

E 1 Koexistenz und Kontamination im Anbau

Bei einem gleichzeitigen Anbau von gentechnisch veränderten und nicht gentechnisch veränderten Pflanzen in einer Region sind Vermischungen zu erwarten. Das kann dazu führen, dass ein Bauer, der keine gentechnisch veränderten Pflanzen anbaut, dennoch zum Teil eine gentechnisch veränderte Ernte einfährt. Gegebenenfalls muss er sogar seine Ware als gentechnisch verändert kennzeichnen.



Abbildung 1: Koexistenzproblem: Felder sind keine abgeschlossenen Einheiten.¹

E 1.1 Pollenflug als Kontaminationsquelle

Pollenflug und Bestäubung sind einerseits wichtig und erwünscht, damit Samenansatz erfolgen und Ertrag erzielt werden kann. Andererseits sind Pollenflug und die Bestäubung zentrale Quellen für eine Vermischung zwischen verschiedenen Pflanzenbeständen.

Mit dem Einsatz der Gentechnik kann Pollenflug für den ökologischen Landbau zur Gefahr werden.

Einfluss auf die Einkreuzung haben:

- Witterungsbedingungen vor und während der Blütezeit (Windrichtung, Windstärke, Temperatur, Luftfeuchtigkeit etc.)
- Bestäubende Insekten
- Feldgröße und -form der Pollenquelle und des Empfängerfeldes
- Entfernung zwischen Quellen- und Empfängerfeld
- Bestandesdichte im Quellen- und Empfängerfeld
- Sortenmerkmale der Quellen- und Empfänger-Kultur, z.B. Blühzeitpunkt und –dauer
- Bewuchs der Umgebung
- Topografie der Umgebung

Ob ein Polleneintrag und somit eine Einkreuzung aus anderen Feldern erfolgt, hängt von vielen Faktoren ab.

Bislang ist in der Landwirtschaft die Herkunft des Pollens von geringem Interesse, solange eine Bestäubung erfolgt. Nur in der Saatgutproduktion soll die Befruchtung durch den Pollen einer bestimmten Elternlinie erfolgen. Daher werden bei der Saatgutproduktion generell Sicherheitsabstände zwischen Feldern der gleichen Kultur, aber unterschiedlicher Sorten eingehalten, um Saatgutreinheit zu gewährleisten. Die Saatgutreinheit wird dabei allerdings lediglich anhand äußerer Merkmale überprüft. Das bedeutet, dass die Vermischung, die bei Sorten zugelassen ist, nicht so präzise wie gentechnische Kontamination nachgewiesen wird. Die Isolationsdistanzen in der Saatgutvermehrung können deshalb nicht ohne weiteres für Koexistenzregeln übernommen werden.

Aus der Saatgutproduktion liegen Erfahrungen mit Sicherheitsabständen vor. Diese können jedoch nicht ohne weiteres für Koexistenzregeln übernommen werden.

Alle vorliegenden Untersuchungen weisen darauf hin, dass die Pollenkonzentrationen und damit auch Einkreuzungswahrscheinlichkeiten in der Regel mit zunehmender Distanz zum Feldrand der Pollenquelle zunächst schnell abnehmen. Es wird jedoch kein Nullwert erreicht. Auch in weiten Distanzen zu den Pollenquellen werden noch Pollen und Einkreuzungsereignisse nachgewiesen. Je nach Nutzpflanzenart sind daran Wind und Insekten beteiligt.

Die größte Gefahr für Einkreuzungen besteht nahe der Pollenquelle. Es finden aber auch Einkreuzungen über weite Distanzen statt.

E 1.2 Weitere Kontaminationsquellen

Die Koexistenz wird bei einigen Pflanzenarten dadurch erschwert, dass nicht nur über Pollenflug und Bestäubung eine Kontamination durch gentechnisch veränderte Pflanzen erfolgen kann, sondern zusätzlich durch andere Quellen.

Pollenflug, Bestäubung und weitere Kontaminationsquellen müssen immer spezifisch für jede Nutzpflanzenart betrachtet werden.

