dort eine Forschungseinrichtung zur Unterstützung der Industrie zu sein); New South Wales Department of Agriculture; Grains Research & Development Corporation, WAHRI-Initiative (staatlich, http://www.grdc.com.au/)

Versuchsdesign

Die Untersuchung wurde im Kontext des ersten kommerziellen Anbaus von (nicht-transgenem) Raps mit Chlorsulfuron-Resistenz (ALS-inhibiting, homozygot) im Jahr 2000 in Australien durchgeführt. In New South Wales, Victoria und South Australia wurden in 63 konventionellen Feldern verschiedener Rapssorten, die benachbart zu herbizidresistenten Feldern lagen, Samenproben genommen. Quell- und Empfängerfelder hatten jeweils ähnliche Größen zwischen 25 und 100 ha. In jedem potentiellen Empfängerfeld wurden dort, wo das Empfängerfeld der herbizidresistenten Pollenquelle am nächsten war sowie in der Mitte und am weitest entfernten Ort jeweils zehn Proben mit insgesamt mindestens 100.000 Samen pro Entfernung genommen. Die Samenproben wurden ausgesät und die Sämlinge zweifach mit lethalen Chlorsulfuron-Dosen behandelt.

Als Pollenvektor wurden Wind und Insekten angenommen.

Ergebnisse

Die ermittelten Auskreuzungsraten sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2: Auskreuzungsrate in Abhängigkeit von der Entfernung zur Pollenquelle (Auskreuzungsraten aus einer Graphik abgelesen)

Distanz zur Pollenquelle	Auskreuzungsrate
0 - 500 m	0 - 0,16 %
500 – 1.000 m	0 - 0,11 %
1.000 – 2.000 m	0 - 0,2 %
2.000 – 3.000	0 - 0,15 %
3.000 – 5.000	0 %

Die weitest festgestellte Auskreuzungsdistanz betrug 3.000 m. Bei Distanzen > 3.000 m gab es allerdings nur wenige Probenahmen (nach der graphischen Darstellung fünf von 190 insgesamt).

Insbesondere bei einem Abstand zum Donorfeld < 100 m war die Einkreuzung in das Feld gleichmäßig verteilt und nicht auf Randbezirke des Feldes begrenzt. Insgesamt waren im

Vergleich zu Studien mit flächenmäßig kleineren Pollenquellen die Einkreuzungen im Feld sehr gleichmäßig verteilt. Im Gegensatz zu bisherigen Studien, die mit kleinen Pollenquellen gearbeitet haben, fanden Rieger et al. (2002) somit keine leptokurtische oder exponentielle Abnahme des Gentransfers von der Pollenquelle zu weiter entfernten Distanzen hin, sondern zufällig verteilte Einkreuzungsereignisse auch in weiten Abständen zur Quelle.

Effekte der Windrichtung wurden nicht festgestellt.

Die Einkreuzungsraten waren je nach Sorte der Empfängerpflanzen sehr unterschiedlich, scheinen also von Sorteneigenschaften beeinflusst zu werden, was möglicherweise unter anderem mit verschiedenen Blühzeiten zusammenhängt.

Bewertung der Studie und Anmerkungen

Rieger et al. (2002) ist die einzige Studie, die unter überwiegend detaillierter Angabe zum Versuchsdesign und zu den Versuchsbedingungen Auskreuzungen aus Feldern unter realistischen und tatsächlichen Anbaubedingungen, also aus großen Pollenquellen in große Empfängerpopulationen, untersucht hat. Auch die Stichprobengröße war vergleichsweise sehr groß.

Die Untersuchungen fanden parallel unter unterschiedlichen australischen Umweltbedingungen statt. Allerdings werden keine konkreten Angaben zur Witterung, Windverhältnissen, Vorkommen und Aktivität von potentiellen Bestäubern sowie zu den Umgebungsstrukturen und möglicher Pollenkonkurrenz aus anderen Feldern gemacht. Auch die Anordnung der Quellpopulationen zu den Empfängerpopulationen bleibt unbekannt.

Damit kann nicht beurteilt werden, ob sich die Ergebnisse auf die Situation unter deutschen Anbaubedingungen übertragen lassen.

Leider wurden nur fünf Erhebungen mit Distanzen über 3.000 m durchgeführt, so dass ab dieser Distanz kaum eine Aussage abgeleitet werden kann. Auffällig ist, dass bis 3.000 m die höchsten festgestellten Distanzen keine abnehmende Tendenz zeigen und auch bei einer Mittelung aller Ergebnisse pro Distanz kaum eine abnehmende Tendenz zu erkennen ist.

Nach dieser Studie muss bis mindestens 3.000 m Entfernung von der Pollenquelle mit Einkreuzungsraten über 0,1 % gerechnet werden.

Interessant ist die Beobachtung der Sortenabhängigkeit der Einkreuzungsraten (s. auch Simpson et al. 1999). Diese Feststellung stellt wiederum andere Studien in Frage, die nur mit einer Sorte gearbeitet haben.

Literaturquelle

Scheffler JA, Parkinson R & Dale PJ (1993): Frequency and distance of pollen dispersal from transgenic oilseed rape (*Brassica napus*). Transgenic Research 2, 356-364.

Beteiligte Institutionen

John Innes Centre, Norwich, UK.

Das transgene Material wurde von Plant Genetic Systems (PGS), Belgien erhalten.

Versuchsdesign

in diesem 1990 durchgeführten Versuch waren die genutzten transgenen und nicht-transgenen Linien von der Sorte „Westar“ abgeleitet. Die transgene Linie enthielt das dominante *bar*-Gen für Glufosinat-Resistenz. In der transgenen Linie waren jedoch nur 65 % der Samen herbizidresistent, 35 % nicht. Von den Herbizidresistenten waren nur 95 % homozygot im *bar*-Gen.

Ein Kreis von 1 m Durchmesser wurde mit nicht transgenem Raps handeingesät, darum mit einem Durchmesser von 9 m transgene Samen (je 6 kg pro ha) gesät. Um diesen Kreis wurde maschinell nicht-transgener Raps (5 kg pro ha) ausgesät, bis die Distanz von der transgenen Pollenquelle zum Feldrand mindestens 48 m betrug. Insgesamt betrug das Feld somit 1,1 ha. Mit 18 cm breiten Pfaden wurde das Feld in 8 gleiche „Tortenstücke“ unterteilt. Entlang der Pfade wurden 1 m^2 große Flächen in 1, 3, 6, 12, 24, 36 und 47 m Entfernung zur transgenen Pollenquelle markiert. Vier weitere 1 m^2-Flächen wurden in der Fläche der transgenen Pflanzen markiert. In allen 60 1 m^2-Flächen wurde die Anzahl der Pflanzen gezählt und während der Blütezeit wurde die Zahl der blühenden Pflanzen und die Zahl und Art blütenbesuchender Insekten bestimmt. An allen Längsseiten des Gesamtfeldes standen je ein und in 450 m Entfernung in nordöstlicher Richtung noch einmal zwei Bienenstöcke. Circa 1 % der Bienen wurden je nach Stock mit verschiedenen Farben markiert. Im August wurden 272 1 m^2-Flächen im nicht-transgenen Feld geerntet. Auch in den Feldecken, 70 m entfernt von transgenen Kreis, wurden Flächen geerntet.

Der Test auf Einkreuzung erfolgte durch Keimversuch und zweimalige Herbizidbehandlung der Keimlinge im ersten echten Blattstadium. Darüber hinaus wurden im April 1991 von allen Samenproben insgesamt 449 Blöcke (1,5 x 20 m) aus der Ernte des Versuchs (pro Entfernung im Versuch je 40.000 bis 80.000 Samen bei den kurzen Distanzen bis 8m und 39.200 bis 784.190 Samen bei den Distanzen von 12 bis 70 m Entfernung) sowie Kontrollen mit transgenen und nicht-transgene „Westar“-Plots ausgesät. In den Zwischenräumen der Plot-Reihen wurde herbizidempfindlicher Raps der Sorte „Westar“ ausgebracht, um eine ungleichmäßige Spritzmittelbehandlung feststellen zu können. Im 3-4-Blatt-Stadium erfolgte eine zweifache Behandlung mit Glufosinat (4l/ha) im Abstand von neun Tagen. Überlebende Pflanzen wurden im Gewächshaus zur Blüte gebracht. Anschließend wurden von den Samen wiederum die Sämlinge auf Herbizidresistenz überprüft.

Zusätzlich wurde über Southern-Blot Analysen das *bar*-Gens nachgewiesen.

Mit all diesen zusätzlichen Untersuchungen, die in die Auskreuzungsfrequenz-Berechnungen einbezogen wurden, sollte verhindert werden, dass Nicht-Hybride wegen nicht kompletter oder erfolgloser Herbizidbehandlung als Hybride gewertet würden.

Ergebnisse

Die ermittelten Auskreuzungsraten sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3: Auskreuzungsraten in Abhängigkeit von der Entfernung zur Pollenquelle

Entfernung zur Pollenquelle	Auskreuzungsrate
bis 1 m (innerhalb der Quelle):	4,8 %
1 m	1,4 und 1,6 %
3 m	0,35 und 0,4 %
6 m	0,033 und 0,11 %
12 m	0,016 und 0,025 %
24 m	0,0 und 0,0041 %
36 m	0,0011 und 0,0031 %
47 m	0,0 und 0,00034 %
70 m	0,0 %

Die verschiedenen Werte pro Distanz sind jeweils die Ergebnisse der Gewächshaus- und der Freiland-Versuche. Da je Wuchsort nur ein Wert ermittelt wurde, stellen die Ergebnisse vermutlich Mittel über Proben in alle Himmelrichtungen dar, zumal die absoluten Zahlen von herbizidresisteten Empfängerplot-Nachkommen zum Beispiel in 1 m Entfernung zwischen 20 und 65 je nach Himmelsrichtung schwanken.

Bewertung der Studie und Anmerkungen

Das Versuchsdesign spiegelt keine realen Feldbedingungen wieder. Die Relation zwischen der kleinen transgenen Pollenquelle im Zentrum des Versuchs und der sie umgebenden, viel größeren potentielle Empfängerpopulation, die selbst auch Pollen produziert betrug <1:100. Es bestand eine sehr hohe nicht-transgene Pollenkonkurrenz und damit ein hoher „Verdünnungseffekt“ für den transgenen Pollen.

Zudem verwendete Scheffler et al. (1993) für den Versuche als Pollenquelle Saatgut, welches nur zu 65% herbizidresistent war. Von diesen herbizidresistenten Pollendonor-pflanzen trugen wiederum nur 95% das *bar*-Gen. Die Vergleich zu anderen Studien niedrigeren Auskreuzungsraten können auf dieses Versuchsdesign zurückgeführt werden.

Die Studie kann nicht als Vergleich mit einer kommerziellen Anbausituation herangezogen werden.

Literaturquelle

Scheffler JA, Parkinson R & Dale PJ (1995): Evaluating the effectiveness of isolation distances for field plots of oilseed rape (*Brassica napus*) using herbicide-resitance transgene as a selection marker. Plant Breeding 114 (4): 317-321.

Beteiligte Institutionen

John Innes Centre, Norwich, UK; Institut für allgemeine Botanik der Universität Hamburg; Das transgene Material wurde von Plant Genetic Systems (PGS), Belgien erhalten. Der Versuch wurde vom U.K. PROSAMO Programm unterstützt, welches ein Konsortium des UK Department of Trade and Industry, des Agricultural and Food Research Council und industriellen Mitgliedern ist.

Versuchsdesign

In 1992 wurde ein Quellplot von 20 x 20 m mit der Rapssorte „Westar“ (Sommerraps) mit *bar*-Gen (homozygot) für Resistenz gegen Glufosinat-Ammonium eingesät. Um die potentielle transgene Pollenquelle herum wurden in vier Himmelsrichtungen insgesamt vier Empfängerplots von je 20 x 20 m in zweimal 200 und zweimal 400 m Entfernung mit nicht-transgenen Rapspflanzen (zertifiziertes „Westar“-Saatgut, Sommerraps, nicht herbizid-resistent) angelegt. In allen Plots betrug die Aussaatmenge 6,5 kg/ha. Zwischen der Quelle und den Empfängerplots lagen offene Flächen oder Roggenfelder. Im Vier-Blatt-Stadium wurde der Quellplot mit dem Herbizid behandelt, um mit Sicherheit nur *bar*-Genträger in der Quelle zu haben.

Nach der Samenreife verblieben die Samen der Empfängerplots auf den Plots, so dass hier zwischen gut 4 Mio. und 10,5 Mio Samen pro Blöcke verblieben. Von je einem 200 m- und einem 400 m-Empfängerblock wurden die Samen (insgesamt 6.474 bzw. 9.633 Samen) von je einer 130 x 25 cm-Fläche entnommen und im Gewächshaus keimen gelassen und die Keimlinge mit Herbizid behandelt. Im September wurden auch die Empfänger-Blöcke zweimal mit Glufosinat gespritzt. Überlebende Pflanzen kamen ins Gewächshaus und wurden erneut mit Herbizid behandelt. Überlebende wurden teilweise mit dem 'replicated colour-change bioassey' und teilweise mittels Southern-Blot auf das *bar*-Gen untersucht.

Während des Versuchs waren unter anderem Hummeln und Honigbienen als Bestäuber aktiv, beide Gruppen wurden hinsichtlich ihrer Zahl und ihrer gesammelten Pollen untersucht.

In Umgebung des Versuchs befanden sich bis in 3 km Entfernung keine weiteren Rapsfelder.

Die Versuchsplots blühten gleichzeitig ab.

Die Windrichtung wurde bestimmt. Ein Block (Nr. 4, 200 m) war an 12 von 25 Tagen in der Hauptwindrichtung, während Block 3 (auch 200 m Distanz zur Quelle) nur 2 von 25 Tagen in der Hauptwindrichtung lag. Von den 400 m entfernten Block lag einer nie und einer nur 5 von 25 Tagen in der Hauptwindrichtung. Zur Windstärke und zur Witterung werden keine Angaben gemacht.

Ergebnisse

Im folgenden sind die Einkreuzung in % der Gesamtsamen im jeweiligen Block aufgeführt:

nach zweimaliger Herbizidbehandlung überlebten in 200 m Entfernung 0,0156 bis 0,01988 % und in 400 m Entfernung 0,00365 bis 0,00495 %.

Die anschließende Verpflanzung ins Gewächshaus und erneute zweifache Herbizidbehandlung überlebten aus den 200 m-Plots 0,01269 bis 0,01775 % und aus den 400 m-Plots 0,00312 bis 0,00452 %.

Die davon getesteten Pflanzen trugen alle das *bar*-Gen.

Ob bereits die nach nur zweifacher Herbizidbehandlung Überlebenden ausschließlich Einkreuzungen repräsentierten, wurde nicht festgestellt.

Die Autoren führen die beobachteten Einkreuzungsereignisse insbesondere auf Insekten zurück, da keine großen Unterschiede zwischen Blöcken in Windrichtung, bzw. nicht in Windrichtung festgestellt wurden.

<u>Bewertung der Studie und Anmerkungen</u>

Im Vergleich zu der Studie von Scheffler et al. (1993) fällt positiv auf, dass in der Quellpopulation eine Herbizidapplikation stattfand, so das sicher gestellt war, dass alle Pflanzen der Quellpopulation wirklich Träger des Markergens waren.

Wie bei der Studie von 1993 ist das Flächenverhältnis der Pollendonor- zu Pollenempfängerpopulation jedoch sehr ungünstig. Das reine Flächenverhältnis betrug 1:4, so dass ein Verdünnungsfaktor allein aufgrund der Pollenmenge berücksichtigt werden muss. Darüber hinaus war das Verhältnis der Pollendonorfläche zur gesamten Versuchsfläche, in die der Pollen insgesamt transportiert werden konnte, noch um ein Vielfaches kleiner.

Da die Pollenquelle mit 400 m^2 zusätzlich recht klein war, ist auch dieser Versuch nicht repräsentativ für eine Feld-zu-Feld-Auskreuzung bei komerziellem Anbau.

Zusätzlich lagen die 400 m entfernten Blöcke nur in 10 % der Zeit in Hauptwindrichtung. Keiner der Untersuchungsblöcke lag die Hälfte der Blütezeit oder länger in der Hauptwindrichtung. Es aknn davon ausgenangen werden, dass in der Hauptwindrichtung Auskreuzung erhöht auftritt.

Literaturquelle

Stringam GR & Downey RK (1982): Effectiveness of Isolation Distances in Seed Production of Rapeseed (*Brassica napus*). Agronomy Abstracts: 136-137.

Beteiligte Institutionen

Research Station, Agriculture Canada, Saskatchewan, Kanada

Versuchsdesign

In den 70er Jahren wurde über vier Jahre an fünf Standorten in West-Kanada eine Rapslinie mit rezessiver Chlorophyll-Defizienz in einem 44,5 m x 46 m-Feldern ausgesät. Die Felder waren 47, 137 sowie 366 m von kommerziell angebauten Feldern entfernt. Mittels Überprüfung der Keimlinge auf Chlorophyll-Defizienz wurde die Einkreuzung aus den kommerziellen Feldern in die 44,5 m x 46 m-Felder überprüft.

Ergebnisse

Die Mittelwerte der Einkreuzungsraten betrugen 2,1 % in 46 m Abstand, 1,1 % in 137 m Abstand und 0,6 % in 366 m Abstand.

In zwei Empfängerflächen, die nicht synchron mit den benachbarten Rapsfeldern blühten, wurde eine „Hintergrund-Kontamination“ von 0,2 bis 0,5 % beobachtet.

Bewertung der Studie und Anmerkungen

Die Angaben in diesem Abstract sind extrem knapp, so dass die Ergebnisse nicht umfassend bewertet werden können.

Die Auskreuzung erfolgte aus Feldquellen, was in Studien ansonsten sehr selten ist, aber den Bedingungen im Anbau entspricht.

Auffällig ist, dass noch in 366 m Abstand im Mittel Einkreuzungsraten von 0,6 % beobachtet wurden. Das heißt, die maximalen Einkreuzungsraten in 366 m Entfernung haben über 0,6 % gelegen.

Ferner fällt die „Hintergrund-Kontamination“ von bis zu 0,5 % auf. Zur Einschätzung dieses Wertes fehlen jedoch nähere Angaben zur gesamten Anbausituation.

Literaturquelle

Simpson EC, Norris CE, Law JR, Thomas JE & Sweet JB (1999): Gene flow in genetically modified herbizide tolerant oilseed rape (*Brassica napus*) in the UK. In: Lutmann PJW (1999): Gene Flow and Agriculture: Relevance for Transgenic Crops. BCPC Symposium Proceedings No. 72: 75-81.

Beteiligte Institutionen

Autoren des National Institute of Agricultural Botany, Cambridge, UK; finanziert durch das Ministry of Agriculture, Fisheries and Food und das Department of the Environment, Transport an the Regions; Hilfe bei der Durchführung durch Plant Genetic Systems PGS, Gent, Belgien; AgrEvo und Monsanto stellten Primer Sequenzen zur Verfügung.