- Bei manchen Nutzpflanzenarten verbleiben nach der Ernte viele Samen auf dem Feld. In den Folgejahren können diese Samen zum Teil keimen und als Durchwuchs die Ernte auf demselben Feld oder über Auskreuzung andere Felder kontaminieren.
- Bei manchen Nutzpflanzenarten können Samen sehr lange im Boden überdauern und zudem unter bestimmten Bedingungen in Keimruhe fallen. Dies kann über die Jahre hinweg eine kaum einschätzbare Kontaminationsquelle darstellen.
- Viele Nutzpflanzenarten kommen auch wild vor. Wildpopulationen, in die GV-Pflanzen ausgekreuzt haben, können wiederum GV-Einkreuzung in andere Felder verursachen.
- Manche Nutzpflanzen haben nahe verwandte Wildarten, mit denen sie sich kreuzen können. Vermutlich tragen solche Hybride jedoch nur geringfügig zur Einkreuzungen bei.

E 1.3 Die „Koexistenzampel“

Welche Kontaminationspfade sind bei welcher Kultur besonders kritisch? Darüber gibt die „Koexistenzampel“ einen schnellen Überblick: Rot bedeutet eine hohe, Grün eine geringe Kontaminationsgefahr. In den nachfolgenden Kapiteln zu den Nutzpflanzen Raps, Mais und Rüben werden die einzelnen Aspekte eingehend erläutert.

Tabelle 1: Koexistenzampel

	Mais	Raps	Rüben
Einkreuzung	Rot ●	Rot ●	Rot ² ●
Durchwuchs	Grün ●	Rot ●	Rot ●
Wildpopulationen	Grün ●	Rot ●	Rot ●
Überdauerung der Samen	Grün ●	Rot ●	Rot ●
Verwandte Wildpflanzenarten	Grün ●	Rot ●	Rot ●

E 1.4 Welche gentechnisch veränderten Pflanzen sind in der EU zugelassen?

Der kommerzielle Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen steht in Deutschland bevor. In den Europäischen Sortenkatalog wurden erstmals im September 2004 gentechnisch veränderte Sorten aufgenommen, und zwar 17 Sorten des gentechnisch veränderten Mais MON 810. Diese dürfen damit auch in Deutschland eingesetzt werden. Tabelle 2 zeigt, welche weiteren Pflanzen nach Gentechnikrecht zum Anbau zugelassen sind und ob für sie bereits Sortenzulassungen vorliegen.

Gentechnisch veränderte Pflanzen benötigen eine Zulassung nach Gentechnikrecht und eine Sortenzulassung.

Tabelle 2: Gentechnisch veränderten Pflanzen, die in der EU nach Gentechnikrecht zum Anbau zugelassen sind (Stand Januar 2005)

Pflanze	Linie	Neue Eigenschaft	Antragsteller	Zulassung nach Gentechnikrecht seit	Nationale Sortenzulassung	EU-weite Sortenzulassung
Mais	Bt 176	Insektenresistenz, Herbizidresistenz	Syngenta	1997	Spanien, Frankreich	Keine
Mais	MON 810	Insektenresistenz	Monsanto	1998	Spanien, Frankreich	17 Sorten
Mais	T 25	Herbizidresistenz	Bayer Crop Science	1998	Niederlande	Keine
Raps	MS1xRF1 (nur für Züchtung zugelassen)	Herbizidresistenz, männliche Sterilität	Bayer Crop Science	1997	Keine	Keine
Raps	MS1xRF2	Herbizidresistenz, männliche Sterilität	Bayer Crop Science	1997	Keine	Keine

Für den Anbau von weiteren gentechnisch veränderten Pflanzen liegen eine Reihe von Anträgen auf Zulassung vor (siehe Tabelle 3). Von diesen gentechnisch veränderten Pflanzen müssen dann allerdings noch Sorten zugelassen werden. Es kann aber schon vorher zu einem Anbau kommen, und zwar zu einem Probeanbau zum Zwecke der Sortenzulassung.

Tabelle 3: Gentechnisch veränderte Pflanzen, deren Anbau in der EU beantragt ist

Pflanze	Linie	Neue Eigenschaft	Antragsteller
Mais	NK603	Herbizidresistenz (Glyphosat)	Monsanto
Mais	Bt11	Insektenresistenz Herbizidresistenz (Glufosinat)	Syngenta
Mais	1507	Insektenresistenz, Herbizidresistenz (Glufosinat)	Pioneer Hi-Bred, Mycogen Seeds c/o Dow AgroSciences
Mais	NK603xMon810	Insektenresistenz, Herbizidresistenz	Monsanto
Raps	GT 73	Herbizidresistenz (Glyphosat)	Monsanto
Raps	Ms8xRf3	Herbizidresistenz (Glufosinat), männliche Sterilität	Bayer BioScience
Raps	Falcon GS40/90pHoe6/Ac	Herbizidresistenz (Glufosinat)	Bayer Crop Science
Raps	Liberator pHoe6/Ac	Herbizidresistenz (Glufosinat)	Bayer Crop Science
Futtermübe	A5/15	Herbizidresistenz (Glyphosat)	DANISCO Seed, Monsanto, DLF Trifolium A/S
Zuckerrübe	H7-1	Herbizidresistenz (Glyphosat)	KWS Saat AG, Monsanto
Baumwolle	531	Insektenresistenz	Monsanto
Baumwolle	1445	Herbizidresistenz (Glyphosat)	Monsanto
Kartoffel	EH92-527-1	Veränderte Stärkezusammensetzung	Amylogene HB

Die gentechnisch veränderte Kartoffel ist nicht für die Lebensmittelproduktion gedacht. Da Kartoffelreste allerdings als Futter- und Düngemittel verwendet werden, kann sie trotzdem in die Lebensmittelkette gelangen. Der Antrag auf Anbau der herbizidresistenten Zuckerrübe T9100152 von den Firmen Monsanto und Syngenta wurde zurückgezogen. Für den Import und zur Verarbeitung als Lebensmittel sind insgesamt sieben Rapslinien, fünf Maislinien, eine Sojalinie und zwei Baumwolllinien zugelassen.

Es gibt noch eine Reihe von anderen Anträgen, die nur für Import und Verarbeitung eine Zulassung beantragen. Die Anträge werden vom *Joint Research Centre* der Europäischen Kommission veröffentlicht (im Internet unter http://gmoinfo.jrc.it/gmc_browse.asp).

(Ausführliche Liste aller GVO-kritischen Zutaten siehe Anhang AV 3).

E 1.5 Kontaminationspfade bei Mais

Bei Mais ist vor allem auf die Möglichkeit von Einkreuzungen zu achten. Maßgeblich dafür sind der sehr hohe Anteil an Fremdbefruchtung und der weite luftgetragene Transport von Maispollen.

E 1.5.1 Pollenflug, Bestäubung und Einkreuzung

Pollenflug

Eine einzelne Maispflanze produziert bis zu 50 Millionen Pollenkörner. Da Maispollen vergleichsweise schwer ist, werden die meisten Pollenkörner nicht weiter als 50 Meter durch den Wind verbreitet. Ein geringer Prozentsatz des Pollens wird über weite Distanzen verbracht. Aufgrund der sehr umfangreichen Pollenproduktion sind dies immer noch Tausende von Pollenkörnern je Maispflanze.



Abbildung 2: Diese Maisfahnen entlassen Millionen von Pollenkörnern³

Bislang ist noch nicht geklärt, welchen Anteil starke Winde gegenüber leichteren thermischen Luftströmungen an der Fernausbreitung von Maispollen haben. Befruchtungsfähiger Maispollen wurde jedoch auch in sehr hohen Luftschichten nachgewiesen. Von dort ist ein Transport auch über weitere Strecken wahrscheinlich.

Einkreuzung

Die Fremdbefruchtungsrate liegt bei Mais zwischen 85 und 99 Prozent. Daher ist Mais anfällig für Einkreuzungen von transgenem Pollen. Die große Pollenmenge je Pflanze und die Möglichkeit zum weiten Verdrift erhöhen die Gefahr von Einkreuzungen.