Versuchsdesign

An drei verschiedenen Orten im Vereinigten Königreich (Caxton, Cockle Park, Bridgets, Wye wurden 1997 eine Winterrapslinien mit Glufosinat-Ammonium-Resistenz und eine Winterrapslinien mit Glyphosat-Resistenz parzellenweise ausgesät. Ebenso wurden in 40 m^2 Parzellen die nicht-herbizidtoleranten konventionelle Kontrollsorten: „Express“, „Nickel“, „Falcon“ und „Apex“ ausgesät. Darüber hinaus wurde auch die Sorte „Synergy“ gesät, bei der es sich um einen „varietal association hybrid“ handelt, der zu 80% steril und nur zu 20% fertil ist. Diese Sorte wird daher hier nicht in die Auswertung mit einbezogen, sondern findest sich in der tabellarischen Zusammenstellung der Studien zu sterilem Raps wieder. Zwischen den transgenen Pollenquellen und den konventionellen Rapsparzellen bestanden jeweils Pollenbarriere aus konventionellem Raps von mindestens 6 m Breite. Im weiteren Umfeld der Versuche in größerer Distanz zu Quellen bestanden weitere Rapsfelder. Die genaue Parzellenanordnung und das genaue Versuchsdesign (Feldform und Abstände) ist aus den Angaben nicht nachvollziehbar.

Probennahmen in nicht-transgene Parzellen erfolgten in Feldern „am nächsten“, in 50 m, in 100 m und in „weitester“ Entfernung zu den transgenen Flächen. Daneben wurden auch Proben in transgene Flächen genommen, um sie auf Pollenflug von anderen transgene Linien zu untersuchen.

1998 erfolgte die Samenaussaat im Gewächshaus und im Freiland. Mit Herbizidbehandungen wurden die Pflanzen bezüglich der Auskreuzung überprüft.

Vermutungen auf Doppelresistenzen wurden durch PCR überprüft

Ergebnisse

An den verschiedenen Versuchsstandorten und mit den unterschiedlichen Linien wurden verschiedenste Ergebnisse festgestellt.

Aus Graphiken lassen sich Einkreuzungsraten in die konventionellen Sorten von bis zu 18,3 % ablesen und die höchsten Einkreuzungsrate von Herbizidresistenz in nicht direkt zu herbizidresistenten Parzellen benachbarten Plots betrug 4,2 %. Diese Werte sind jedoch nicht mit Abstandsangaben hinterlegt. Insgesamt werden folgende Auskreuzungsraten angegeben:

Tabelle 4 gibt die angegebenen Auskreuzungsraten in Abhängigkeit zur Pollenquelle an.

Tabelle 4: Auskreuzungsraten in Abhängigkeit von der Entfernung zur Pollenquelle (Vier verschiedene konventionelle Sorten wurden als Empfänger verwendet)

Distanz zur Pollenquelle	**Auskreuzungsrate**
6 m	0,05 %
>6 m	0-18,33 %
8 m	0,05-0,33 %
10 m	0,05-0,44 %
14 m	0,05-0,44 %
30 m	0,05 %
34 m	0,05 %
50 m	0,05-0,16 %

Bewertung der Studie und Anmerkungen

Die Versuchsbeschreibung ist äußerst unklar, so dass nicht nachvollzogen werden kann, wie die Ergebnisse genau ermittelt wurden.

Für die Auskreuzung zwischen zwei Feldern sind die Daten jedoch sicher nicht relevant, da mit kleinen Quell- und Empfängerparzellen gearbeitet wurde.

Interessant ist jedoch der Nachweis der unterschiedlichen Einkreuzungsempfindlichkeit verschiedener Sorten.

2.1.3 Analyse und Fazit

Obwohl es aus verschiedenen Gebieten eine recht hohe Anzahl von Studien zur Auskreuzung bei Raps gibt, ist die Datenlage zur Feld-zu-Feld-Auskreuzung mit fertilem Raps unter europäischen Witterungs- und Anbaubedingungen mehr als unbefriedigend.

Für Europa wurden die Anbauversuche mit gentechnisch verändertem herbizidresistenten Raps in Großbritannien, die sogenannten „Farm Scale Evaluations“, zwischen 2000 und 2002 unter Bedingungen durchgeführt, die mit einem kommerziellen Anbau vergleichbar sind. Wie andere Untersuchungen schon ergeben haben, sank auch bei den Begleituntersuchungen der „Farm Scale Evaluations“ die Einkreuzungsrate ab einer Entfernung von 10 bis 50 m zur Pollenquelle erheblich. Hinter dieser Marke nahm die Einkreuzung über lange Distanzen nur sehr langsam ab. Die Abnahme erfolgte eher sprunghaft und ließ sich keiner mathematischen Funktion zuordnen. Eine Verdoppelung des Sicherheitsabstandes hat deshalb nur einen sehr geringen Effekt auf die Einkreuzungsrate (Ramsay et al. 2003). Zudem stellten Ramsay et al. (2003) fest, dass die Einkreuzungsrate proportional zum Anteil vorhandener Felder mit gentechnisch verändertem Raps im Umkreis einiger Kilometer ansteigt. Gegen eine Windbestäubung spricht unter anderem, dass unabhängig von der Windrichtung Einkreuzung gleichermaßen in alle Richtungen beobachtet werden konnte.

Aus Deutschland liegt bislang nur eine Studie zur Rapsauskreuzung vor. Die umfangreichen Untersuchungen aus Niedersachen sind detailliert beschrieben. Die Studie nutzte eine Pollenquellpopulation von 20 x 60 m und beinhaltet Aspekte, die das Auskreuzungspotential gegenüber einer Anbausituation einerseits erhöhen („exponierte“ Fängerpflanzen-Trupps), andererseits erniedrigen (kleine Quellparzelle, daher geringer Pollendruck aus der Quellpopulation) können. Dass trotz der fertilen Mantelsaat bis in 200 m noch eine Auskreuzung von bis zu 0,83 % erfolgte, lässt auf ein recht hohes Auskreuzungspotential auch in fertile Pflanzen und über weite Distanzen schließen.

Nur die Studien von Rieger et al. (2002) aus Australien, von Downey (1999) und von Stringam & Downey (1982) aus Kanada liefern verwertbare Daten zur Auskreuzung unter realen Anbaubedingungen. Die beiden Studien aus Kanada sind jedoch in ihrer Darstellung so knapp, dass die Daten kaum bewertet werden können. Die Studie von Rieger et al. (2002) ist neben der überwiegend ausführlichen Darstellung gerade deshalb sehr aufschlussreich, weil die Untersuchungen unter verschiedenen Umweltbedingungen und mit verschiedenen Sorten durchgeführt wurden.

Nicht nur die Ergebnisse von Rieger et al. (2002) sondern auch die Studie von Simpson et al. (1999), die ansonsten leider kaum verwertbare Ergebnisse liefert, weisen sehr deutlich nach, dass die Einkreuzungsempfindlichkeit stark zwischen verschiedenen Rapssorten variieren kann. Diese Beobachtung stellt prinzipiell alle Studien in Frage, die nur mit einer Sorte gearbeitet haben.

Nach der verfügbaren Datenlage ist bei einer Auskreuzung zwischen zwei fertilen Rapsbeständen von Feldgröße nach Downey (1999) nicht mit abnehmenden

Auskreuzungsraten in Entfernungen zwischen 50 und 100 m zu rechnen (jeweils bis zu 0,4 %). Selbst für ganze Felder (Größe und Lage zur Quelle unklar) weist Downey (1999) sogar eine durchschnittliche Einkreuzungsrate von 0,6 % nach. Feldmann (2000) beobachtete trotz einer zwischen Quelle und Empfänger liegenden fertilen Mantelsaat in mindestens 214 m Entfernung zur kleinen (!) Pollenquelle noch eine Auskreuzung bis zu 0,83 % in Fangpflanzen. Stringam & Downey (1982) beobachteten noch in 366 m Abstand zur Pollenquelle im Mittel Einkreuzungsraten von 0,6 %. Das heißt, die maximalen Einkreuzungsraten in 366 m Entfernung haben über 0,6 % gelegen.

Auch bei Rieger et al. 2002 ist im Vergleich zu anderen Studien, die Pollenverbreitung bei Raps in größerem kommerziellen Maßstab in Australien mit herbizidresistenten Raps untersucht worden. Dabei waren die Felder, die als Pollenquelle dienten, zwischen 25 und 100 ha groß. War der Abstand zum Donorfeld kleiner als 100 m, so war die Einkreuzung in das Feld gleichmäßig verteilt und nicht auf Randbezirke des Feldes begrenzt. Interessant ist hierbei, dass im Vergleich zu Studien mit flächenmäßig kleineren Pollenquellen, die Einkreuzungen im Feld allgemein sehr gleichmäßig verteilt war. Dafür wird die Größe der Pollenquelle verantwortlich gemacht, die eine zufällige Verteilung der Einkreuzungsrate über längere Distanzen gewährleistet. Aufgrund dieser Erkenntnis, wäre das separate Ernten der Randbezirke einer Fläche kein Mittel, um Verunreinigung der Ernte des Zentralbereiches zu minimieren.

Bis 3.000 m Entfernung von der Pollenquelle liefern Rieger et al. (2002) Auskreuzungsraten. Darüber hinaus wurden leider nur fünf Erhebungen durchgeführt. Auffällig ist, dass bis 3.000 m die höchsten festgestellten Distanzen keine abnehmende Tendenz zeigen und auch bei einer Mittelung aller Ergebnisse pro Distanz kaum eine abnehmende Tendenz zu erkennen ist. Nach dieser Studie muss bis mindestens 3.000 m Entfernung von der Pollenquelle mit Einkreuzungsraten über 0,1 % gerechnet werden.

Für weitere Distanzen muss bei Raps das große Potential und der große landwirtschaftliche Wert der Insektenbetäubung in Betracht gezogen werden. Da Sammelradien von 6 km für Honigbienen keine Seltenheit zu sein scheinen, ist mindestens bis in diese Distanz mit relevanten Einkreuzungsereignissen zu rechnen. Der Deutsche Berufs- und Erwerbsimkerbund gibt an, dass ein Bienenvolk eine Fläche zischen 30 und 160 km^2 abdeckt (DBIB 2003).

Vor diesem Hintergrund wird für das Erreichen einer maximalen Einkreuzung von 0,1 % eine Distanz von 6.000 m vorgeschlagen. Zum Erzielen von Einkreuzungsraten unter 1 % kann möglicherweise eine Distanz von mindestens 300 m ausreichend sein. Wenn aus der Studie von Stringam & Downey (1982) nicht nur die gemittelten Daten in einer Entfernung von 366 m vorlägen (0,6 %), müsste dieser Wert jedoch möglicherweise nach oben korrigiert werden.

Die hier erarbeiteten Vorschläge beziehen sich ausschließlich auf eine Situation, in der nur eine einmalige Auskreuzung berücksichtigt wird. Die Akkumulation über längere Zeiträume sowie die Durchwuchsproblematik ist zusätzlich zu beachten.

Darüber hinaus wird insbesondere vor dem Hintergrund der mangelhaften Datenlage die Einbeziehung von Sicherheitsfaktoren oder –aufschlägen empfohlen, um auch im Falle des Auftretens von der Auskreuzung besonders zuträglichen Situationen, von bislang nicht in Studien untersuchten Konstellationen und Sondererereignissen die erwünschten Werte nicht zu überschreiten.

Für die Arbeit mit sterilen oder teilweise sterilen Empfängerpopulationen und Sorten können keinerlei Empfehlungen zu Abständen gegeben werden. In Distanzen von 250-500 m stellten beispielsweise Thompson et al. (1999) noch Einkreuzungsraten von 15-70 % fest, in 500-1.000 m zwischen 25-58 %, in 1.000-2.000 m von 8-35 % und selbst in 3.000 m und 4.000 m Entfernung zur Pollenquelle lagen die Einkreuzungsraten noch bei 5 %. Ramsay et al. (2003) maßen mit männlich sterilen Rapspflanzen noch in einer Distanz von 5 und 26 km von der Pollenquelle entfernt Auskreuzung. Grund für diese großen Distanzen ist eine Bestäubung durch Insekten. Nicht nur Bienen sondern auch Käfer kommen hier in Frage, da diese noch größere Distanzen zurücklegen. Gerade aufgrund der bevorzugten Bestäubung durch Insekten, ist es nicht möglich eine vernünftige Distanz festzulegen, die Auskreuzungen in der Rapssaatgutproduktion effektiv verhindern könnten (Ramsay et al. 2003).

2.2 Mais

Mais (*Zea mays* L.) ist eine einjährige Kulturpflanze. In Deutschland wurde 2003 auf 463.000 ha Körnermais (einschließlich „Corn-Cob-Mix“) angebaut, Silomais sogar auf 1.173.000 ha. Die Erntemenge betrug etwa 3,4 Mio. t für Körnermais und 44,6 Mio. t für Silomais (Statistisches Bundesamt 2004). Maissaatgutproduktion findet in Deutschland in Baden-Württemberg, Bayern und Sachsen-Anhalt statt.

Mais ist ein ausgesprochener Fremdbefruchter (Purseglove et al. 1972). Der männliche Blütenstand befindet sich an der Stängelspitze. Die weiblichen Blüten sitzen an der Basis der Blattscheiden. Mais ist protandrisch, das heißt, dass die männlichen Blüten einer Pflanze zuerst aufblühen (Düll & Kutzelnigg 1994). Zur Selbstbefruchtung kommt es, da das Blühen männlicher und weiblicher Blüten an einer Pflanze sich für einen kurzen Zeitraum überschneidet. Die ermittelten Raten der Selbstbefruchtung schwanken je nach Sorte zwischen einem bis 15 % (Hoffmann et al. 1970; Eastham & Sweet 2002).

Die Bestäubung mit Maispollen erfolgt durch den Wind (Feil & Schmid 2001). Ein Blütenstand kann bis zu 50 Mio. Pollenkörner produzieren (Miller 1985). Maispollen ist relativ schwer und besitzt einen großen Durchmesser von 100 bis 130 µm (Hess et al. 1990). Die Lebensdauer eines Pollenkorns variiert zwischen 24 Stunden (Purseglove et al. 1972) und bei sehr günstigen Bedingungen bis zu neun Tagen (Jones & Newell 1948).

Da Maispollen relativ groß und schwer ist, gehen ein Großteil der Pollen in der Nähe der Pollenquelle nieder: Bis zu 98 % der Maispollen geht in einem Radius von 25 bis 50 m nieder (Jones & Newell 1946, Raynor et al. 1972, Eastham & Sweet 2000). Bei der enormen Menge an Pollen, die eine einzelne Maispflanze entlässt, bedeutet ein geringer Prozentsatz immer noch eine Menge von Tausenden von Pollen, die über weite Distanzen verbracht werden. Die Pollenmenge ist zwar ein Faktor für erfolgreiche Befruchtung, aber andere Parameter spielen eine ebenso wichtige Rolle, etwa die Synchronisation der Blüte der Pollenquelle und der Empfängerpflanzen (Emberlin 1999).

Bodennah kann der Pollen mindestens 800 m weit getragen werden (Treu & Emberlin 2000). Die vorherrschende Windrichtung und die Windgeschwindigkeit beeinflusst also die Auskreuzung von Feld zu Feld.

Maispollen kann durch nach oben gerichtete Luftströmungen in große Höhen verbracht werden und große Distanzen zurücklegen. Der Pollen kann aufgrund solcher Luftturbulenzen gegen den Wind verbreitet werden. Modellartig wurde für normale Wetterbedingungen Großbritanniens (Windgeschwindigkeit von 2 m/s, ausreichend, um den Pollen in der Luft zu halten) eine Pollenbewegung von 172,8 km in 24 Stunden berechnet. Würde die Windgeschwindigkeit 10 m/s betragen, könnten bereits 864 km zurückgelegt werden (Emberlin et al. 1999). Brunet et al. (2003) fanden bei Luftproben in Höhen zwischen 150 und 1.800 m durchgehend befruchtungsfähigen Maispollen und schätzten daraus eine potentielle Transportstrecke von Dutzenden von Kilometern.

Mais hat in Europa keine nahe verwandten Wildarten. Maiskörner können zudem Frost nicht überdauern, das heißt, dass Mais unter deutschen Klimabedingungen in der Regel keine Wildpopulationen bilden kann. Auskreuzung bei Mais ist deshalb nur zwischen Kulturbeständen relevant.

2.2.1 Tabellarische Zusammenstellung der Studien

Literaturquelle	Beteiligte Institutionen	Ort & Zeitraum	Quelle (Größe, Form, Sorte)	Empfänger (Größe, Form, Sorte)	Pollentransportmittel & Umgebungsstruktur	Nachweismethode der Auskreuzung	Auskreuzungsrate	Weiteste gemessene/ gefundene Entfernung	Sonstiges
Bateman AJ (1947): Contamination of seed crops - II. Wind pollination. Heredity 1: 235-246.	Jones Innes Horticulturaal Institute, Merton, USA	USA keine genaue Angabe	Größe: 144 Pflanzen Form: quadratisch Sorte: “Early Yellow Flint”	Größe und Form: jeweils eine Reihe, nach Süden und nach Norden von der Quelle weg Sorte: “Canada Gold”	Wind	Xenie (steinige Konsistenz der Körner)	0,6 m 70,1 % 1.8 m 57,2 % 2,4 m 32,2 % 6,1 m 41,6 % 7,9 m 12,3 % 8,5 m 3,5 % 9,1 m 6,1 % 11,6 m 6,6 % 12,8 m 5,8 % 14,6 m 2,8 % 15,9 m 1,1 % 17,7 m 1,0 % 18,3 m 1,2 % 18,9 m 2,7 % 21,3 m 1,6 % 22 m 0,3 % 22,6 m 0,1 % 23,2 m 1,6 % > 23,8 m0 %	25,6 m / 23,2 m	Pollenquelle sehr klein. In dieser Tabelle wurden die Ergebnisse zur Auskreuzung von Pflanzen in nördlicher Richtung aufgeführt, die früh blühten. Später blühende Pflanzen wiesen eine geringere Auskreuzung auf.
Biologische Bundesanstalt (2002): Jahresbericht der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft 2002. Institut für Pflanzenvirologie, Mikrobiologie und Biologische Sicherheit Braunschweig und Berlin: 99-108. http://bba.zadi.de/JBBBA/DDD/JAHRESBERICHTBBA2002-099.pdf.	Biologische Bundesanstalt	Deutschland, 2000, 2001	Keine genauen Angaben, „großflächige Versuche“ Sorte: herbizidresistenter Mais	Keine genauen Angaben	Wind	PCR und Keimtests	„nach wenigen Pflanzenreihen“ < 0,5 %	k. A.	Versuchsbedingungen unklar
Burris JS (2001): Adventitious pollen intrusion into hybrid maize seed production fields. Statement representing the Association of Official Seed Certifying Agencies, http://www.amseed.com/govt_statementsDetail.asp?id=69.	Association of Official Seed Certifying Agencies	Cornbelt USA 1998-2000	Größe und Form: keine Angaben	366 Felder, auf denen Hybridsaatgut produziert wurde. Darin jeweils die weiblichen Pflanzen	Wind	Feststellung von Genotypen nach Genloci-Mapping	(x+) 2 m 1,98 % (x+) 10 m 2,00 % (x+) 20 m 1,81 % (x+) 35 m 1,72 % (x+) 200 m 1,11 %	>325 m / >325 m	Siehe Besprechung der wichtigsten Studien
Byrne PF & Fromherz S (2003): Can GM and non-GM crops coexist? Setting a precedent in Boulder County, Colorado, USA. Food, Agriculture & Environment 1 (2): 258-261.	Colorado State University, University of Colorado	zwei Standorte Bolder County USA 2002	Größe und Form: Keine Angaben Sorten: Maissorte mit blauen Körnern, Gylphosat Toleranz	Größe und Form: keine Angaben	Wind	Keine genauen Angaben	blauer Mais 46 m 0,23 % 183 m 0,05 % Roundup Ready Mais 82 m 0,26 %	k. A.	Versuchsbedingungen unklar
Das KGS (1983): Vicinity distance studies of hybrid seed production in maize (Zea mays L.) at Bangalore. Mysore J. Agric. 20: 340.	Department of Seed Technology Hebbal, Bangalore	Bangalore Indien, im „*rabi*“ (Winter)	Größe: k.A. Form: kleine Parzelle in der Mitte des Feldes. Sorte: CM 105	Größe : k. A. Form: nicht klar, in verschiedenen Richtungen um die Pollenquelle mit bis zu 600 m Abstand. Sorte: CM 400, entfahnt.	Wind	Samenansatz	Samenansatz 50 m 51 % 100m 11 % 150 m 1,5 % 200 m 0,0016 % 300 m - > 300m -	> 300 m / 300 m	Versuchsbedingungen unklar. Ergebnisse jeweils Mittelwerte über acht Himmelsrichtungen. Empfängerpflanzen waren entfahnt.
Felsot AS (2002): "Pharm Farming": Its not your fathers agriculture. Agrichemical and Environmental News. July 2002. Issue 195.	University of Missouri	Missouri USA	Größe: 10-acre block Sorte: Yellow corn	Größe und Form: Reihen mit White hybrid corn	k. A.	k. A.	201,2 m 0,0301 %	k. A.	Berichtet von Untersuchungen der American Society of Agronomy im Rahmen von Pharma- zeutika-produzierenden Pflanzen
Gacitua 1946 nach Jones & Brooks 1950	Keine Angabe	Iowa USA	Größe und Form: keine genauen Angaben Sorte: stärkehaltiger Mais	Größe und Form: keine genauen Angaben Sorte: wachsartiger Mais	Wind	Jodfärbung (Kornzusammensetzung)	105 m 2-6 % 135 m 3,75 %	k. A.	Versuchsbedingungen unklar
Garcia CM, Figueora JM, Gomez RL, Townsend RT & Schoper J (1998): Pollen control during transgenic hybrid maize development in Mexico. Crop Science 38: 1597-1602.	New Mexico State University, Hibridos Pioneer Mexico, Hi Bred Pioneer International	Puerto Vallarta Mexico 1995, 1996	Größe und Form: keine genauern Angaben Sorte: weibliche Pflanzen von Y1394W mit weißen Körnern	Größe und Form: keine genauern Angaben Sorte: männliche Pflanzen X304C mit gelben Körnern	Wind	Xenie (weiße Kornfarbe)	> 184 m „complete pollen control“	k. A.	Material und Methode sehr ausführlich beschrieben. Ergebnisse, bzgl. Auskreuzungsdistanzen mangelhaft dokumentiert. Witterung: Sommer, heiß, viel Regen, Westwind.

Haskell G & Dow P (1951): Studies with sweet corn Seed-settings with distances from pollen source. Empire Journal of Experimental Agriculture 19 (73): 45-50.	Horticultural Institution, Hertford	England 1949	Größe und Form: zentraler Block mit 11 Reihen, mit je 11 Pflanzen; Süßmais	Größe Form: Reihen Sorte: Süßmais, entfahnt	Wind	Samenansatz	3,7 m 95 % 18,3 m 10 % (nach Regressionsanalyse)		Mauern (!) sollten die Windeffekte minimieren. Verlauf der Mauern nicht nachvollziehbar, möglicherweise direkt um die Pollenquelle.
Henry C, Morgan D & Weekes R (2003): Farm Scale Evaluations of GM crops: monitoring gene flow from GM crops to non-GM equivalent crops in the vicinity (contract reference EPG 1/5/138). Part I: Forage Maize. Final Report, 2000/2003, September 2003. DEFRA, Central Science Laboratory, Sand Hutton, York, YO41 1LZ Roger Daniels and Caroline Boffey, Centre for Ecology and Hydrology, Dorchester, Dorset DT28ZD.	Department For Environment and Rural Affairs, Central Science Laboratory, Centre for Ecology and Hydrology	55 Felder der Farm Sale Evaluations UK 2000-2002	Größe und Form: keine genauen Angaben Sorte: herbizidresistenter Mais T 25	Größe und Form : keine genauen Angaben Sorte : k. A. („konventioneller Mais“)	Wind	PCR (*pat* Gen und *Zea mays cdc2*)	Mittelwert 2000-2002: 50 m 78 % 150 m 43 % 2000: 200 m 0,42 & 0,14 % 650 m 0,14 %	650 m / 650 m	Siehe Besprechung der wichtigsten Studien. Darstellung der Ergebnisse mangelhaft.
Jemison JM Jr & Vayda ME (2001): Cross Pollination From Genetically Engineered Corn: Wind Transport And Seed Source. AgBioForum 4 (2): 87-92.	University of Maine	Stillwater Farm Maine USA 1999, 2000	Größe: 3454 m2 Sorte: Roundup Ready resistenter Mais, DeKalb DK 335 RR	Größe und Form: 12 Untereinheiten von je 23,5 m2 in einem Feld, das 30 m in östlicher Richtung vom GV-Mais Feld entfernt, und in einem anderen Feld, das 350 m in südwestlicher (1999), bzw. 100 m in südlicher (2000) Richtung entfernt lag.	Wind	Behandlung der Keimlinge mit Roundup Ready	östlich: 1999 30m 1,04 % 35 m 0,11 % 40 m 0,03 % östlich: 2000 30m 1,64 % 35 m 0,86 % 40 m 1,14 % südlich 2000 100 m 0,65 % 105 m 1,04 % 110 m 1,38 % südwestlich 1999 350 m 0 %	360 m / Keine genaue Angabe	Ergebnisse zwischen beiden Jahren variieren enorm, während in 1999 eine Abhängigkeit von der Isolationsdistanz deutlich ist, erscheint in 2000 die Kontamination gleichmäßig verteilt. Die Autoren vermuten verunreinigtes Saatgut.
Jones MD & Brooks JS (1950): Effectiveness of distance and border rows in preventing outcrossing in corn. Okla. Agr. Exp. Sta. Techn. Bul. T-38.	Oklahoma Agricultural Experiment Station	Lake Blackwell Region Oklahoma USA 1947-1949	Größe und Form: 3,125 ha, 125 x 250 m Sorte: „Yellow Surcropper”	Größe und Form: Blöcke von 30 x 30 m in verschiedenen Abständen Sorte: “Honey June”	Wind	Xenie (gelbe Kornfarbe, pralle Form)	0 m 28,62 % 25 m 14,21 % 75 m 5,79 % 125 m 2,33 % 200 m 1,19 % 300 m 0,48 % 400 m 0,23 % 500 m 0,20 %	500 m / 500 m	Siehe Besprechung der wichtigsten Studien.
Lieber R (1933): Beobachtungen und Arbeitsergebnisse in der badischen Maiszüchtung. Der Züchter 5: S. 193-196.	Saatzuchtanstalt der badischen Bauernkammer	Baden Deutschland	k. A.	k. A.	Wind	Xenie	200 m 4,8 %	k. A.	Versuchsbedingungen unklar
Luna VS, Fugueroa MJ, Baltazar MB, Gomez LR, Townsend R & Schorper JB (2001): Maize pollen longevity and distance isolation requirements for effective pollen control. Crop Science 41: 1551-1557.	Hibridos Pioneer Mexico, Pioneer Hi-Bred International	nahe San Jose del Valle Nayarit Mexico 1997-1999	Größe: 4000 m2 Sorte: Gelbkörniger Hybridmais AS44 und ein weiterer non-Pioneer coded Hybridlinie	Größe: je 12,8 m2 in unterschiedlichem Abstand Sorte: Weißkörniger Hybridmais P3428	Wind	Xenie, Blattfarbe, genetische Marker	Keine genauen Angaben	400 m / 200 m	Die Ergebnisse zur Quantifizierung der Auskreuzung in Abhängigkeit vom Abstand wurden nicht dokumentiert.
Messean A (1999): Impact du développement des plantes transgénique dans les systèmes de culture. Rapport final. Dossier No. 96/15-B: Impact des plantes transgéniques.	ICTA CETIOM. INRA, AgrEVO, Monsanto, Rhone-Poulence , Agro France, Novartis Seeds, KWS	Frankreich 1998	k. A.	k. A.	Wind	Xenie (blaue Kornfarbe)	25 – 40 m < 1 %	k. A.	Versuchsbedingungen unklar.
Messeguer J, Ballester J, Peñas G, Olivar J, Alcalde E & Melé E (2003): Evaluation of gene flow in a commercial field of maize. Poster on the 1st European Conference on the Co-existence of Genetically Modified on the 13th to 14th November 2003 in Helsingor, Denmark.	Catalan Ministry of Agriculture; Institute for Food and Agricultural Research and Technology; Syngenta	nahe Ivars d´Urgell Katalanien Spanien	Größe: 2500 m2 Form: 50 x 50 m Sorte: Bt 176 Mais Compa	Größe : 7,5 ha Sorte : k. A.	Wind	PCR	1 m 4,3 % ± 1,5 2 m 1,5 % ± 0,7 % 5 m 0,5 % ± 0,2 10 m 0,2 % ± 0,1 30 m 0,1 % ± 0,1 60 m 0,1 % ± 0,1	60 m / 60 m	Die auf dem Poster präsentierten Ergebnisse sind vorläufig. Anmerkung: In Windrichtung betrug die Kontamination bei 60 m 0,6 %.

Narayanaswarmy S, Jagadish GV & Ujinnaiah US (1997): Determination of isolation distance for hybrid maize seed production. Curr. Res. (University of Bangalore) 26: 193-195.	Seed Technology Research Unit Bangalore	Bangalore Indien im "*kharif*" (Sommer) 1993, 1995	Größe: 900 m2 Form: 60x15 m Sorte: Ganga-11 (gelbe Körner)	Größe: je 150 m2 Form: je 15 x 10 m in einer Distanz von 100, 200, 300, 400, 500 und 600 m in Windrichtung Sorte: Ganga-Safe-2 (weiße Körner, Elternlinien CM –400 x CM-300, entfahnt, und CM-600)	Wind	Xenie (gelbe Kornfarbe)	Kontaminationsrate der Kolben 1993 / 1995 100m 51,4 / 52,7 % 200 m 17,9 / 18,7 % 300 m 9,5 / 9,8 % 400 m 5,4 / 5,5 % 500 m 2,4 / 2,25 % 600 m 0,4 / 0,4 % Kontaminationsrate der Körnern 1993 / 1995 100m 2,80 / 2,89 % 200 m 0,48 / 0,50 % 300 m 0,14 / 0,15 % 400 m 0,05 / 0,06 % 500 m 0,01 / 0,01 % 600 m 0,001/0,001 %	600 m / 600 m	Die Empfängerpflanzen (CM-400 x CM-300) waren entfahnt Witterung: Windgeschwindigkeit mit 5,0 bzw. 8,6 m/h niedrig Da nach den „Indian minimum seed certification standards" (1988) maximal 0,5 % der Kolben abweichend sein dürfen, schlagen Narayanaswarmy et al.(1997) für Hybridmais mit unterschiedlicher Farbe und Korntextur einen Abstand von mind. 600 m vor.
Paterniani E & Stort AC (1974): Effective maize pollen dispersal in the field. Euphytica 23: 129-134.	Departement of Genetics, Piraciaba, Brasilien	Brasilien Okt. 1962 Dez. 1962 Dez. 1964	Eine Pflanze mit gelber Kornfarbe in der Mitte jedes Rezeptorfeldes.	Größe und Form: 15 x 20 m; 21 x 22,6 m; 20 x 37 m; 40 x 40 m; Sorte: White Flint Variety Perola Piraciaba	Wind	Xenie (gelbe Kornfarbe)	1 m 0,397 % 5 m 0,126 % 10 m 0,007 % 15 m 0,007 % 20 m 0,008 % 25 m 0,003 % 30 m 0,005 % 34 m 0,003 %	34 m / 34 m	Bei der Pollenquelle handelt es sich jeweils um nur eine Pflanze! In dieser Tabelle sind exemplarisch die Ergebnisse aus Feld 4 und nur von einigen Distanzen aufgeführt.
Salamov 1940 nach Jones & Brooks 1950	Keine Angaben	Nördlicher Kaukasus ansonsten keine weiteren Angaben	Größe: 2 Hektar Weißer Hybridmais	Größe: 10 Hektar Auf der Luvseite der Quelle Weißer Hybridmais	Wind	Xenie (gelbe Kornfarbe)	10 m 3,3 % 50 m 0,33 % 100 m 0,36 % 150 m 0,25 % 200 m 0,54 % 400 m 0,02 % 500 m 0,08 % 600 m 0,79 % 700 m 0,18 % 800 m 0,21 %	800 m / 800 m	Werte wurden gegen (!) den Wind gemessen (Luvseite). Es kann sich allerdings auch um einen Übersetzungsfehler handeln.

2.2.2 Wichtigste Studien

Literaturquelle

Burris JS (2001): Adventitious pollen intrusion into hybrid maize seed production fields. Statement representing the Association of Official Seed Certifying Agencies, http://www.amseed.com/govt_statementsDetail.asp?id=69.

Beteiligte Institutionen

Association of Official Seed Certifying Agencies

Versuchsdesign

In den Jahren 1998, 1999 und 2000 wurden im gesamten „Cornbelt“ der USA Proben von insgesamt 366 kommerziellen Feldern genommen, auf denen Hybridmaissaatgut produziert wurde (1998 - 60 Felder, 1999 - 94 Felder, 2000 - 212 Felder). Ein anderes als Auskreuzungsquelle dienendes Maisfeld wurde jeweils in einem Abstand von 1-125 m identifiziert. Die Windrichtung wurde nicht beachtet.

Vor der Ernte wurden in den kommerziellen Hybridsaatgutfeldern aus dem Block von weiblichen Pflanzen in einer Distanz von 2, 10, 20, 35 und 200 m ausgehend von der direkt angrenzenden Reihe männlicher Pflanzen die Kolben von jeweils zehn Pflanzen entnommen. Die Distanzen beziehen sich also auf die Entfernung zu den männlichen Blüten im gleichen Feld und nicht auf die Entfernung zur ungewollten Pollenquelle (Dies wird weiter unten mit „X +“ beschrieben). Die Proben wurden nach mehreren Loci der möglichen sortenspezifischen Genotypen untersucht.

Ergebnisse

Die Auskreuzung variierte nach Anbaujahr, Größe des Feldes und Distanz von der Pollenquelle (vgl. Tabelle 6 und Tabelle 7).

Die Auskreuzungsrate innerhalb der ersten 35 m betrugen 1998 0,98 %, 1999 2,05 % und 2000 2,03 %. Bei 200 m innerhalb des weiblichen Blocks betrug die Auskreuzungsrate zwischen 0,73 % (1998) und 1,27 % (2000). Die Auskreuzungsrate in den ersten Reihen hing stark vom Wind ab, die Auskreuzungsrate innerhalb der Felder war allerdings von der Windrichtung unabhängig. Die über drei Jahre gemittelte Auskreuzungsrate findet sich in Tabelle 5.

Tabelle 5: Auskreuzungsrate über drei Jahre gemittelt

Distanz von der Reihe männlicher Pflanzen	Auskreuzungsrate
(x+) 2 m	1,98 %
(x+) 10 m	2,00 %
(x+) 20 m	1,81 %
(x+) 35 m	1,72 %
(x+) 200 m	1,11 %

Tabelle 6: Auskreuzungsrate in Abhängigkeit von Entfernung des anderen als Auskreuzungsquelle dienenden Maisfeldes

Entfernung der Pollenquelle von dem Empfängerfeld	Auskreuzung im Empfängerfeld bei bis zu 35 m	Auskreuzung im Empfängerfeld bei 200 m
1 – 50 m	1,84 %	0,92 %
51 – 75 m	2,79 %	1,79 %
76 – 125 m	1,62 %	1,11 %
> 125 m	0,73 %	0,55 %

Tabelle 7: Auskreuzungsrate in Abhängigkeit von der Feldgröße des Pollenempfängers

Feldgröße	Auskreuzung innerhalb der ersten 35 m	Auskreuzung bei 200 m	Standard-abweichung
0,4 – 24 ha	2,22 %	1,19 %	0,28
24,4 – 32 ha	2,30 %	1,41 %	0,28
32,4 – 40 ha	2,30 %	1,51 %	0,34
40,4 – 48 ha	1,53 %	0,94 %	0,27
48,4 – 56 ha	1,50 %	0,94 %	0,21
56,4 – 72 ha	1,42 %	0,69 %	0,21
> 72 ha	1,57 %	0,55 %	0,26

Bewertung der Studie und Anmerkungen

Grund der Studie war nach Burris, dass die Sortenreinheit nicht mehr nur nach morphologischen Kriterien sondern auch durch andere Nachweismethoden ermittelt wird. Die Aufgabe der vorliegenden Untersuchungen war es also, die Sortenreinheit in der Saatgutproduktion grundlegend zu überprüfen.

Die Ergebnisse wurden in Form eines „White Papers“ veröffentlicht und haben keinen „Peer Review Process“, also keine unabhängige wissenschaftliche Beurteilung, durchlaufen, wie dies für in wissenschaftlichen Zeitschriften veröffentlichten Artikeln in der Regel der Fall ist. Die Veröffentlichung soll dennoch besonders hervorgehoben werden, weil die Proben aus der laufenden Maissaatgutproduktion in den USA genommen wurden. Die Ergebnisse spiegeln also Auskreuzungsraten im großflächigen Anbau wider.

Die Darstellung der Ergebnisse hätte übersichtlicher gestaltet werden können. So wurde die genaue Distanz zur Kontaminationsquelle nicht klar. Die weitest gehende Auskreuzung konnte nicht eindeutig nachvollzogen werden: Die Kontaminationsquelle konnte >125 m entfernt liegen. Im Empfängerfeld standen anschließend einige Reihen männlicher Pflanzen. Ab der letzten Reihe männlicher Pflanzen wurde in den darauf folgenden weiblichen Pflanzen bis zu 200 m entfernt die letzte Probe genommen. Insofern beträgt die weitest entfernt gemessene Auskreuzung > 325 m.

Die Ergebnisse erlauben einen guten Überblick darüber, wie in einem großen Feld und bei einer großen Kontaminationsquelle die Auskreuzungsrate ausfällt. Zudem beinhalten die Ergebnisse, dass mehrere Reihen männlicher Pflanzen als Pollenbarrieren dienten. Wegen der reichlichen männlichen Pflanzen kann davon ausgegangen werden, dass die Situation der Pollenkonkurrenz mit einem kommerziellen Maisanbau verglichen werden kann.

Burris bewertet die Pollenbarrieren positiv, da der Median der Auskreuzung bei 200 m bei 0 % lag, d.h. dass bei über der Hälfte der Proben bei 200 m innerhalb des weiblichen Blocks keine Auskreuzung detektiert wurde. Isolationsabstände für gentechnisch veränderten Mais sollten allerdings derart gestaltet sein, dass in über 50 % der Fälle keine oder nur eine sehr geringe Auskreuzung festgestellt werden kann.