Koexistenzampel Mais

Einkreuzung	●
Durchwuchs	●
Wildpopulationen	●
Überdauerung der Samen	●
Verwandte Wildpflanzenarten	●

Maispflanzen produzieren sehr viel Pollen. Ein gewisser Anteil wird weit verdriftet.

Bei Mais ist die Einkreuzung durch Pollen der kritische Punkt in der Koexistenz.

Untersuchungen zu Auskreuzungsdistanzen bei Mais wurden jeweils unter sehr begrenzten Versuchsbedingungen durchgeführt. Sie spiegeln nicht die Vielzahl der real existierenden Anbausituationen wider. Oft ist keine Übertragung der Ergebnisse von kleinen Versuchsflächen auf den großflächigen Anbau möglich. Zwar haben im Zuge der Produktion von Hybridsaatgut einige großflächige Versuche in den USA und in Indien stattgefunden; für Europa und speziell für Deutschland gibt es jedoch keine relevanten Untersuchungen.

Bereits Mitte des 20. Jahrhunderts wurden Versuche zu Einkreuzungen mit Mais durchgeführt; damals mit Sorten, die sich in ihrer Körnerfarbe oder Körnertextur unterschieden. Die Einkreuzungsrate wurde über die Auszählung der farblich abweichenden Körner bestimmt. Dabei kann allerdings die Einkreuzung unterschätzt werden, wenn diese Sorten nicht reinerbig oder genetisch stabil waren. Einkreuzungsraten von GV-Mais werden heute dadurch bestimmt, dass die DNA der Körner im Labor untersucht wird.

In wissenschaftlichen Untersuchungen wurden bis in mehrere hundert Meter Abstand Einkreuzungsraten festgestellt, die deutlich über der Nachweisgrenze für GVO von 0,1 Prozent lagen. Beispiele für maximale Einkreuzungswerte bei unterschiedlichen Entfernungen sind aus Tabelle 4 ersichtlich.

Tabelle 4: Maximale Einkreuzungsraten (in Prozent) bei unterschiedlichen Entfernungen; Angaben aus verschiedenen wissenschaftlichen Studien zu Mais (k. A. = keine Angabe)

Studie aus	Entfernung zur Pollenquelle in Metern			
	100 - 200	300	500 - 650	800
England	0,4 %	k. A.	0,14 %	k. A.
USA	1,4 %	k. A.	k. A.	k. A.
USA	3,7%	1,0 %	0,3 %	k. A.
Kaukasus	0,6 %	k. A.	0,8 %	0,2 %
Maximum	3,7 %	1,0 %	0,8 %	0,2 %

Allgemeingültige Sicherheitsabstände, die Einkreuzungen völlig ausschließen, können aus der derzeitigen wissenschaftlichen Datenlage nicht abgeleitet werden.

Die in verschiedenen wissenschaftlichen Studien ermittelten Einkreuzungsraten variieren stark. Bei gleicher Entfernung weisen manche Proben eines Versuches keine Einkreuzungen, andere aber einen deutlichen Anteil an Einkreuzungen auf.

Dies liegt vor allem daran, dass der Pollen durch Luftströmungen nicht völlig gleichmäßig in der Landschaft verbreitet wird. Insgesamt reicht die Datenlage nicht aus, um wissenschaftlich abgesicherte Isolationsabstände für den Anbau von GV-Mais in Deutschland abzuleiten.

Fest steht, dass die Höhe der Einkreuzungsrate von unterschiedlichen Faktoren abhängt. Die „Pollenkonkurrenz“, also das Verhältnis von GV-Pollen zu nicht GV-Pollen spielt eine wichtige Rolle.

Die Pollenkonkurrenz ist abhängig vom Verhältnis der GV-Maisflächen zu sonstigen Mais-Flächen. Je höher der Anteil an GV-Maisfeldern in einer Region und je größer die GV-Maisfelder, desto höher sind auch die zu erwartenden Einkreuzungsraten im ökologischen Mais. Einkreuzungen sind beim großflächigen Anbau von GV-Mais in erheblichem Maße auch im zentralen Teil des Feldes und nicht nur in Rand-Bereichen zu erwarten. Die Größe des ökologisch bewirtschafteten Feldes spielt eine ähnliche Rolle. Je kleiner die Fläche, desto mehr Einkreuzungen sind zu erwarten.