Literaturquelle

Henry C, Morgan D & Weekes R (2003): Farm Scale Evaluations of GM crops: monitoring gene flow from GM crops to non-GM equivalent crops in the vicinity (contract reference EPG 1/5/138). Part I: Forage Maize. Final Report, 2000/2003, September 2003. Christine Henry, Derek Morgan and Rebecca Weekes, Central Science Laboratory, Sand Hutton, York, YO41 1LZ Roger Daniels and Caroline Boffey, Centre for Ecology and Hydrology, Dorchester, Dorset DT28ZD.

Beteiligte Institutionen

Department for Environment and Rural Affairs, Central Science Laboratory, Centre for Ecology and Hydrology

Versuchsdesign

Im Zuge der großflächigen Freisetzungsversuche in Großbritannien, den sogenannten „Farm Scale Evaluations“, wurden in England 55 Felder mit gentechnisch verändertem herbizidresistentem Mais T 25 über drei Jahre hinweg (2000, 2001, 2002) in Bezug auf die Auskreuzung begleitet. Von jedem Feld mit gentechnisch verändertem Mais ausgehend, wurde der angrenzende konventionelle Mais entlang von sechs Transsekten bei Distanzen von 2, 10, 20/25, 50 und 150 m beprobt. Jede Probe bestand aus 3-5 Kolben. Die Detektion von Auskreuzung erfolgte über PCR-Nachweis des *pat*-Gens, das für die Herbizidresistenz codiert.

Ergebnisse

Die Auskreuzungsraten in Entfernungen bis 20 Meter nahm zunächst schnell ab. Bei Entfernungen von mehr als 20 Metern gingen die Auskreuzungsereignisse nur noch sehr langsam zurück. In 2000 wurden bei einer Entfernung von 200 m Einkreuzungsraten von 0,42 % und 0,14 % gefunden. In einer weiteren Probe aus einer Entfernung von 650 Metern von der Pollenquelle wurde eine Einkreuzungsrate von 0,14 % festgestellt.

Bei drei Feldern wurden hohe Auskreuzungsraten bei ≥ 150 m mit häufig auftretendem Wind korreliert, die Pollen aus dem Feld mit gentechnisch verändertem Mais in das Feld mit konventionellem Mais verbrachte.

Tabelle 8: Prozentsatz an Proben aus dem Feld mit konventionellem Mais, bei dem eine gentechnische Verunreinigung ≥ 0,1 % bzw. ≥ 0,3 % fest gestellt wurde. Dargestellt sind die Mittelwerte aus 2000, 2001 und 2002

Distanz vom Feld mit gv-Mais	Anteil an Proben, mit *pat*-Gen	Davon Gehalt an *pat*-Gen ≥ 0,1 %	Sowie Gehalt an *pat*-Gen: ≥ 0,3 %
50 m	78 %	79 %	53 %
150 m	43 %	68 %	31 %

Von 26 konventionellen Feldern wurde die gesamte Ernte auf den Auskreuzungsgehalt getestet. Dabei lagen alle Ernten über 1 % Verunreinigung mit gentechnisch verändertem

Mais. Wurden die ersten 80 m separat geerntet, lag die Kontamination nur bei zwei Feldern über 1 % mit gentechnisch verändertem Mais. Leider wurde dabei die Größe der Felder nicht angegeben.

Bewertung der Studie und Anmerkungen

Die Darstellung der Ergebnisse ist nicht optimal. Es hätte mehr Einzelergebnisse und –werte dargestellt werden können.

In ihrer Einschätzung halten Henry et al. (2003) die von der verantwortlichen Industrievereinigung SCIMAC („Supply Chain Initiative on Modified Agricultural Crops“) die für die FSE vorgeschlagenen Abstandswerte von 80 Meter zu konventionellem Mais und sogar die 200 Meter zu biologisch angebauten Mais für unzureichend.

Die FSE muss im Vergleich zum kommerziellen Maisanbau als kleinflächig bewertet werden. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die gleichmäßige Kontamination sich über größere Distanzen erstrecken kann, als dies von Henry et al. (2003) untersucht wurde.

Literaturquelle

Jones MD & Brooks JS (1950): Effectiveness of distance and border rows in preventing outcrossing in corn. Okla. Agr. Exp. Sta. Techn. Bul. T-38.

Beteiligte Institutionen

Oklahoma Agricultural Experiment Station

Versuchsdesign

Die Versuche wurden im US amerikanischen Bundesstaat Oklahoma in der Lake Blackwell Region in den Jahren 1947, 1948 und 1949 durchgeführt. Als Pollenquelle diente die gelbkörnige Sorte „Yellow Surcropper“, die auf 3,125 ha angebaut wurde. Als Empfänger wurde die weißkörnige Sorte „Honey June“ eingesetzt. Kleine Parzellen mit „Honey June“ von 30 x 30 m wurden in Abständen von 0, 25, 75, 125, 200, 300, 400 und 500 m von der Pollenquelle angepflanzt. Daraus wurden pro Reihe die Kolben von 10 Pflanzen für die Auswertung verwendet. Die Auskreuzungsrate wurde anhand der unterschiedlichen Kornfarbe und –textur fest gestellt.

In einer zweiten Auswertung untersuchten Jones & Brooks (1950) die Abnahme der Auskreuzung von der ersten bis zur 25 Reihe (Reihen parallel zur Pollenquelle), um den Verdünnungseffekt, bzw. den Effekt der ersten Reihen als Pollenbarrieren zu untersuchen.

Ergebnisse

Wie aus Tabelle 9 ersichtlich ist, schwankten die Auskreuzungsraten stark zwischen den Anbaujahren.

Tabelle 9: Auskreuzungsraten aus 1947,1948 und 1949 und Mittelwerte aus den drei Jahren, in unterschiedlich Distanzen zur Pollenquelle

	0 m	**25 m**	**75 m**	**125 m**	**200 m**	**300 m**	**400 m**	**500 m**
1947	35,13 %	16,48 %	5,13 %	0,82 %	0,44 %	0,15 %	0,15 %	0,15 %
1948	17,88 %	6,99 %	3,64 %	2,48 %	0,66 %	0,31 %	0,21 %	0,12 %
1949	32,87 %	19,17 %	8,60 %	3,68 %	2,47 %	0,99 %	0,32 %	0,32 %
Mittelwert	**28,62 %**	**14,21 %**	**5,79 %**	**2,33 %**	**1,19 %**	**0,48 %**	**0,23 %**	**0,20 %**

Tabelle 10 verdeutlicht, dass die Kontamination stark von der “Tiefe des Feldes” abhängig war. Die ersten Reihen fungieren als Pollenbarrieren.

Tabelle 10: Auskreuzungsraten in verschiedenen Reihen und in unterschiedlicher Distanz von der Pollenquelle

	0 m	**25 m**	**75 m**	**125 m**	**200 m**	**300 m**	**400 m**	**500 m**
1. Reihe	90,62 %	80,40 %	28,07 %	4,33 %	6,28 %	2,98 %	0,66 %	1,42 %
3. Reihe	39,92 %	44,07 %	40,07 %	8,30 %	7,91 %	3,45 %	0,43 %	0,39 %
5. Reihe	46,11 %	27,94 %	1,88 %	3,62 %	0,68 %	0,71 %	0,08 %	0,90 %
10. Reihe	26,96 %	20,23 %	1,72 %	6,96 %	0,75 %	0,00 %	0,10 %	0,00 %
15. Reihe	23,20 %	7,38 %	7,42 %	1,90 %	1,31 %	0,39 %	0,10 %	0,14 %
20. Reihe	11,57 %	7,09 %	0,65 %	3,36 %	1,05 %	2,00 %	0,15 %	0,23 %
25. Reihe	k. A.	10,40 %	5,07 %	k. A.	0,79 %	0,33 %	k. A.	0,05 %

Bewertung der Studie und Anmerkungen

Die Versuche von Jones & Brooks (1950) muss besondere Beachtung beigemessen werden, da sie unter Bedingungen durchgeführt wurde, die mit einem kommerziellen Maisanbau verglichen werden können: Die Pollenquelle war groß und die Empfängerpflanzen waren nicht entfahnt, d.h. dass es zu Pollenkonkurrenz kam. Zudem wurden sehr große Distanzen beprobt und die Versuche über drei Jahre wiederholt.

Literaturquelle

Narayanaswarmy S, Jagadish GV & Ujinnaiah US (1997): Determination of isolation distance for hybrid maize seed production. Curr. Res. (University of Bangalore) 26: 193-195.

Beteiligte Institutionen

Seed Technology Research Unit Bangalore

Versuchsdesign

In den Jahren 1993 und 1995 wurden in den indischen Sommermonaten Auskreuzungen bei Maishybriden ermittelt. Pollenquelle und –empfänger wurden in einem Verhältnis von 6:2 angepflanzt. Als Pollenquelle diente eine gelbkörnige Sorte „Ganga-11“, die auf 900 m^2 (60 x 15 m) angepflanzt wurde. Die Empfängerpflanzen stammten von Elternlinien mit weißen Körnern, CM-400 x CM-300 und CM-600, die auf 15 x 20 m in Distanzen von 100, 200, 300, 400 und 500 m in der Hauptwindrichtung von der Pollenquelle entfernt gepflanzt wurden. Dabei bestand die erste Reihe der Empfängerfelder aus männlichen Pflanzen (CM-600). Die restlichen Reihen der weiblichen Pflanzen CM-300 X CM-400 waren entfahnt. Die Auskreuzungsrate wurde über Auszählung der Körner und deren Xenien pro Reihe vorgenommen.

Ergebnisse

Der Prozentsatz kontaminierter Körner in verschiedenen Isolationsabständen ist in Tabelle 11 zusammengestellt.

Tabelle 11: Prozentsatz kontaminierter Körner bei verschiedenen Isolationsabständen 1993 & 1995

	1993	**1995**
100 m	2,802 %	2,890 %
200 m	0,483 %	0,500 %
300 m	0,144 %	0,145 %
400 m	0,052 %	0,055 %
500 m	0,006 %	0,006 %
600 m	0,001 %	0,001 %

Aus Tabelle 12 ist ersichtlich, dass der Prozentsatz kontaminierter Körner in der ersten Reihe über alle Distanzen geringer war als tiefer im Feld.

Tabelle 12: Prozentsatz kontaminierter Körner je Reihe

Reihe im Empfängerfeld	**Auskreuzungsrate**
1. Reihe, in allen Empfängerfeldern (100-600 m entfernt)	0,496 %
2. Reihe	0,482 %
3. Reihe	0,537 %
4. Reihe	0,653 %
5. Reihe	0,690 %
6. Reihe	0,658 %

Bewertung der Studie und Anmerkungen

Die Auskreuzungsrate war in den Empfängerfeldern in den ersten Reihen bei allen Distanzen am niedrigsten und nahm in den hinteren Reihen zu. Die Reihe männlicher Pflanzen wirkte also zunächst als Pollenbarriere, deren Effekt jedoch mit wachsender Distanz abnahm. In den ersten Reihen ist die Pollenkonkurrenz hoch, d.h. der ungewollte Pollen tritt in einer geringen Menge auf.

Im Vergleich zu einem kommerziellen Maisanbau muss die Pollenquelle als klein bewertet werden. Bei einer größeren Pollenquelle können die Auskreuzungsraten gerade über größere Distanzen hinweg höher ausfallen.

Da indische Normen für Saatgutzertifizierung die Anzahl kontaminierter Kolben betrachten und als Schwellenwert 0,5 % kontaminierte Kolben akzeptieren und bei 600 m immer noch 0,42 % der Kolben Körner anderer Kornfarbe enthielten, fordern Narayanaswarmy et al. (1997) einen Isolationsabstand von 600 m bei Hybridmais mit unterschiedlicher Kornfarbe und –textur.

2.2.3 Analyse und Fazit

Die Datenlage zu Einkreuzungsraten bei Mais ist weitgehend unbefriedigend. Zwar haben im Zuge der Hybridsaatgutproduktion einige großflächige Versuche in den USA und in Indien statt gefunden. Für Europa und speziell für Deutschland gibt es keine qualitativ guten Untersuchungen, um fundiert Isolationsabstände für einen Anbau von gentechnisch verändertem Mais abzuleiten.

Die Untersuchungen, die für Auskreuzungsdistanzen bei Mais für eine Auswertung zur Verfügung stehen, wurden unter unterschiedlichsten, aber jeweils sehr begrenzten Versuchsbedingungen durchgeführt. Sie spiegeln nicht die Vielzahl der real möglichen Anbauszenarien wieder und lassen oft keine Übertragung von kleinflächigen Versuchsverhältnissen auf den großflächigen Anbau zu. Für viele Daten fehlen darüber hinaus Informationen zu den Erhebungsbedingungen, so dass ihre Relevanz nicht abschließend zu beurteilen ist.

Faktoren, die Auskreuzung bei Mais beeinflussen können, sind vor allem:

- Größe der Pollenquelle
- Sorteneffekte
- Windverhältnisse und Witterung
- Pollenbarrieren
- Klima

Für den Vorschlag des Öko-Instituts e.V. für Isolationsabstände beim kommerziellen Anbau und für die Saatgutproduktion in Deutschland wurden vor allen Dingen die Untersuchungen von Burris (2001), Henry et al. (2003) und Jones & Brooks (1950) herangezogen, weil die Feldgrößen einem kommerziellen Anbau nahe kommen und weil alle drei Studien Wiederholungen über drei Jahre aufweisen.

Die anderen, in der Tabelle aufgeführten Untersuchungen wurden unterstützend herangezogen, wobei hohen Auskreuzungsdistanzen im Sinne des Vorsorgeprinzips starkes Gewicht gegeben wurde. So berichtet Lieber (1993) von einer Auskreuzungsrate von 4,8 % bei 200 m. Die Versuchsbedingungen sind allerdings nicht klar. Die Untersuchungen von Salamov (1940) erbrachten in einer Entfernung von 800 m eine Auskreuzung von 0,21 %. Die Arbeit ist im Original allerdings auf Russisch erschienen und im Leihverkehr nicht erhältlich. Die Ergebnisse von Salamov (1940) sind nach Jones & Brooks (1950) zitiert.

Bei einigen Untersuchungen war die Pollenquelle schlicht zu klein, als dass die Ergebnisse für Isolationsabstände relevant sein könnten (z. B. Bateman 1947; Paterniani & Stort 1974).

Nach den begleitenden Untersuchungen der „Farm Scale Evaluations“ in Großbritannien durch Henry et al. (2003) nahmen die Auskreuzungsraten in Entfernungen bis 20 m zwar zunächst schnell ab. Bei Entfernungen von mehr als 20 m ging die Zahl der Auskreuzungsereignisse aber nur noch sehr langsam zurück. Zum Teil wurden bei einer Entfernung von 200 m Einkreuzungsraten zwischen 0,42 % bis 0,14 % gefunden. In einer

weiteren Untersuchung wurde noch in einer Entfernung von 650 m von der Quelle eine Einkreuzungsrate von 0,14 % festgestellt. In ihrer Einschätzung halten Henry et al. (2003) die von der verantwortlichen Industrievereinigung SCIMAC („Supply Chain Initiative on Modified Agricultural Crops“) vorgeschlagenen Abstandswerte von 80 m zu konventionellem Mais und sogar die 200 m zu biologisch angebautem Mais für unzureichend.

Sicherheitsabstände für die Saatgutproduktion betragen derzeit in der EU mindestens 200 Meter, was eine Reinheit von 99,5-99,9 % gewährleisten soll (Ingram et al. 2000). Bei diesem Abstand betrug die Auskreuzung bei Burris (2001) allerdings noch 1,11 % und bei Jones & Brooks (1950) noch 2,47 %. Um eine Auskreuzungsrate von unter 1 % zu garantieren, schlägt das Öko-Institut e.V. deshalb 500 m vor. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass dieser Wert bei verbesserter Datenlage korrigiert werden muss.

Die Isolationsabstände gelten für den kommerziellen Maisanbau wie für die Hybridsaatgutproduktion. Da es um Isolationsabstände für Auskreuzungsraten geht, gelten sie natürlich genauso für Silomais. Ingram (2000a,b) schlägt für Silomais geringere Isolationsabstände vor, da nicht nur die Körner verwendet werden und mögliche Auskreuzungen deshalb verdünnt werden.

Um eine Auskreuzung von < 0,5 % zu gewährleisten müssten Abstände von mindestens 1000 m eingehalten werden. Die Ergebnisse von Burris (2001), Jones & Brooks (1950) und Henry et al. (2003) verweisen darauf, dass eine geringe Rate der Auskreuzung über weite Distanzen konstant erhalten bleibt. Ein Isolationsabstand, der eine Auskreuzung von < 0,1 % gewährleisten könnte, kann aus der mangelhaften Datenlage nicht abgeleitet werden.

2.3 Rüben

Die Zucker- und Futterrübe (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris*) ist eine zweijährige Kulturpflanze. In Deutschland wurden 2003 auf circa 446 tsd. ha Zucker- und Futterrüben angebaut. Die Erntemenge betrug etwa 23,7 Mio. t (Statistisches Bundesamt 2004).

Zucker- und Futterrüben blühen normalerweise erst im zweiten Jahr. Da Rüben zur Nahrungs- und Futtermittelerzeugung im ersten Jahr geerntet werden, kommen die Pflanzen beim Anbau in der Regel nicht zur Blüte und es wird kein Pollen gebildet. Typischerweise blüht aber ein kleiner Teil der Pflanzen schon im ersten Jahr, sogenannte „Schosser". Im Durchschnitt sind dies weniger als 1 %, in Abhängigkeit von den Umweltbedingungen und von der Sorte (Ingram 2000b). In Feldern, welche mit Saatgut aus südosteuropäischer Produktion bestellt wurden, trat ein ungewöhnlich hoher Anteil von 0,8 % an Schossern auf (Soukup & Holec 2003). Schosser, sowie Pflanzen, die zur Samenproduktion angebaut werden, produzieren Pollen. Da sich die männlichen Blüten der Rüben zuerst entfalten sind Rüben meist fremdbestäubt (Düll & Kutzelnigg 1994). Zudem tritt oft eine Selbstinkompatibilität auf (Gerdemann-Knörck & Tegeder 1997).

Die Pollenausschüttung einer einzelnen Pflanze kann sich über den Zeitraum von zwei Wochen erstrecken (Rothmaler 1990). Hauptsächlich wird der Pollen durch Wind, zum Teil jedoch auch durch Insekten transportiert (Gerdemann-Knörck & Tegeder 1997). Normalerweise bleibt der Pollen länger als einen Tag befruchtungsfähig. Unter kalten und trockenen Bedingungen kann er 50 Tage befruchtungsfähig bleiben, überlebt allerdings nicht länger als einen Tag nasse Bedingungen (Treu & Emberlin 2000).

Bei Rüben treten ruderale Rübenbestände als Wildpopulationen auf. Diese können als Unkrautrüben Probleme verursachen. Die Samenbank für Rüben im Boden ist reich und Rübensamen können bis zu 10 Jahre überdauern. In manchen Gebieten kann für Rüben eine fast flächendeckende Verbreitung von Unkrautrüben festgestellt werden, die schwer zu kontrollieren sind (Eastham & Sweet 2000)[3]. Deshalb gelten auch hier die Überlegungen, die bereits für Raps angestellt wurden, dass diese verwilderten Pflanzen leicht Gene weitergeben und als Genpool dienen können. Bei Zucker- und Futterrüben kann zudem eine Einkreuzung in verwandte Arten erfolgen, die auch Nutzpflanzen darstellen, zum Beispiel von der Zuckerrübe *Beta vulgaris* ssp. *vulgaris* var. *altissima* zu Schnittmangold *Beta vulgaris* ssp. *vulgaris* var. *cicla*, zu Blattmangold *B. vulgaris* ssp. *vulgaris* var. *flavescens*, zu Rote Bete *B. vulgaris* ssp. *vulgaris* var. *vulgaris*, zu Gelbe Bete *B. vulgaris* ssp. *vulgaris* var. *lutea* und zu Futterrüben *B. vulgaris* ssp. *vulgaris* var. *crassa* (Hoffmann & Köhler 2000, Gerdemann-Knöck & Tegeder 1997).

Wie bei Raps und Mais auch, gibt es auch bei Rüben vor allem Untersuchungen zum Polenflug und zum potentiellen Gentransfer. An Tagen mit hoher Pollenausschüttung konnte

[3] In der Züchtung werden diploide und tetraploide Rüben zur Produktion von diploide, triploide und tretraploide Sorten verwendet. Die Rate der Hybridisierung zwischen Wildrüben und Zuchtrüben hängt auch von dem Ploidiegrad der Zuchtrüben ab. Da die Datenlage zur Auskreuzung von Rüben aber generell schlecht ist, wird dieser Unterschied im weiteren nicht beachtetet.

in einer Distanz von 700 m noch 2 % der ursprünglichen Pollenmenge detektiert werden, in einem Fall bei 800 m sogar noch 6 % der ursprünglichen Pollenmenge (Treu & Emberlin 2000). Pollen kann aber auch noch nach 4-5 km nachgewiesen werden (Smith 1980).

2.3.1 Tabellarische Zusammenstellung der Studien

Literaturquelle	Beteiligte Institutionen	Ort & Zeitraum	Quelle (Größe, Form, Sorte)	Empfänger (Größe, Form, Sorte)	Pollentransportmittel & Umgebungsstruktur	Nachweismethode der Auskreuzung	Auskreuzungsrate	Weiteste gemessene/ gefundene Entfernung	Sonstiges
Bartsch D, Wehres U, Göddecke U & Gathmann A (2003): Introduction to field trial data of crop to weed beet gene flow. GMCC-03- GM Crops and Co-existence, 13th to 14th November 2003.	Center for Genetechnology, Robert Koch Institut, Berlin; Chair of Biology V (Ecology, Ecotoxicology, Ecochemistry, RWTH Aachen, Aachen	Deutschland, 2001	Hemizygote Unkraut-Rüben 800 m2; 656 Planzen	31 Rüben-Schosser innerhalb eines 3,6 ha großen Feldes maximaler Abstand zur Quelle 500 m	k. A.	k. A.	<500 m 0,7 %	<500 m / <500 m	Versuchsdesign nur lückenhaft beschrieben
Jensen I & Bogh H (1942): On conditions influencing the danger of crossing in the case of windpollinating cultivated plants. Tidsskrift for Planteavl 46:238-266. (English summary)	Meddelelse fra Den kgl. Veterinaer- og Landbohojskole, Landbrugets Plantedyrkning	k. A.	Zuckerrübe	Futterrübe	k. A.	k. A., vermutlich optisch	200-400 m: 0,42 % 400-600 m: 0,11 % 600-800 m: 0,12 %	k. A.	
Madsen KH (1994): Weed Management and Impact on Ecology of Growing Glyphosate Tolerant Sugarbeets (*Beta vulgaris*). PhD dissertation, the Royal Veterinary and Agricultural University, Denmark. Zitiert in Van Raamsdonk & Schouten	Royal Veterinary and Agricultural University, Denmark	k. A.	Rote Beete (*Beta vulgaris* var. *conditiva*)	*Beta vulgaris* ssp. *maritima*	k. A.	k. A., vermutlich optisch	9,4 m: 3,6 % 75 m: 0,06-0,31 %	k. A.	
Saeglitz C, Pohl M & Bartsch D (2000): Monitoring gene flow from transgenic sugar beet using cytoplasmic male-sterile bait plants. Molecular Ecology 9(12): 2035-2040.	Department of Biology V, Ecology. Ecochemistry and Ecotoxicology, Aachen University of Technology, Aachen; TÜV-Hannover/Sachsen-Anhalt e.V. Division of Energy and Systems Technology, Services in Biotechnology, Hannover; KWS Saat AG, Einbeck; BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung	Aachen Deutschland 1998	Gv-Linie mit coat protein des beet necrotic yellow vein virus (cpBNYVV gene), Kanamyzin-Resistenz und Phosphinothricin-Toleranz 30 Pflanzen	Männlich-sterile Pflanzen 56 Pflanzen Hanfbarriere in 9-14 Meter Abstand	Wind, ferner eventuell Insekten 50 Meter westlich der Quelle wuchsen 60 Pflanzen von *Beta vulgaris* ssp. *maritima* als Pollenkonkurrenz Nächstgelegene Zuckerübenfeld in über 1 km Entfernung	Überprüfung der Keimlinge auf Phosphinothricin-Toleranz (mit Liberty) Bestätigung durch PCR & ELISA	9 m: 8-83 % 14 m: 23-75 % 50 m: 0-23 % 100 m: 0-9 % 200 m: 0-40 % 300 m: 0 %	300 m / 200 m	Kleine Quelle
Vigouroux Y, Darmency H, Gestat de Garambe T & Richard-Molard M (1999): Gene flow between sugar beet and weed beet. In: Lutmann PJW (1999): Gene Flow and Agriculture: Relevance for Transgenic Crops. BCPC Symposium Proceedings No. 72, 83-88.	Laboratoire de Malherbologie, INRA, Dijon, France Institut Technique de la Betterave, Paris, France	Frankreich, 1996	a) 58 Schosser einer transgenen Hybridlinien mit Glufosinat-Resistenz, innerhalb eines 1 ha Feldes b) Vier rot pigmentierte Zuckerrübe auf 0,2 m^2 (homozygot)	a) 127 spontan entstandene Unkrautpflanzen im Nordosten der Quelle sowie je fünf plots mit männlich-sterilen Rüben in der Mitte der Quelle, in 30, 90 und 210 m Abstand zur Quelle Richtung Nordosten b) Von der Quelle in 9 Richtungen je eine Unkrautpflanze in 3, 6, 9,12 und 15 m Abstand (insgesamt 45 Pflanzen)	Wind, ferner eventuell Insekten	a) Überprüfung der Keimlinge auf Glufosinat-Toleranz (Liberty) b) Überprüfung auf rote Pigmentierung	a) Unkrautpflanzen: 77-96 m 0,8 % männlich-sterile: 0 m: 2,9 % 30 m: 0,08 % 90 m: 0 % 210 m: 0,08 % b) rote Pigmentierung: 3 m: 10,7 % 6 m: 7,1 % 9 m: 1,0 % 12 m: 0,8 % 15 m: 1,3 %	210 m / 210 m	An die südwestliche Grenze des transgenen Zuckerrübenfeldes wurden 200 Unkrautpflanzen als Pollenkonkurrenten gesetzt

2.3.2 Wichtigste Studien

Literaturquelle

Bartsch D, Wehres U, Göddecke U & Gathmann A (2003): Introduction to field trial data of crop to weed beet gene flow. GMCC-03- GM Crops and Co-existence, 13th to 14th November 2003.

Beteiligte Institutionen

Center for Genetechnology, Robert Koch Institut, Berlin;Chair of Biology V (Ecology, Ecotoxicology, Ecochemistry, RWTH Aachen

Versuchsdesign

Die Versuche wurden 2001 in Aachen durchgeführt. Als Quellenpopulation dienten 656 hemizygote Unkrautrübenpflanzen, die auf einer Fläche von 800 m^2 angepflanzt wurden. 31 Rübenschosser die innerhalb eines 3,6 ha großen Feldes mit maximaler Abstand von 500 m zur Quelle standen, wurden als Pollenempfänger verwendet.

Ergebnisse

Es wurden 0,7 % gentechnisch veränderte Nachkommen aus Samen der Schosser ermittelt. Die Auskreuzungsrate in bis zu 500 m Entfernung betrug in etwa 1,3 %, da die Quellpopulation hemizygot bezüglich der gentechnischen Verändern war.

Bewertung der Studie und Anmerkungen

Das Versuchsdesign wird in der Studie nur lückenhaft beschrieben. Daher ist eine Bewertung der Ergebnisse nur bedingt möglich. Zum Beispiel finden sich keine Angaben zur vorherrschenden Windrichtung, zu Bestäubern oder sonstigen in der Umgebung gelegenen Zuckerrübenfeldern oder Wildpopulationen von *Beta vulgaris*. Ferner können die Ergebnisse dieser Auskreuzungsversuchen mit Unkrautrübenpflanzen in Zuckerrüben nicht direkt auf Auskreuzungen die zwischen verschiedenen Zuckerrübenfeldern stattfinden übertragen werden. Nichtsdestotrotz gibt die ermittelte Auskreuzungsrate von 1,3 % in bis zu 500 m Entfernung einen ungefähren Eindruck der zu erwartenden Auskreuzungsraten bei Rüben

Literaturquelle

Saeglitz C, Pohl M & Bartsch D (2000): Monitoring gene flow from transgenic sugar beet using cytoplasmic male-sterile bait plants. Molecular Ecology 9 (12): 2035-2040.

Beteiligte Institutionen

Department of Biology V, Ecology. Ecochemistry and Ecotoxicology, Aachen University of Technology, Aachen; TÜV-Hannover/Sachsen-Anhalt e.V. Division of Energy and Systems Technology, Services in Biotechnology, Hannover; KWS Saat AG, Einbeck; BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung

Versuchsdesign

Die Versuche wurden 1998 bei Aachen durchgeführt. Als Pollenquelle dienten 30 Pflanzen einer gentechnisch veränderten Zuckerrübenlinie mit einem für das Hüllprotein des „Beet Necrotic Yellow Vein Virus“ codierenden Gen (cpBNYVV gene), sowie Genen, die für Kanamyzin-Resistenz und Phosphinothricin-Toleranz codieren. Als Empfängerpopulation wurden insgesamt 56 Pflanzen männlich-sterile Pflanzen verwendet. Sie befanden sich in Gruppen à 12 Pflanzen in 9 und 14 m Entfernung, sowie in acht Himmelsrichtungen je eine Pflanze in 50, 100, 200 und 300 m Entfernung. Eine Hanfbarriere wurde in 9-14 m Abstand angelegt.

Die aus den Samen der Empfängerpflanzen gezogenen Keimlinge wurden auf Phosphinothricin-Toleranz (mit Liberty) überprüft. Eine Bestätigung fand durch PCR- und ELISA-Methoden statt.

50 m westlich der Quelle wuchsen 60 Pflanzen von *Beta vulgaris* ssp. *maritima* als Pollenkonkurrenz. Das nächstgelegene Zuckerrübenfeld lag in über 1 km Entfernung vom Versuchsfeld.

Ergebnisse

Es wurden folgende Auskreuzungsraten ermittelt: Im Abstand von 9 m 8-83 %, in 14 m 23-75 %, in 50 m 0-23 %, in 100 m 0-9 %, in 200 m 0-40 % und in 300 m 0 %.

Der Pollentransport wurde auf Wind zurückgeführt, es wurden aber auch Insekten als Pollenüberträger vermutet.

Bewertung der Studie und Anmerkungen

Die Studie verdeutlicht, dass auch in Entfernungen von mehreren hundert Metern mit hohen Auskreuzungsraten gerechnet werden muss. Ferner ist bemerkenswert, dass in 200 m Entfernung bis zu 40 % Auskreuzung sogar entgegen der vorherrschenden Windrichtung stattfinden konnten. Auch die Wirkung der zur Vermeidung von Auskreuzungsereignissen angelegten Hanfbarriere scheint äußerst begrenzt gewesen zu sein.

Literaturquelle

Vigouroux Y, Darmency H, Gestat de Garambe T & Richard-Molard M (1999): Gene flow between sugar beet and weed beet. In: Lutmann, PJW (1999): Gene Flow and Agriculture: Relevance for Transgenic Crops. BCPC Symposium Proceedings No. 72: 83-88.

Beteiligte Institutionen

Laboratoire de Malherbologie, INRA, Dijon, FranceInstitut Technique de la Betterave, Paris, France

Versuchsdesign

Die Studien wurden in 1996 in Frankreich durchgeführt. Es wurden zwei unterschiedliche Quellen für Auskreuzungsereignisse untersucht:

a) Als Quelle dienten 58 zufällig entstandene Schosser einer transgener Zuckerrüben-Hybridlinien, die auf einem Feld von 1 ha Größe angebaut wurden. Die Hybridlinie zeichneten sich durch eine Gluphosinat-Resistenz aus, die heterozygot vorlag. Von den 58 Schossern waren allerdings nur 29 tatsächlich resistent. Als Empfänger dienten 127 spontan entstandene Unkrautpflanzen auf einer im Nordosten der Quelle angrenzenden Brachfläche, sowie je fünf Blöcke mit männlich-sterilen Zuckerrüben in der Mitte der Quelle, in 30, 90 und 210 m Abstand zur Quelle in Richtung Nordosten. Als Pollenkonkurrenten dienten zehn Gruppen à 20 Unkrautrübenpflanzen, die an die südwestliche Grenze des Feldes gepflanzt wurden. Die Samen der Empfängerpflanzen wurden zur Keimung gebracht und auf Glufosinat-Resistenz mit dem Herbizid Liberty geprüft.

b) Im zweiten Versuchsteil dienten vier rot pigmentierte (homozygot) Zuckerrübe auf 0,2 m^2 Fläche als Pollenquelle. Von dieser zentralen Quelle aus wurden Auskreuzungen in Unkrautpflanze in 9 Richtungen untersucht, wobei sich je eine Pflanze in 3, 6, 9,12 und 15 m Abstand befand (insgesamt 45 Pflanzen). Die Samen der Empfängerpflanzen wurden zur Keimung gebracht und auf die rote Pigmentierung hin überprüft.

An die südwestliche Grenze des transgenen Zuckerrübenfeldes wurden 200 Unkrautpflanzen als Pollenkonkurrenten gesetzt. Die vorherrschende Windrichtung war aus Südwesten.

Ergebnisse

Die Auskreuzung in Unkrautpflanzen betrug in 77-96 m Entfernung 0,8 %. Dieses Ergebnis wurde aus dem Anteil herbizidresistenter Nachkommen der Unkrautpflanzen errechnet, wobei Berücksichtigung fand, dass vermutlich nur 25 % des Pollens der Schosser tatsächlich eine Herbizidresistenz vermittelten. Die Auskreuzung in männlich-sterile Zuckerrüben-Pflanzen betrug in 0 m Entfernung 2,9 %, in 30 m 0,08 %, in 90 m 0 % und in 210 m wieder 0,08 %. Dabei entsprachen 0,08 % einem nachgewiesenem herbizidresistentem Individuum.

Die Auskreuzungsrate der Zuckerrüben in Unkrautrüben im zweiten Versuchsteil wurde in 3 m mit 10,7 %, in 6 m mit 7,1 %, in 9 m mit 1,0 %, in 12 m mit 0,8 %und in 15 m mit1,3 % ermittelt.

Als weiteres Ergebnis aus der Studie wurde aus der Verteilung der Auskreuzungsereignisse über die Fläche geschlossen, dass neben dem Wind vermutlich auch Insekten eine wichtige Rolle bei der Bestäubung von Rüben spielen.

Bewertung der Studie und Anmerkungen

Die Studie ist für die Festlegung von Isolationsdistanzen zwischen transgenen und konventionellen Rapsfeldern nur bedingt verwendbar, da lediglich Auskreuzungen in Unkrautpopulationen und männlich-sterile Empfängerpflanzen untersucht wurden. Trotzdem können die Ergebnisse eine ungefähre Vorstellung davon geben, mit welcher Auskreuzungshöhe aus Schosser im Anbau oder in der Saatgutproduktion zu rechnen ist. Sie zeigen, dass auch bereits beim Auftreten weniger Schosser innerhalb eines 1 ha großen Feldes Auskreuzungen von etwa 0,8 % bis in 100 m Entfernung auftreten. Da die Pollenkonkurrenz in der Studie durch die 200 angepflanzten Unkraut-Rapspflanzen sehr hoch war, ist ferner davon auszugehen, dass die Werte gegebenenfalls höher liegen können. Auch die aus den Ergebnissen abgeleitete Vermutung, dass Insekten einen wichtigen Beitrag zur Bestäubung von Rüben liefern, bietet wertvolle Anhaltspunkte für die Festlegung von Isolationsabständen.

2.3.3 Analyse und Fazit

Rübenpollen kann im bestäubungsfähigen Zustand bis über 1.000 Meter gelangen. In der Saatgutproduktion von Rübensamen werden zur Zeit 1.000 m als Isolationsabstand zu allen Beta-Arten vorgeschrieben.

Bei Zucker- und Futterrüben betrugen die in den „Farm Scale Evaluations“ vorgeschlagenen Abstandsauflagen der SCIMAC 600 m zu Feldern mit zertifiziertem Rübensaatgut und zu ökologisch kultivierten Rüben und 6 m zu konventionellen Rübenfeldern (http://www.ukasta.org.uk/scimac/guidelines.pdf). In kleinräumigen Freisetzungsversuchen in Europa wird kein Sicherheitsabstand angegeben, da die Pflanzen kontrolliert und Schosserpflanzen entfernt werden (B/SE/03/6371, B/FR/03/01/02 und B/FR/03/01/03; http://gmoinfo.jrc.it).

Die 6 m Abstand in den „Farm Scale Evaluations“ wurden nicht zur Vermeidung von Auskreuzung angegeben, sondern um Platz für landwirtschaftliche Maschinen beim separaten Ernten zu gewährleisten (Agriculture und Environment Biotechnology Commission 2003).

Die meisten Studien zu Auskreuzungsereignisse von Zuckerrüben beziehen sich auf Kreuzungsmöglichkeiten mit Wildpopulationen und verwandte Beta-Arten. Auskreuzungsdistanzen werden dabei zumeist nicht genannt. Bartsch et al. (2003) ermittelten die Höhe von Auskreuzungsereignissen von Unkrautrübenpopulationen in Schosser eines Zuckerrübenfeldes. Sie betrug 1,3 % bei einer Entfernung bis 500 m. Die Ergebnisse können zwar nicht direkt auf die Auskreuzungssituation zwischen zwei Zuckerrübenfelder übertragen werden, können aber erste Anhaltspunkte für die Ermittlung von Isolationsdistanzen geben. In den Studien von Vigouroux et al. (1999) und Saeglitz et al. (2000) wurden Auskreuzungen von Zuckerrüben in männlich sterile Zuckerrüben untersucht. Noch in Distanzen von 200 m wurden Auskreuzungen nachgewiesen, die in der Studie von Saeglitz et al (2000) sogar bis zu 40 % betrugen. Bislang wurden keine Studien veröffentlicht, in denen die Auskreuzungsrate zwischen verschiedenen Zuckerrübenfeldern unter realen Anbaubedingungen ermittelt wurde. Die oben erwähnten Studien zeigen lassen jedoch vermuten, dass mit vergleichsweise hohen Einkreuzungsraten noch in größeren Entfernungen zu rechnen ist. Exakte, wissenschaftlich abgesicherte Angaben sind jedoch aufgrund der mangelhaften Datenlage nicht möglich.