Die Einkreuzung ist im Randbereich eines Feldes generell höher. Deshalb ist die Form des Feldes von Relevanz. Lange schmale Felder sind anfälliger für Einkreuzungen als kompakte, nahezu quadratische Felder. Lokale Witterungsverhältnisse wie die Windverhältnisse oder das Relief und die Struktur der Landschaft (vorhandene Bäume und Hecken) beeinflussen den Pollenflug und damit die Einkreuzungsrate. Auch Sorteneigenschaften, wie der Blütezeitpunkt und die Blühdauer, haben einen Einfluss auf die Einkreuzung.

E 1.5.2 Durchwuchs

Maissamen und Keimlinge vertragen keinen Frost. Unter deutschen Klimabedingungen kann Mais somit in der Regel keine Wildpopulationen ausbilden.

Anders als bei Raps oder Rüben muss daher bei Mais in Folgekulturen nicht berücksichtigt werden, ob auf dem Feld in den Vorjahren GV-Sorten angebaut wurde. Auch Samen von GV-Mais, die bei der Ernte oder dem Transport auf andere Flächen gelangen, können in Folgejahren nicht auflaufen.

E 1.5.3 Auskreuzung in Wildpflanzen

Der Kultur-Mais stammt ursprünglich aus Mittelamerika. In dieser Region existieren auch verwandte Wildpflanzen wie Teosinthe, die sich mit Mais kreuzen können. Deshalb können dort Gene von GV-Mais auch in Wildpflanzenbestände auskreuzen. Von diesen Wildpflanzen aus können die Gene abermals in Kultur-Mais gelangen.

In Deutschland besitzt Mais jedoch keine natürlichen Kreuzungspartner, daher kann es auch zu keinen Auskreuzungen kommen.

Viele Faktoren beeinflussen den Anteil an Einkreuzung. Die wichtigsten sind die Pollenkonkurrenz, Feldgrößen, Sorteneigenschaften, Witterung und Landschaftsstruktur.

Aufgrund der Witterungsbedingungen tritt in Deutschland bei Mais kein Durchwuchs auf.

Mais kann in Deutschland nicht in Wildpflanzen auskreuzen.

Unbeabsichtigte Vermischungen bei der Ernte, Transport und Lagerung können eine weitere Verunreinigungsquelle sein. Auf diese Problematik wird in Kapitel E 3 eingegangen.

E 1.5.4 Saatgut-Produktion

Die Mindest-Sortenreinheit von Z-Saatgut muss bei Mais nach der Saatgutverordnung (SaatgutV) 98 Prozent betragen. Um diesen Reinheitsgrad sicher zu stellen, verwenden Vermehrer von Saatgut derzeit Distanzen von 200 Meter zu anderen Beständen. Allerdings wird die Reinheit des Saatgutes nur nach äußerlich sichtbaren Merkmalen kontrolliert. Somit werden bei diesen Kontrollen mitunter nicht alle genetisch abweichenden Exemplare ermittelt, die bei Untersuchungen im Labor erkannt werden können.

Der Grenzwert für eine unbeabsichtigte Beimischung von GV-Mais in Mais-Saatgut sollte nach einem Vorschlag der EU-Kommission vom September 2003 bei 0,3 Prozent liegen. Die technische Nachweisgrenze für Beimengungen von GVO liegt derzeit bei 0,1 Prozent.

In der Produktion von Hybrid-Saatgut werden bei Mais diejenigen Pflanzen entfähnt, die das Saatgut liefern. Daher ist das Verhältnis von erwünschtem Pollen zu „fremden“ Pollen im Feld geringer. Die Saatgut-Produktion ist somit anfälliger für Einkreuzungen von GV-Mais als der sonstige Mais-Anbau. Ergebnisse von wissenschaftlichen Untersuchungen, die Einkreuzungsraten bei der Saatgut-Produktion ermittelten, bestätigen dies.