Die Europäische Umweltbehörde hat die Auskreuzungsfrequenz für Rüben wegen des weiten Pollenfluges in die Kategorie mittel bis hoch eingestuft. Andere Stellen haben deshalb Isolationsabstände beim Anbau von gentechnisch veränderten Rüben zu Feldern mit Saatgutproduktion von 2.000 m vorgeschlagen (Danish Wokring Group on Co-existence 2003, FiBL 2003).

Eine Festlegung für Isolationsabstände für Rüben ist also nicht abschließend diskutiert. In jedem Fall müssen Isolationsabstände von mindestens 1.000 Metern in Gebieten auferlegt werden, in denen Saatgut von Futter- und Zuckerrüben produziert wird. Auch in der Nähe von Gärtnereien und Kleingartensiedlungen sollten wegen der Auskreuzungsmöglichkeit auf

andere Beta-Arten Isolationsabstände vorgesehen werden, da sowohl in Gärtnereien als auch von Kleingärtnern teilweise Samenbau betrieben wird.

Wichtiger ist es allerdings angesichts der geringen Datenlage, dass eine strenge Schosserkontrolle durchgeführt wird, damit es nicht zu Pollenbildung bei gentechnisch veränderten Rüben kommt. Es ist unbedingt erforderlich, dass Auskreuzung auf ruderale Rüben, Samenbildung und Durchwuchs von gentechnisch veränderte Rüben unterbunden wird. Die Frequenz der Schosserkontrolle und eine Dokumentation sollten vorgeschrieben werden.

2.4 Kartoffeln

Die Kartoffel (*Solanum tuberosum* L.) ist eine krautige, knollenbildende Kulturpflanze. In Deutschland betrug die Anbaufläche 2003 circa 287 tsd. ha, die Erntemenge etwa 9,9 Mio. t (Statistisches Bundesamt 2004).

Die Kartoffelpflanze ist vorwiegend selbstbestäubend. Plaisted (1980) beziffert den Anteil an Fremdbestäubung mit bis zu 20 %. Der Anteil kann jedoch in Abhängigkeit von der Sorte und den Umweltbedingungen auch deutlich höher sein (McPartlan & Dale 1994, Skogsmyr 1994). Die Bestäubung der nektarlosen Blüten erfolgt durch Insekten und Wind. Vor allem Hummeln (*Bombus* spec.), Schwebfliegen (Syrphidae) und verschiedene Käferarten wie der Rapsglanzkäfer (*Meligethes aeneus)* und der Kartoffelkäfer (*Leptinotarsa decemlineata*) besuchen Kartoffelblüten (OECD 1997, Neuroth 1997, Becker et al. 2000). Hinsichtlich der Anzahl der gebildeten Blüten und Beeren unterscheiden sich die verschiedenen Sorten sehr stark (EVA 2004). Einige Kartoffelsorten bilden im Anbau gar keine reifen Früchte aus (Gopal 1993).

Kartoffelsamen können potentiell über Jahrhunderte keimfähig bleiben (Düll & Kutzelnigg 1994). In der Züchtung werden neue Kartoffelsorten aus Samen entwickelt. Im Anschluss werden Knollen mit den erwünschten Eigenschaften vegetativ zur Herstellung des Pflanzguts vermehrt.

Die in Deutschland angebauten Kartoffelsorten sind frostempfindlich. Über mehrere Tage andauernde Temperaturen unter etwa –3°C, führen zum Absterben der Knolle (Chen & Li 1980). Nicht geerntete Kartoffeln können daher in Deutschland nur in wenig frostgefährdeten Böden oder Bodenschichten überwintern. Kartoffelsamen weisen hingegen sowohl trocken, als auch in gequollenem Zustand eine sehr hohe Frosttoleranz bis –15°C auf. Junge Keimlinge werden jedoch bereits durch wenige Tage andauernde Temperaturen unter etwa -3°C abgetötet (Becker & Ulrich 1999). Aus Schottland und England liegen Studien vor, in denen von einem hohen Aufkommen von Durchwuchspflanzen aus Kartoffelsamen in Folgekulturen berichtet wird (King 1974; Lawson 1983). Durchwuchs tritt ansonsten vor allem in Form von Knollen auf, die nach der Ernte im Boden verblieben sind. Es können 10-30 Tausend Knollen je Hektar im Boden verbleiben, wobei die Überlebenswahrscheinlichkeit der Knollen stark von der Feldbearbeitung und den Witterungseinflüssen abhängig ist (Neuroth 1997).

An ruderalen Standorten kann es nach Oberdorfer (1994) gelegentlich zur Verwilderung der Kartoffel kommen. In den Niederlanden und England treten Kartoffelpflanzen gelegentlich außerhalb der Ackerflächen auf. Sie können sich dort aber nur eine begrenzte Zeit lang an Standorten wie Wegrändern, Ruderalflächen, Hängen oder Kanalufern etablieren (DeVries et al. 1992, Stace 1992).

2.4.1 Tabellarische Zusammenstellung der Studien

Literaturquelle	Beteiligte Institutionen	Ort & Zeitraum	Quelle (Größe, Form, Sorte)	Empfänger (Größe, Form, Sorte)	Pollentransportmittel & Umgebungsstruktur	Nachweismethode der Auskreuzung	Auskreuzungsrate	Weiteste gemessene/ gefundene Entfernung	Sonstiges
Conner AJ (1993): Monitoring "escapes" from field trials of transgenic potatoes: A basis for assessing environmental risks. In: Seminar on Scientific Approaches for the Assessment of Research Trials with Genetically Modified Plants, Jouy-en-Josas, France, April 1992. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris. Pp.34-40	DSIR Crop Research, Private Bag, Christchurch, New Zealand , Auftraggeber: Ministry of Research, Science and Technology (Wellington NZ)	Neuseeland, 1989/1990	k. A. verschiedene transgene Linien mit Herbizidresistenz der Sorte „Iwa"	k. A. Sorte: „Iwa"	k. A.	Überprüfung der Samen / Keimling auf Chlorsulfuron-Resistenz, Bestätigung durch Überprüfung von β-Glucuronidase Aktivität; Samen aus reifen, handgepflückten Beeren	0 m: 0,05 % 0-3 m: 0,000 % 3-9 m: 0,008 % 10 m: 0,000 %	10 m / 6 m	
McPartlan HC & Dale PJ (1994): An assessment of gene transfer by pollen from field-grown transgenic potatoes to non-transgenic potatoes and related species. Transgenic Research 3: 216-225	John Innes Centre, Norwich, UK, Viktoria Institute of Animal Science, Attwood, Viktoria, Australien EEC Biotechnology Action Programme, BRIDGE Programme, PROSAMO;Ciba Geigy plc, DuPont Ltd., Hoechst AG, Monsanto Europe, Unilever Ltd. etc.	Cambridge, UK, 1989 Witterung warm und trocken, Bewässerung	~320 m^2 (20m x 20 m, -enthalten sind darin jedoch auch nicht transgene Felder) 752 Pflanzen Reihenabstand: 83 cm Pflanzenabstand: 50 cm acht verschiedene transgene Stämme mit Herbizidresistenz der Sorte „Désirée"	Insgesamt 4 Felder (vermutlich je 8m x 4 m) zu jeder Seite der Quelle in 10 und 20 m Abstand 576 Pflanzen Zudem 2 Felder (etwa 3,3 m x 6,6 m) und 12 Teilreihen innerhalb der Quelle 208 Pflanzen Sorte „Désirée"	Bestäubung vermutlich durch Hummeln und Wind Umgebung: Brache bis in 15 Meter Entfernung um gesamten Versuch, außerhalb Anbau von Gerste und Senf.	Überprüfung der Samen / Keimling auf Kanamycin-Resistenz in vitro, Bestätigung durch Nachweis der *nptII* und *gus* Gene durch PCR und Southern-Blot Analysen; Samen aus reifen, eingetüteten Beeren	0 m: 23,1-28,8 % 0-3 m: 0,4-2,6 % 10 m: 0-0,08 % 20 m: 0 %	20 m / 10 m	
Skogsmyr I (1994): Gene dispersal from transgenic potatoes to conspecifics: a field trial. Theoretical and Applied Genetics 88: 770-774	Theoretical ecology, Lund, Schweden Amylogene HB, OECD	Svalöv, Schweden, 1991	121 m^2 (etwa 700 Pflanzen) transgene Linie mit Herbizidresistenz der Sorte „Désirée"	Bis 1 m das Feld umgebend, dann im Abstand von 1-2 m, 2-3 m, 10 m, 100 m und 1.000 m parallel zu einer Feldseite (Insgesamt 134 m^2). Sorte „Stina" (hohe Blüten- und Beerenbildungsrate)	Rapsglanzkäfer (*Meligethes aeneus)*, Diptera und *Bombus* spec. als Bestäuber Umgebung: Getreide	Überprüfung der Samen / Keimling auf Kanamycin-Resistenz in vitro, Bestätigung durch Nachweis der *nptII* Gene durch PCR; Samen aus reifen Beeren	0-1 m: 72 % 1-2 m: 32 % 2-3 m: 39 % 10 m: 34 % 100 m: 36 % 1.000 m: 31 %	1.000 m / 1.000 m	
Tynan JL, Wiliams MK & Conner AJ (1990): Low frequency of pollen dispersal from a field trial of transgenic potatoes. Journal of Genet. & Breed. 44:303-306	DSIR Crop Research, Christchurch, Neuseeland	Lincoln, Neuseeland, 1988/1989	Reihenabstand: 75 cm Pflanzenabstand: 30 cm Fläche unklar, vermutlich 300 m^2 (22,2m x 13,5m), 160 Pflanzen fünf verschiedene transgene Linien mit Herbizidresistenz der Sorte „CRD Iwa"	Das Feld umgebend bis in 10 m Abstand Sorte „Iwa" („wild type")	k. A.	Überprüfung der Samen / Keimling auf Chlorsulfuron-Toleranz und β-glucuronidase in vitro; Samen aus reifen, handgepflückten Beeren	0 m: 1,14 % 0-1,5 m: 0,03 % 1,5-3,0 m: 0,05 % 3,0-4,5 m: 0,05 % 4,5-10 m: 0,00 %	10 m / 4,5 m	Sorte mit sehr niedriger Fremdbestäubungsrate. Genaue Versuchsanordnung unklar. „Mischprobe" aus fünf transgenen Linien

2.4.2 Wichtigste Studien

Literaturquelle

McPartlan HC & Dale PJ (1994): An assessment of gene transfer by pollen from field-grown transgenic potatoes to non-transgenic potatoes and related species. Transgenic Research 3: 216-225.

Beteiligte Institutionen

John Innes Centre, Norwich, UK; Viktoria Institute of Animal Science, Attwood, Viktoria, Australien; EEC Biotechnology Action Programme; BRIDGE Programme; PROSAMO; Advanced Technologies (Cambridge) Ltd.; Agricultural Genetics Company; Ciba Geigy plc; DuPont (UK) Ltd.; Hoechst AG, ICI plc; Monsanto Europe; Plant Genetics Systems, Shell Research Ltd. & Unilever Ltd.

Versuchsdesign

Der Versuch wurde 1989 in der Nähe von Cambridge (UK) bei warmer und trockener Witterung und ausreichender Bewässerung der Felder durchgeführt.

Auf einer Fläche von 20 x 20 m wurden acht verschiedene transgene Linien, die jeweils das *nptII*-Gen (codiert für Kanamyzin-Resistenz) und das *gus*-Gen (codiert für die Sythese von β-Glucuronidase) der Sorte „Désirée“ gesetzt. Der Reihenabstand betrug 83 cm, der Pflanzenabstand 50 cm. Insgesamt wurden 752 transgene Pflanzen verwendet. Innerhalb der 20 x 20 m wurden in bestimmten Bereichen zusätzlich insgesamt 208 nicht gentechnisch veränderte Kartoffelpflanzen der Sorte „Desirée“ gesetzt. Ferner wurden weitere nicht-gentechnisch veränderte „Desirée“-Pflanzen zu jeder Seite der oben beschriebenen Fläche in 10 und 20 m Abstand gesetzt (insgesamt 576 Pflanzen).

Bis in 15 m Entfernung um das gesamte Versuchfeld lag das Land brach, außerhalb dieses Bereichs wurde Gerste und Senf angebaut.

Die Samen wurden aus reifen, nach erfolgter Befruchtung eingetüteten Beeren gewonnen und die Keimlinge auf Kanamycin-Resistenz *in vitro* geprüft. Die Bestätigung erfolgte durch den Nachweis des *nptII*- und des *gus*-Gen durch PCR.

Ergebnisse

Die Auskreuzungsrate bei direkt aneinander grenzenden Kartoffelreihen betrug 23,1-28,8 %. Im Abstand von 0-3 m wurde eine Auskreuzung von 0,4-2,6 % und im Abstand von 10 m von 0-0,08 % gemessen. Im Abstand von 20 m konnte keine Auskreuzung mehr nachgewiesen werden.

Die Bestäubung wird in der Studie auf Hummeln und Wind zurückgeführt.

Bewertung der Studie und Anmerkungen

Die Studie erwähnt, dass sich die acht verwendeten transgenen Stämme in ihrer Fertilität und Auskreuzungsfrequenz im Versuch stark unterschieden. Dies legt den Schluss nahe, dass die Auskreuzungsfrequenzen transgener Kartoffelsorten im Einzelfall deutlich über den in dieser Studie ermittelten Werten liegen können, die gewissermaßen eine „Mischprobe“ darstellen.

Die in dieser Studie ermittelte Einkreuzungsrate von 29 % für den Fall, dass transgene Pflanzen neben konventionellen Pflanzen wuchsen, lässt ferner Rückschlüsse auf die Fremdbefruchtungsrate der verwendeten Kartoffelsorte zu. Sie könnte im Versuch bei über 50 % gelegen haben, da davon auszugehen ist, dass auch Einkreuzung von in der jeweiligen Reihe benachbarten konventionellen Pflanzen stattgefunden hat.

Literaturquelle

Skogsmyr I (1994): Gene dispersal from transgenic potatoes to conspecifics: a field trial. Theoretical and Applied Genetics 88: 770-774.

Beteiligte Institutionen

Theoretical ecology, University of Lund, Schweden; Amylogene HB; OECD

Versuchsdesign

Der Anbau erfolgte 1991 in der Nähe von Svalöv (Schweden). Auf einer Fläche von 121 m^2 wurden etwa 700 Kartoffelpflanzen einer transgenen Linie, die jeweils *nptII*-Gene (codiert für Kanamyzin-Resistenz) und *gus*-Gene (codiert für die Sythese von β-Glucuronidase) enthielten, der Sorte „Désirée“ gesetzt. Konventionelle Pflanzen der Sorte „Stina“ (hohe Blüten- und Beerenbildungsrate) wurden als Empfängerpopulation bis im Abstand von 1 m das Feld umgebend gesetzt, ferner im Abstand von 1-2 m, 2-3 m, 10 m, 100 m und 1000 m parallel zu einer Feldseite (insgesamt 134 m^2). In der sonstigen Umgebung wurde Getreide angebaut.

Die Überprüfung der Samen aus reifen Beeren erfolgte durch Kontrolle der Keimlinge *in vitro* auf Kanamycin Resistenz und eine Bestätigung durch Nachweis der *nptII* Gene mittels PCR.

Ergebnisse

Als Bestäuber wurden in der Studie vor allem der Rapsglanzkäfer (*Meligethes aeneus*) ermittelt, ferner Zweiflügler und Hummeln.

Die Auskreuzungsrate in direkt angrenzende Kartoffelreihen in bis zu einem Meter Entfernung betrug 72 %. Im Abstand von 1-2 m betrug sie 32 %, in 2-3 m 39 %, in 10 m 34 %, in 100 m 36 % und in 1000 m 31 %.

Bewertung der Studie und Anmerkungen

Kritik an den Ergebnissen der Studie wurde von Conner & Dale (1996) geübt. Ihr Hauptkritikpunkt ist, dass die hohen Auskreuzungswerte vermutlich auf falsch-positive Ergebnisse bei der PCR zurückgehen. Laut Conner & Dale (1996) könnten die Samen mit Mikroorganismen infiziert gewesen sein, da diese häufig ebenfalls *nptII*-Gene in ihrem Genom aufweisen.

Allerdings muss darauf hingewiesen werden, dass die Samen von Skogsmyr (1994) zunächst mit 70 %igem Alkohol und danach in einer einprozentigen Chlor-Lösung behandelt wurden. Ferner wurden die Keimversuche unter sterilen Bedingungen durchgeführt, um eine Infektion mit Mikroorganismen zu vermeiden. Falls es sich trotzdem um falsch-positive Ergebnisse bei der PCR handeln sollte, steht dies nicht im Einklang mit den Ergebnissen der Keimungsversuche von Skogsmyr (1994). Unter Beigabe von Kanamyzin keimten nämlich nicht signifikant weniger Samen als in Wasser ohne Kanamyzin.

Allerdings weist dies wiederum darauf hin, dass die Keimversuche mit Kanamyzin keine geeignete Methode zur Unterscheidung zwischen transgenen und nicht-transgenen Samen war, da mitunter nur etwa 30 % der in Kanamyzin gezogenen Keimlinge tatsächlich das *nptII*-Gen enthielten. Vermutlich hätten die Keimlinge länger als drei Wochen in der Kanamyzinlösung gezogen werden müssen. Außerdem ist es möglich, dass der hohe „ungeklärte Infektionsbefall“ der Keimlinge in der Kanamyzinlösung (im Durchschnitt 18 %) zumindest zu einem Großteil auf eine Empfindlichkeit gegenüber Kanamyzin zurück geht und es sich somit bei diesen Keimlingen um nicht-transgene Individuen handelte. Da diese infizierten Keimlinge von der weiteren Untersuchung und Auswertung ausgeschlossen wurden, könnte eine zu hohe Auskreuzungsrate ermittelt worden sein. Allerdings würde dies nur einen geringen Anteil an den hohen Auskreuzungsraten erklären.

Literaturquelle

Tynan JL, Wiliams MK & Conner AJ (1990): Low frequency of pollen dispersal from a field trial of transgenic potatoes. Journal of Genet. & Breed. 44: 303-306.

Beteiligte Institutionen

DSIR Crop Research, Christchurch, Neuseeland

Versuchsdesign

Die Versuche wurden 1988/1989 in der Nähe von Lincoln (Neuseeland) durchgeführt.

Auf einer Fläche von 22,2 x 13,5 m wurden fünf verschiedene transgene Linien, die jeweils das *nptII*-Gen (codiert für Kanamyzin-Resistenz), das *als*-Gen (codiert für Chlorsulfuron-Resistenz) und das *gus*-Gen (codiert für die Sythese von β-Glucuronidase) der Sorte „CRD Iwa“ gesetzt. Insgesamt wurden 160 transgene Pflanzen verwendet. Der Reihenabstand betrug 75 cm, der Pflanzenabstand 30 cm. Das Versuchsfeld umgebend wurden bis in 10 m Abstand Reihen der Elternsorte „Iwa“ gesetzt.

Die aus reifen, handgepflückten Beeren des Wildtyp stammenden Samen bzw. Keimlinge wurden *in vitro* auf Chlorsulfuron-Toleranz überprüft und positive Befunde durch Überprüfung der β-Glucuronidase-Aktivität in histochemischen Tests bestätigt.

Ergebnisse

Bei direkt an transgenen Pflanzen angrenzenden Kartoffelpflanzen wurden Auskreuzungsfrequenzen von 1,14 % ermittelt. Bis in 1,5 m Entfernung lag der Wert bei 0,03 %, im Abstand von 1,5-3 m bei 0,05 %, in 3-4,5 m bei 0,05 % und in 4,5-10 m bei 0,00 %.

Bewertung der Studie und Anmerkungen

Die verwendete Kartoffelsorte zeichnete sich durch eine sehr niedrige Fremdbestäubungsrate aus. Selbst zwischen direkt aneinander angrenzenden Kartoffelpflanzen kam es nur zu einem sehr geringen Anteil zu Fremdbestäubung. Da die Einkreuzung durch transgenen Pollen etwa ein Prozent betrug, lag die Fremdbefruchtungsrate insgesamt vermutlich nur wenig über zwei Prozent.

Dass Auskreuzungsversuche mit Kartoffelsorten, die eine so geringe Fremdbefruchtungsrate aufweisen, nur zu sehr geringen Auskreuzungsfrequenzen und -distanzen führen, ist nicht verwunderlich und lässt keine Rückschlüsse auf entsprechende Werte bei anderen Sorten oder unter anderen Umweltbedingungen zu. Vor diesem Hintergrund sind die ermittelten Werte für die Festlegung von Isolationsabständen beim Anbau transgener Kartoffelsorten nur von geringer Bedeutung.

Die genaue Anordnung der verschiedenen Kartoffelpflanzen im Feldversuch geht nicht aus der Studie hervor. Dies erschwert die Einschätzung der Bedeutung der Studienergebnisse. Unklare und widersprüchliche Angaben bestehen hinsichtlich der Fläche des Versuchsfelds und der Anzahl der verwendeten transgenen Kartoffeln, die sich aus der Angabe der Reihen-

und Pflanzenabstände ergibt. Dadurch sind die angegebenen Auskreuzungsdistanzen wenig aussagekräftig.

Wie die Studie von McPartlan & Dale (1994) zeigt, können sich transgene Linien stark in ihrer Fertilität und Auskreuzungsfrequenz unterscheiden. Da fünf verschiedene Linie verwendet wurden, können die gefundenen Auskreuzungsfrequenzen, ebenso wie in der Studie von McPartlan & Dale (1994), nur als Werte einer „Mischprobe“ verstanden werden. Die Auskreuzungsfrequenzen einzelner transgener Kartoffelsorten können auch aus diesem Grund im Einzelfall deutlich über den in der Studie ermittelten Werten liegen.

2.4.3 Analyse und Fazit

Bislang wurden nur sehr wenige Studien veröffentlicht, in denen Auskreuzungsdistanzen von Kultur-Kartoffelsorten untersucht wurden. Unklarheit besteht vor allem über den Einfluss der Sorteneigenschaften, des Vorhandenseins von Bestäubern und der Standorteigenschaften auf die Auskreuzungsdistanzen.

Die veröffentlichten Auskreuzungsdistanzen von maximal 10 m in den Studien von Tynan et al. (1990), Conner (1993) und McPartlan & Dale (1994) sind aus verschiedenen Gründen für eine Festlegung von Isolationsdistanzen wenig aussagekräftig und können nicht als allgemeingültig betrachtet werden. Die von Tynan et al. (1990) und Conner (1993) verwendete Sorte wies eine sehr geringe Fremdbefruchtungsrate auf. Sowohl Tynan et al. (1990) und Conner (1993) als auch McPartlan & Dale (1994) ermittelten lediglich die Auskreuzungsraten als Mittelwert vor verschiedener transgenen Sorten, die sich deutlich in ihrer Fertilität unterschieden. Die verwendete Feldgröße der Quelle war zudem jeweils vergleichsweise klein. Sie lag bei McPartlan & Dale (1994) mit 20 x 20 m bereits am höchsten.

In der Studie von Skogsmyr (1994) wurde eine Auskreuzungsrate von 31 % noch in 1.000 m Entfernung ermittelt. Zwar existieren an den Ergebnissen dieser Studie wegen der Nachweismethoden berechtigte Zweifel. Dennoch ist bislang keine wissenschaftlich abgesicherte Aussage darüber möglich, welche Auswirkungen das Vorhandensein bestimmter Bestäuber, wie im Falle der Studie von Skogsmyr (1994) des Rapsglanzkäfers, oder bestimmte Sorteneigenschaften tatsächlich auf Auskreuzungsdistanzen bei Kartoffeln haben.

Es ist bekannt, dass sich verschiedene Kartoffelsorten sowohl hinsichtlich ihrer Fertilität (Produktion von Pollen, Bildung von Beeren und Samen), als auch hinsichtlich der Häufigkeit des Auftretens als Durchwuchs in der Folgekultur deutlich unterscheiden. Daher ist davon auszugehen, dass bei einer entsprechenden Konstellation von Sorteneigenschaften und Umweltbedingungen hohe Auskreuzungsfrequenzen auch in Distanzen von deutlich über 10 m auftreten. Aufgrund der fehlenden Datengrundlage können allerdings keine konkreten Angaben für Isolationsabstände abgeleitet werden. Zu Auskreuzungsdistanzen bei Kartoffeln besteht weiterhin großer Forschungsbedarf.

Für den Kartoffelanbau sind Auskreuzungsdistanzen bei der Züchtung neuer Sorten von Relevanz. Im Anbau werden hingegen die vegetativ gebildeten Knollen geerntet. Auskreuzungsereignisse gehen dort zunächst nicht mit einer Kontamination der Ernte einher. Allerdings kann es durch das Auflaufen transgener Samen, die durch Auskreuzungsereignisse entstanden sind, in der Folgekultur zur Bildung transgener Knollen und somit zu einer Kontamination der Ernte in den folgenden Jahren kommen. Wirkungsvolle Maßnahmen zur Bekämpfung von Durchwuchspflanzen sollten daher beim Anbau von transgene Kartoffeln ergriffen werden.

3 FAZIT

Bei der Analyse der Untersuchungen zu Auskreuzungsdistanzen bei Raps, Mais, Zuckerrüben und Kartoffeln, treten mitunter große Lücken in der empirischen Datenalge zu Tage. Daher können derzeit nicht immer für bestimmte maximale Auskreuzungsraten entsprechende Isolationsabstände vorgeschlagen werden.

Bei der Ableitung von Isolationsabständen wurden hohen ermittelten Auskreuzungsraten im Sinne des Vorsorgeprinzips großes Gewicht gegeben. Allerdings wurden keine zusätzlichen Sicherheitsfaktoren oder Sicherheitsaufschläge einberechnet, die extremen Witterungsbedingungen oder anderen Sonderereignissen Rechnung tragen würden. Vor dem Hintergrund der durchgehend mangelhaften Datenlage wird aber die Einbeziehung eines Sicherheitsfaktors bei der Festlegung von Isolationsabständen empfohlen.

Die Empfehlungen des Öko-Instituts e.V. zu Nutzpflanzen-spezifischen Isolationsabständen liegen durchgängig höher als die in der Saatgutproduktion vorgegebenen Mindestdistanzen zur Einhaltung maximaler Auskreuzungsraten. In der Praxis wenden aber auch Züchter oftmals strengere Maßnahmen an, als dies per Gesetz vorgeschrieben ist (Barth et al. 2003).

Bei **Raps** wird nach der verfügbaren Datenlage für eine Auskreuzungsrate bis 1 % ein Isolationsabstand von mindestens 300 m vorgeschlagen. Die Distanz ist geringer als bei Mais, was darauf zurückgeführt werden kann, dass bei Raps Selbstbefruchtung zu einem gewissen Anteil vorkommt.

Aus Studien, deren Versuchsbedingungen mit einem kommerziellen Anbau vergleichbar sind, wird deutlich, dass über größere Distanzen die Auskreuzungsrate kaum und sehr unregelmäßig zurückgeht. Eine erforderliche Isolationsdistanz für eine maximale Auskreuzungsrate von 0,5 % kann deshalb nicht abgeleitet werden. Noch in 3.000 m Entfernung von der Pollenquelle wurden Auskreuzungsraten bis zu 0,15 % gefunden (Rieger et al. 2002). Für weitere Distanzen muss bei Raps das große Potential und der große landwirtschaftliche Wert der Insektenbetäubung in Betracht gezogen werden. Da Sammelradien von 6 km für Honigbienen keine Seltenheit zu sein scheinen, ist mindestens bis in diese Distanz mit relevanten Auskreuzungsereignissen zu rechnen. Vor diesem Hintergrund wird für das Erreichen einer maximalen Auskreuzungsrate von 0,1% eine Distanz von 6.000 m vorgeschlagen.

Die hier erarbeiteten Vorschläge beziehen sich auf eine Situation, in der nur eine einmalige Auskreuzung berücksichtigt wird. Die flächendeckenden Ruderalbestände von Raps, die Durchwuchsproblematik und die lange Samenpersistenz sind zusätzlich zu berücksichtigen und entsprechende Regelungen zur Verhinderung der Auskreuzung über diese indirekten Wege zu treffen.

Für die Arbeit mit sterilen oder teilweise sterilen Empfängerpopulationen und Sorten können keinerlei Empfehlungen für Isolationsabständen gegeben werden, da die in Studien ermittelten Auskreuzungsraten auch in sehr weiter Entfernungen zur Pollenquelle noch deutlich über den erwünschten Grenzwerten liegen. Sie schwanken in Distanzen von 250-500 m zwischen 15-70 %, in 500-1.000 m zwischen 25-58 %, in 1.000-2.000 m von

8-35 % und selbst in 3.000 m und 4.000 m Entfernung zur Pollenquelle lagen die Auskreuzungsraten noch bei 5 %.

Bei **Mais** gab es nur wenige Studien mit Feldgrößen, die denen im kommerziellen Anbau nahe kommen. In 200 m Abstand wurden in solchen Fällen Auskreuzungen von 1,11 % und 2,47 % gefunden. Um eine Auskreuzungsrate von unter 1 % zu garantieren, schlägt das Öko-Institut e.V. deshalb 500 m Isolationsabstand vor. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass dieser Wert bei verbesserter Datenlage korrigiert werden muss.

Um eine Auskreuzung von weniger als 0,5 % zu gewährleisten müssten Abstände von mindestens 1.000 m eingehalten werden. Die Ergebnisse von Burris (2001), Jones & Brooks (1950) und Henry et al. (2003) verweisen darauf, dass eine geringe Rate der Auskreuzung über weite Distanzen konstant erhalten bleibt. Ein Isolationsabstand, der eine Auskreuzung von weniger als 0,1 % gewährleisten könnte, kann aufgrund der mangelhaften Datenlage nicht abgeleitet werden.

Bei **Rüben** ist im Anbau Auskreuzung zunächst nicht relevant, weil die Rüben zur Nahrungs- und Futtermittelerzeugung im ersten Jahr geerntet werden. Die Pflanzen kommen in der Regel nicht zur Blüte und es wird kein Pollen gebildet. Ein kleiner Teil der Pflanzen blüht jedoch als Schosser bereits im ersten Jahr. Eine strenge Schosserkontrolle ist sehr wichtig, damit es nicht zur Pollenbildung bei gentechnisch veränderten Rüben und zur Auskreuzung auf ruderale Rüben, Samenbildung und Durchwuchs von gentechnisch veränderte Rüben kommt. Die Frequenz der Schosserkontrolle und eine Dokumentation sollten vorgeschrieben werden.

Für die Saatgutproduktion sollten hingegen Isolationsabstände von mindestens 1.000 m eingeführt werden. Dies gilt für Gebiete, in denen Saatgut von Futter- und Zuckerrüben produziert wird. Aber auch in der Nähe von Gärtnereien und Kleingartensiedlungen sollten wegen der Auskreuzungsmöglichkeit auf andere *Beta*-Arten Isolationsabstände vorgesehen werden, da sowohl in Gärtnereien als auch von Kleingärtnern teilweise Samenbau betrieben wird. Rüben-Pollen kann im bestäubungsfähigen Zustand bis über 1.000 m gelangen. In der Saatgutproduktion von Rübensamen werden zur Zeit 1.000 m als Isolationsabstand zu allen *Beta*-Arten vorgeschrieben.

Wegen der unzureichenden Datengrundlage sind die Isolationsabstände für gentechnisch veränderte Rüben in der Saatgutproduktion nicht abschließend diskutiert.

Bei **Kartoffeln** sind Auskreuzungsdistanzen bei der Züchtung neuer Sorten von Relevanz. Im Anbau werden hingegen die vegetativ gebildeten Knollen geerntet. Auskreuzungsereignisse gehen dort zunächst nicht mit einer Kontamination der Ernte einher. Allerdings kann es durch das Auflaufen transgener Samen, die durch Auskreuzungsereignisse entstanden sind, in der Folgekultur zur Bildung transgener Knollen und somit zu einer Kontamination der Ernte in den folgenden Jahren kommen. Wirkungsvolle Maßnahmen zur Bekämpfung von Durchwuchspflanzen sollten daher beim Anbau von transgene Kartoffeln ergriffen werden.

Bei bestimmten Sorteneigenschaften und Umweltbedingungen können hohe Auskreuzungsfrequenzen auch in Distanzen von deutlich über 10 m auftreten. Aufgrund der fehlenden Datengrundlage können allerdings keine konkreten Angaben für Isolationsabstände abgeleitet werden. Zu Auskreuzungsdistanzen bei Kartoffeln besteht großer Forschungsbedarf.

Aus Tabelle 13 und Tabelle 14 sind nochmals alle vom Öko-Institut e.V. vorgeschlagenen Isolationsabstände für den Anbau und die Saatgutproduktion bei Raps, Mais, Kartoffeln und Rüben ersichtlich.

Tabelle 13: Vorschläge des Öko-Instituts e.V. zu Nutzpflanzen-spezifischen Isolationsabständen im Anbau für maximale Auskreuzungsraten von 1, 0,5 und 0,1 %

Nutzpflanze	**1 %**	**0,5 %**	**0,1 %**	**Anmerkungen zur sonstigen Auskreuzungs-Problematik**
Raps	300 m	k. A.	6.000 m	Durchwuchspflanzen ruderale Populationen
Mais	500 m	1.000 m	k. A.	
Kartoffel	-	-	-	Durchwuchspflanzen
Rüben	-	-	-	Schosser ggf. ruderale Populationen

Tabelle 14: Vorschläge des Öko-Instituts e.V. zu Nutzpflanzen-spezifischen Isolationsabständen in der Saatgutproduktion für Auskreuzungsraten von 1, 0,5 und 0,1 %

Nutzpflanze	**1 %**	**0,5 %**	**0,1 %**
Raps	k. A.	k. A.	k. A.
Mais	500 m	1.000 m	k. A.
Kartoffel	k. A.	k. A.	k. A.
Rüben	>1.000 m	k. A.	k. A.

4 LITERATUR

Agriculture and Environment Biotechnology Commission (2003): GM crops? Coexistence and Liability. A report by the Agriculture and Environment Biotechnology Commission. Novemeber 2003.

Baranger A, Chevre AM, Eber F & Renard M (1995): Effect of oilseed rape genotype on the spontaneous hybridization rate with weedy species: an assessment to transgene dispersal. Theoretical and Applied Genetics 91, 956 –963.

Barth R, Brauner R, Hermann A, Hermanowski R, Nowack K, Schmidt H & Tappeser B (2003): Grüne Gentechnik und ökologische Landwirtschaft. UBA-Texte 01/03 Hrsg.: Umweltbundesamt, Berlin. (www.oeko.de, unter Forschungsergebnisse).

Bartsch D, Wehres U, Göddecke U & Gathmann A (2003): Introduction to field trial data of crop to weed beet gene flow. GMCC-03- GM Crops and Co-existence, 13th to 14th November 2003.

Bateman AJ (1947): Contamination of seed crops - II. Wind pollination. Heredity 1: 235-246.

Becker R, Augustin J, Behrendt U, Gransee A, Hedtke C, Lüttschwanger D, Müller M & Ulrich A (2000): Ökologische Begleitforschung zum Anbau von transgenen Kartoffeln mit Veränderungen im Grundstoffwechsel. ZALF (Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung e.V., Länderinstitut für Bienenkunde Hohen Neuendorf e.V., Müncheberg, Auftraggeber: Landesumweltamt Brandenburg)

Becker R & Ulrich A (1999): Untersuchungen zum Überdauerungs- und Keimungsverhalten von Vermehrungsorganen transgener Kartoffellinien mit erhöhter Akkumulation löslicher Zucker und Entwicklung molekularbiologischer Methoden zu deren Identifizierung. ZALF (Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung e.V., Müncheberg, Auftraggeber: Landesumweltamt Brandenburg)

Biologische Bundesanstalt (2002): Jahresbericht der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft 2002. Institut für Pflanzenvirologie, Mikrobiologie und Biologische Sicherheit Braunschweig und Berlin: 99-108.
http://bba.zadi.de/JBBBA/DDD/JAHRESBERICHTBBA2002-099.pdf.

Brauner R, Roth E & Tappeser B (2002): Entwicklung und Auswertung von Szenarien zur Verbreitung von transgenem Raps. Unpublished report to the GenEERA research project of the UFT Bremen in the scope of the BMBF-Sicherheitsforschung “Biotechologie 2000”.

Brown AP, Brown J, Thill DC & Brammer TA (1996):Gene transfer between canola (*Brassica napus*) and related weed species. Proceedings of the 8th Symposium on Environmental Releases of Biotechnology Products: Risk Assessment Methods and Research Progress, Ottawa, Canada.

Brunet Y, Foueillassar X, Audran A, Garrigou D, Dayau S & Tardieu L (2003): Evidence for long-range transport of viable maize pollen. Proceedings of the 1st European Conference on

the Co-existence of Genetically Modified Crops with Conventional and Organic Crops, 13-14 November 2003, Denmark.

Burris JS (2001): Adventitious pollen intrusion into hybrid maize seed production fields. White Paper for AOSCA funded by USDA/FAS/EMP and ASTA. http://www.amseed.com/govt_statementsDetail.asp?id=69.

Byrne PF & Fromherz S (2003): Can GM and non-GM crops coexist? Setting a precedent in Boulder County, Colorado, USA. Food, Agriculture & Environment 1 (2): 258-261.

Chen HH & Li PH (1980): Biochemical changes in tuber-bearing solanum species in relation to frost hardiness during cold-acclimation. Plant Physiology 66 (3): 414-421.

Coghlan A (2001): Keep Your distance. New Scientist 24.11.2001

Conner AJ (1993): Monitoring “escapes” from field trials of transgenic potatoes: A basis for assessing environmental risks. In: Seminar on Scientific Approaches for the Assessment of Research Trials with Genetically Modified Plants, Jouy-en-Josas, France, April 1992. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris. Pp.34-40.