Anhand der wissenschaftlichen Datenlage können derzeit keine Sicherheitsabstände abgeleitet werden, die garantieren, dass weniger als 0,1 Prozent Einkreuzungen auftreten. In der Konsequenz kann die Gentechnikfreiheit des Saatguts nur garantiert werden, wenn in der entsprechenden Region kein GV-Mais angebaut wird und auch aus benachbarten Regionen kein Eintrag erfolgt.

In Deutschland wird bei Mais nur Hybrid-Saatgut verwendet. Das Saatgut wird jedes Jahr neu gekauft, ein hofeigener Nachbau findet nicht statt. Verunreinigungen des Saatgutes können daher nur in der kommerziellen Vermehrung auftreten. Kommerziell wird ökologisches Mais-Saatgut nur im Südwesten von Deutschland vermehrt.

Gentechnikfreiheit kann bei der Saatgut-Produktion vermutlich nur garantiert werden, wenn kein GV-Mais in derselben Region angebaut wird.

Ein hofeigener Nachbau von Mais findet in Deutschland nicht statt.

E 1.6 Kontaminationspfade bei Raps

Raps ist hinsichtlich der Koexistenz eine sehr problematische Pflanze.

Bei Raps erfolgt meist zu einem hohen Anteil Fremdbefruchtung. Die bestäubenden Honigbienen haben sehr weite Aktionsradien. Problematisch ist ferner, dass Rapssamen viele Jahre im Boden überdauern können. Wenn sie keimen, wächst Raps wild oder als Durchwuchs auf. Dadurch können Verunreinigungen über die Jahre auch kontinuierlich zunehmen. Darüber hinaus sind Auskreuzungen in nahe verwandte Wildpflanzen zu bedenken.

Koexistenzampel Raps

Einkreuzung	●
Durchwuchs	●
Wildpopulationen	●
Überdauerung der Samen	●
Verwandte Wildpflanzenarten	●

E 1.6.1 Pollenflug, Bestäubung und Einkreuzung

Rapsfelder produzieren in der Regel über 30 bis 40 Tage Pollen, da sich die Blüten nach und nach öffnen. Die Bestäubung erfolgt durch Insekten und den Wind.

Rapspollen wird durch Insekten und Wind verbreitet.

Bei Rapsblüten ist Selbstbestäubung möglich. Aber es kommt auch zur Fremdbestäubung, weil die Narben einer Blüte drei Tage vor bis drei Tage nach den Staubbeuteln reif sind. In der Regel entstehen daher beim Raps die Samen aus einer Mischung aus Fremd- und Selbstbestäubung.

Wie hoch der Anteil an Fremdbestäubung ist, hängt vor allem von den Rapsorten, dem Standort, der Aktivität und Anwesenheit von Insekten und von den Witterungsbedingungen zur Blütezeit ab. Untersuchungen haben gezeigt, dass blütenfremder Pollen nur zwei Prozent, aber auch bis zu 90 Prozent zur Bestäubung beitragen kann. Im Mittel ist etwa ein Drittel der Blüten fremdbestäubt. Der Anteil an Fremdbestäubung ist erhöht, wenn viele Bestäuber anzutreffen sind.

Der Anteil an Fremdbestäubung beträgt bei Raps etwa ein Drittel. Er kann aber je nach Sorte, Standort, vorhandenen Bestäubern und Witterungsbedingungen stark variieren.

Windbestäubung

Rapspollen ist fast kugelförmig. Mit einem Durchmesser von 25 Mikrometern ist Rapspollen so groß wie Pilzsporen, die hauptsächlich vom Wind verbreitet werden.

Durch Luftströmungen kann der Pollen von Raps nachweislich bis zu 2,5 Kilometer verbreitet werden.

Untersuchungen der Pollenmenge in der Luft zeigen, dass das Ausmaß der Verbreitung von Rapspollen durch Wind erheblich ist. Wie weit und in welche Richtung der Pollen verbreitet wird, hängt vor allem von der vorherrschenden Windrichtung und den sonstigen thermischen Bedingungen während der Blüte ab. Auch die Landschaftsstruktur hat auf die Ausbreitung einen Einfluss. Die weiteste in Untersuchungen belegte Verbreitungsdistanz durch Wind beträgt 2,5 Kilometer.