Conner AJ & Dale PJ (1996): Reconsideration of pollen dispersal data from field trials of transgenic potatoes. Theoretical and Applied Genetics 92: 502-508.

Danish Working Group on Co-existence (2003): Report from the Danish Working Group on the co-existence of genetically modified crops with conventional and organic crops. http://www.agrsci.dk/gmcc-03/Co_exist_rapport.pdf.

Das KGS (1983): Vicinity distance studies of hybrid seed production in maize (*Zea mays* L.) at Bangalore. Mysore J. Agric. 20: 340.

DBIB (2003): Positionspapier: Agro-Gentechnik und Berufsimkerei in Deutschland. Deutscher Berufs- und Erwerbsimkerbund e. V. Dezember 2003.

De Vries FT, Van der Meijden R & Brandenburg W A (1992): A study of the real chances for spontaneous gene flow from cultivated plants to the wild flora of the Netherlands. Botanical Files, Gorteria Supplement 1: 1 – 100.

Downey RK (1999): Gene flow and rape – the Canadian experience. In: Lutmann PJW (1999): Gene Flow and Agriculture: Relevance for Transgenic Crops. BCPC Symposium Proceedings No. 72: 109-116.

Downey RK & Beckie H (2002): Report on Project Entitled Isolation Effectiveness in Canola Pedigree Seed Production.

Düll R & Kutzelnigg H (1994): Botanisch-ökologisches Exkursionstaschenbuch. Quelle & Meyer, Heidelberg, Wiesbaden, 590 S.

Eastham K & Sweet J (2002): Genetically modified organisms (GMOs): The significance of gene flow through pollen transfer. European Environment Agency (Hrsg.), Copenhagen. http://reports.eea.eu.int/environmental_issue_report_2002_28/en

Emberlin J, Adams-Groom B & Tidmarsch J (1999): A report on the dispersal of maize pollen. Soil Association, January 1999. http://www.soilassociation.org/web/sa/saweb.nsf/848d689047cb466780256a6b00298980/80256ad8005545498025672800383801!OpenDocument (abgerufen am 07.09.2004)

EU-Kommission (2003): Empfehlung der Kommission vom 23 Juli 2003 mit Leitlinien für die Erarbeitung einzelstaatlicher Strategien und geeigneter Verfahren für die Koexistenz gentechnisch veränderter, konventioneller und ökologischer Kulturen. http://europa.eu.int/comm/agriculture/publi/reports/coexistence2/guide_de.pdf

EVA (Informationssystem für Evaluierungsdaten pflanzengenetischer Ressourcen) online vom 03.09.2004 http://www.genres.de/eva/kartoffel.htm.

Feil B & Schmid JE (2001): Pollenflug bei Mais, Weizen und Roggen. Ein Beitrag zur Frage der beim Anbau von transgenen Kulturpflanzen erforderlichen Isolierabstände. Schweizerischer Saatgut-Produzenten-verband (Hrsg.), Z-Saatgut, Schweiz, InterNutrition. Institut für Pflanzenwissenschaften ETH Zürich, Shaker Verlag, Aachen.

Feldmann S (2000): Begleitforschung zur Freisetzung herbizidresistenter, transgener Rapspflanzen 1995 - 1999. Ein Beitrag zur biologischen Sicherheitsforschung – Endbericht; Hrsg: Niedersächsisches Landesamt für Ökologie; Nachhaltiges Niedersachsen 13 - Dauerhaft umweltgerechte Entwicklung: 1-57.

Felsot AS (2002): "Pharm Farming": Its not your fathers agriculture. Agrichemical and Environmental News. July 2002. Issue 195.

FiBL (2003): Empfehlung FiBL: Abstände in der Saatgutproduktion. In: Nowack (2003): Produktion mit und ohne Gentechnik – ist ein Nebeneinander möglich? Rahmenbedingungen und Umsetzung der Koexistenz und Warenflusstrennung. Tagungsband zur gleichnamigen Tagung vom 1. September 2004 in Bern.

Garcia CM, Figueora JM, Gomez RL, Townsend RT & Schoper J (1998): Pollen control during transgenic hybrid maize development in Mexico. Crop Science 38: 1597-1602.

GenEERA (2001 – 2004) – Modellierungen zum Ausbreitungsverhalten von Raps im Landschaftsmaßstab http://www.biosicherheit.de/projekte/74.proj.html.

Gerdemann-Knörck M & Tegeder M (1997): Kompendium der für Freisetzungen relevanten Pflanzen; hier: Brassicaceae, *Beta vulgaris*, *Linum usitatissimum*. UBA 38/97.

Gopal J (1993): Flowering behaviour, male-sterility and berry setting in tetraploid *Solanum-tuberosum* germplasm. Euphytica 72 (1-2): 133-142.

Haskell G & Dow P (1951): Studies with sweet corn Seed-settings with distances from pollen source. Empire Journal of Experimental Agriculture 19 (73) : 45-50.

Henry C, Morgan D & Weekes R (2003): Farm Scale Evaluations of GM crops: monitoring gene flow from GM crops to non-GM equivalent crops in the vicinity (contract reference EPG 1/5/138). Part I: Forage Maize. Final Report, 2000/2003, September 2003. DEFRA, Central

Science Laboratory, Sand Hutton, York, YO41 1LZ Roger Daniels and Caroline Boffey, Centre for Ecology and Hydrology, Dorchester, Dorset DT28ZD.

Hess D (1990): Die Blüte: Eine Einführung in Struktur und Funktion, Ökologie und Evolution der Blüten. 2. Aufl., Ulmer, Stuttgart.

Hoffmann W, Mudra A & Plarre W (1970): Lehrbuch der Züchtung landwirtschaftlicher Nutzpflanzen II. 1. Auflage., Paul Parey, Berlin, Hamburg.

Hoffmann M & Köhler W (2000): Modellierung von Genfluss und Verwilderung bei transgenen Zuckerrüben (*Beta vulgaris* convar. *altissima* DÖLL). In: Schiemann J. (Hrsg.): Biologische Sicherheitsforschung bei Freilandversuchen mit transgenen Organismen und anbaubegleitendes Monitoring, Proceedings zum BMBF-Statusseminar 29.-30. Juni 1999, Braunschweig, S. 101 – 110.

Hühn M & Rakow G (1979): Einige experimentelle Ergebnisse zur Fremdbefruchtungsrate bei Winterraps (*Brassica napus* ssp. *oleifera*) in Abhängigkeit von Sorte und Abstand. Z. Pflanzenzüchtung 83:289-307.

Ingram J (2000a): Report on the separation distances required to ensure cross-pollination is below specified limits in non-seed crops of sugar beet, maize and oilseed rape. Hrsg.: Ministry of Agriculture, Fisheries and Food.
http://www.foe.co.uk/resource/consultation_responses/report_separation_distances_foe.pdf.

Ingram J (2000b): The separation distances required to ensure cross-pollination is below specified limits in non-seed crops of sugar beet, maize and oilseed rape. Plant Varieties and Seeds 13: 181-199.

Jemison JM Jr & Vayda ME (2001): Cross Pollination From Genetically Engineered Corn: Wind Transport And Seed Source. AgBioForum 4 (2): 87-92.

Jensen I & Bogh H (1942): On conditions influencing the danger of crossing in the case of windpollinating cultivated plants. Tidsskrift for Planteavl 46:238-266.

Jones MD & Brooks JS (1950): Effectiveness of distance and border rows in preventing outcrossing in corn. Okla. Agr. Exp. Sta. Techn. Bul. T-38.

Jones MD & Newell LC (1946): Pollination cycles and pollen dispersal in relation to grass improvement. Agric. Exp. Sta. Nebr. Coll. Agric. Res. Bul. 148.

Jones MD & Newell LC (1948): Longevity of Pollen and Stigmas of Grasses: Buffalograss, Buchloe dactyloedess (Nutt.) Engelm., and Corn, *Zea mays* L.. Journal of the American Society of Agronomy. 40 (3): 195-204.

King JM (1974): Volunteer crop problems in the processing industry. Proceedings 12th British Weed Control Conference

Lamkey KR (2002): GMO´s and Gene Flow: A Plant Breeding Perspective. Manuscript for the Agricultural Summit
http://corn2.agron.iastate.edu/Lamkey/Publications/PDF/GeneFlow_2002.pdf (abgerufen am 07.09.2004).

Lavigne C, Klein EK, Vallée P, Pierre J, Godelle B & Renard M (1998): A pollen dispersal experiment with transgenic oilseed rape. Estimation of the average pollen dispersal of an individual plant within a field. Theoretical and Applied Genetics 96: 886-896.

Lawson HM (1983): True potato seeds as arable weeds. Potato Research 26, pp. 237-246.

Lieber R (1933): Beobachtungen und Arbeitsergebnisse in der badischen Maiszüchtung. Der Züchter 5: S. 193-196.

Luna VS, Fugueroa MJ, Baltazar MB, Gomez LR, Townsend R & Schorper JB (2001): Maize pollen longevity and distance isolation requirements for effective pollen control. Crop Science 41: 1551-1557.

Madsen KH (1994): Weed Management and Impact on Ecology of Growing Glyphosate Tolerant Sugarbeets (*Beta vulgaris*). PhD dissertation, the Royal Veterinary and Agricultural University, Denmark.

Manasse R & Kareiva P (1991): Quantifying the Spread of Recombinant Genes and Organisms. In Ginzburg L.R. (1991) Assessing Ecological Risks of Biotechnology. Butterworth-Heinemann, Stoneham, USA: 215-231.

McCartney HA & Lacey ME (1991): Wind dispersal of pollen from crops of oilseed rape (Brassica napus L.), J. Aerosol Sci. 22, 467-477.

McPartlan HC & Dale PJ (1994): An assessment of gene transfer by pollen from field-grown transgenic potatoes to non-transgenic potatoes and related species. Transgenic Research 3: 216-225.

Messean A (1999): Impact du développement des plantes transgénique dans les systèmes de culture. Rapport final. Dossier No. 96/15-B: Impact des plantes transgéniques.

Messeguer J, Ballester J, Peñas G, Olivar J, Alcalde E & Melé E (2003): Evaluation of gene flow in a commercial field of maize. Poster on the 1st European Conference on the Co-existence of Genetically Modified on the 13th to 14th November 2003 in Helsingor, Denmark.

Mesquida J, Renard M & Pierre JS (1988): Rapeseed (Brassica napus L.) Productivity: The effect of honeybees (*Apis mellefera* L.) and different pollination conditions in cage and field tests. Apidologie 19 (1): 51-72.

Miller PD (1985): Maize pollen: Collection and enzymology. In: Sheridan WF (Hrsg.): Maize for biological research. A special publication of the plant molecular biology association, Kapitel 45, USA: S. 279 – 282.

Morris WF, Kareiva PM & Raymer PL (1994): Do barren zones and pollen traps reduce gene escape from transgenic crops? Ecological Applications 4(1): 157-165.

Narayanaswarmy S, Jagadish GV & Ujinnaiah US (1997): Determination of isolation distance for hybrid maize seed production. Curr. Res. (University of Bangalore) 26: 193-195.

Neemann G & Scherwaß R (1999): Materialien für ein Konzept zum Monitoring von Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen, UBA-Texte 52/99, Berlin.

Neuroth B (1997): Kompendium der für Freisetzungen relevanten Pflanzen; hier Solanaceae, Poaceae, Leguminosae. UBA-Texte 62/97; Umweltbundesamt, Berlin.

Oberdorfer E (Hrsg.) (1994): Pflanzensoziologische Exkursionsflora. 7. Aufl., Stuttgart, 1050 S.

OECD - Organisation for Economic Cooperation and Development (1997): Consensus Document on the Biology of *Solanom tuberosum* subsp. *tuberosum* (Potato) Series on Harmonization of Regulatory Oversight in Biotechnology 8, Paris

Paterniani E & Stort AC (1974): Effective maize pollen dispersal in the field. Euphytica 23: 129-134.

Pauk J, Stefanov I, Fekete S, Bögre L, Karsai I, Feher A & Dudits D (1995): A study of different (caMV 35S and mas) promoter activites and risk assessment of field use in transgenic rapeseed plants. Euphytica 85: 411-416.

Plaisted RL, 1980. Potato. In: Hybridisation of crop plants (Eds. Fehr, W.R. and Hadley, H.H.).American Society of Agronomy and Crop Science Society of America, publishers, Madison, Wisconsin, 483-494.

Pospelova G & Schinke E (1988): Organisation der Pflanzenzüchtung und Saatguterzeugung in der Sowjetunion. Osteuropastudien der Hochschule des Landes Hessen. Reihe 1. Giessener Abhandlungen zur Agrar- und Wirtschaftsforschung des europäischen Ostens. Duncker & Humblot, Berlin.

Purseglove JW (1972): Tropical crops – Monocotyledons. Longman Group Limited, Harlow, Essex, London, UK: S. 607.

Rakow G & Woods DL (1987): Outcrossing in Rape and Mustard under Saskatchewan Prairie Conditions. Canadian Journal of Plant Science 67: 147-151.

Ramsey G, Thompson C & Squire G (2003): Quantifying landscape-scale gene flow in oilseed rape. Final Report of DEFRA Project RG0216: An experimental and mathematical study of the local and regional scale movement of an oilseed rape transgene.

Raynor GS (1972): Dispersion and Deposition of Corn Pollen from Experimental Sources. Agronomy Journal 64: 420-427.

Rieger MA, Lamond M, Preston C, Powles SB & Roush RT (2002): Pollen-mediated movement of herbicide resistance between commercial canola fields. Science 296: 2386-2388.

Rothmaler W (1990) Exkursionsflora Von Deutschland. Band 4, Kritischer Band. Hrsg.: Schubert R & Vent W, Volk Und Wissen, Berlin.

SaatVerkG (1985): Bundesgesetzblatt BGBl I 1985, S.1633.

SaatVerkG (2002): Zweites Gesetz zur Änderung des Saatgutverkehrsgesetzes. Bundesgesetzblatt BGBl Nr.21 2002, S.1146.

Saeglitz C, Pohl M & Bartsch D (2000): Monitoring gene flow from transgenic sugar beet using cytoplasmic male-sterile bait plants. Molecular Ecology 9(12): 2035-2040.

Salamov AB (1940): About isolation in corn. Sel. i. Sem 3 (Russian translation by Michel Atanasiev in 1949).

Saure C, Kühne S & Hommel B (1998): Auswirkung von gentechnisch verändertem Raps auf blütenbesuchende Bienen (Apidae) und Schwebfliegen (Syrphidae). Jahresbericht der BBA 1998, Berlin und Braunschweig.

Saure C, Kühne S & Hommel B (1999a): Auswirkung des Anbaus gentechnisch veränderter Rapspflanzen auf blütenbesuchende Bienen (Apidae) und Schwebfliegen (Syrphidae). Jahresbericht der BBA 1999, Berlin und Braunschweig.

Saure C, Kühne S & Hommel B (1999b): Untersuchungen zum Pollentransfer von transgenem Raps auf verwandte Kreuzblütler durch Wind und Insekten. Proceedings zum BMBF-Statusseminar, 29. – 30. Juni 1999, Braunschweig: 111-119.

Scheffler JA, Parkinson R & Dale PJ (1993): Frequency and distance of pollen dispersal from transgenic oilseed rape (*Brassica napus*). Transgenic Research 2: 356-364.

Scheffler JA, Parkinson R & Dale PJ (1995): 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: 317-321.

SCIMAC Supplay Chain Initiative on Modified (2002): Code of practice on the introduction of genetically modified crops. And Guidelines for the growing newly developed herbicide resistant crops.
http://ukasta.org.uk/scimac/old/gui1.html. Abgerufen am 27.01.2004

Simpson EC, Norris CE, Law JR, Thomas JE & Sweet JB (1999): Gene flow in genetically modified herbizide tolerant oilseed rape (*Brassica napus*) in the UK. In: Lutmann PJW. (1999): Gene Flow and Agriculture: Relevance for Transgenic Crops. BCPC Symposium Proceedings No. 72: 75-81.

Skogsmyr I (1994): Gene dispersal from transgenic potatoes to conspecifics: a field trial. Theoretical and Applied Genetics 88: 770-774Oberdorfer, E. (2001): Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Deutschland und angrenzende Gebiete, Ulmer, 1051 S.

Smith GA (1980): Hybridization of crop plants. Soc. Agron. Crop Sci. Soc. America : 601-616.

Soukup J & Holec J (2003): Agronomical aspects of weed beet occurrence and spreading on arable land. Introgression from Genetically Modified Plants into wild relatives and its consequences, 21-24 January 2003, Universiteit van Amsterdam, The Netherlands.

Stace CA (1992): New Flora of the British Isles. Cambridge University Press, Cambridge.

Staniland BK, McVetty PBE, Friesen FL, Yarrow S, Freyssinet G & Freyssinet M (2000): Effectiveness of border areas in confining the spread of transgenic *Brassica napus* pollen. Canadian Journal of Plant Science 80(3): 521-526.

Statistisches Bundesamt (2004), aktualisiert am 02. August 2004 http://www.destatis.de/basis/d/forst/forsttab7.php.

Stringam GR & Downey RK (1982): Effectiveness of isolation distance in seed production of rapeseed (*Brassica napus*). Agronomy Abstracts 136-137.

Thompson CE, Squire G, Mackay GR, Bradshaw JE, Crawford J & Ramsay G (1999): Regional patterns of gene flow and ist consequence for GM oilseed rape. In: Lutmann, PJW (1999): Gene Flow and Agriculture: Relevance for Transgenic Crops. BCPC Symposium Proceedings No. 72, 95-100.

Timmons AM, O'Brien ET, Charters YM, Dubbels SJ & Wilkinson MJ (1995): Assessing the risks of wind pollination from fields of genetically modified *Brassica napus* ssp. *oleifera*. Euphytica 85, 417-423.

Timmons AM, Charters YM, Crawford JW, Burn D, Scott SE, Dubbels SJ, Wilson NJ, Robertson A, O'Brien ET, Squire GR & Wilkinson MJ (1996): Risks from transgenic crops. Nature 380: 487.

Treu R & Emberlin J (2000): Pollen dispersal in the crops Maize (*Zea mays*), Oilseed rape (*Brassica napus* ssp. *oleifera*), Potatoes (*Solanum tuberosum*), Sugar beet (*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris*) and Wheat (*Triticum aestivum*). Report for the Soil Association, January 2000.

Tynan JL, Wiliams MK & Conner AJ (1990): Low frequency of pollen dispersal from a field trial of transgenic potatoes. Journal of Genet. & Breed. 44:303-306.

Van Raamsdonk, LWD & Schouten, HJ (1997):Gene flow and establishment of transgenes in natural plant populations. Acta Bot. Neerl. 46(1): 69-84.

Vigouroux Y, Darmency H, Gestat de Garambe T & Richard-Molard M (1999) : Gene flow between sugar beet and weed beet. In: Lutmann, PJW (1999): Gene Flow and Agriculture: Relevance for Transgenic Crops. BCPC Symposium Proceedings No. 72, 83-88.

Wilkinson MJ, Timmons AM, Charters Y, Dubbels S, Robertson A, Wilson N, Scott S, O'Brien E & Lawson HM (1995): Problems of Risk Assessment With Genetically Modified Oilseed Rape. Brighton crop protection conference -weeds-, 1035-1044.