Insektenbestäubung

Die Blüten von Raps weisen typische Merkmale für Insektenbestäubung auf. Insekten werden durch die leuchtende Farbe, Zucker produzierende Nektarien, den starken Duft und die nach außen offenen Staubbeutel angezogen.

Raps wird durch Honigbienen, solitäre Wildbienen und Hummeln effektiv bestäubt.



Abbildung 3: Die Blüten von Raps werden durch Insekten bestäubt; auch Windbestäubung ist möglich.⁴

Raps wird von Imkern häufig als Bienenweide genutzt. Oftmals ist daher die Honigbiene der wichtigste Bestäuber in Rapsfeldern. Beim Auftreten von wild lebenden Solitärbiene und Hummeln bestäuben diese Raps ebenfalls effektiv. In Brandenburg wurden in und um Rapsfelder 85 verschiedene Bienenarten nachgewiesen. Andere Insekten wie Schwebfliegen, Schmetterlinge und Käfer treten normalerweise seltener auf und bestäuben einen geringeren Anteil der Rapsblüten.

Angaben zu Flugdistanzen von Insekten variieren in Untersuchungen stark. Dies erschwert es, für Raps sichere Isolationsabstände für eine Koexistenz festzulegen. Imker berichten, dass Honigbienen regelmäßig bis zu zwei Kilometer vom Stock entfernt auf Nahrungssuche gehen. Mitunter fliegen Honigbienen aber auch bis zu 14 Kilometer oder weiter. Studien ergaben übliche Sammelradien von über sechs Kilometer um den Bienenstock. Honigbienen können somit eine Fläche von etwa 11.000 Hektar um ihren Stock abdecken.

Honigbienen können Rapspollen über mehrere Kilometer transportieren.

Auch Wildbienen können je nach Körpergröße und Art Strecken zwischen 200 und 800 Metern zurücklegen und Pollen über weite Entfernungen verbreiten. Hummeln können sogar Strecken von bis zu zwei Kilometern zurücklegen. In Tabelle 5 sind zum einen die Aktionsradien verschiedener Insekten dargestellt, zum anderen die sich daraus theoretisch ergebende Kreisfläche, auf der eine Bestäubung möglich ist.

Wildbienen besitzen Aktionsradien von mehreren Hundert Metern, Hummeln sogar von bis zu zwei Kilometern.

Tabelle 5: Aktionsradien verschiedener Insekten und die sich daraus ergebende mögliche Bestäubungsfläche

Insekt	Aktionsradius [m]	Fläche [ha]
Kleine Wildbienen	200	13
Sandbienen	800	201
Hummeln	2.000	1.257
Honigbienen	6.000 (üblich)	11.310
	14.000 bis 23.000 (maximal)	61.575 bis 166.190

Ob Pollen von GV-Raps durch Insekten auf andere Rapsfelder verbreitet wird, hängt auch vom Verhalten der Tiere ab. So fliegen Bienen bei einem Flug meist die gleiche Pflanzenart an, während Hummeln verschiedene Arten aufsuchen. Dafür behalten Hummeln meist für mehrere Flüge eine einmal gewählte Richtung bei der Nahrungssuche bei und fliegen relativ direkte Wege.

Wie wirksam Mantelsaaten und Isolationsdistanzen die Bestäubung durch Insekten vermindern, hängt von der Breite und Art der Mantelsaaten ab. In Untersuchungen wurde Auskreuzung über Mantelsaaten hinaus oftmals reduziert, wenn die Mantelsaaten breiter als acht Meter waren. Schmalere Mantelsaaten erhöhten die Auskreuzungsrate durch Insekten sogar. Die Rate erhöht sich zudem, wenn innerhalb der schmalen Isolationsabstände Raps (beispielsweise als Pollenfänger) angebaut wird. Leere Flächen halten Bienen eher zurück als schmale Mantelsaaten.

Auch die Witterung hat einen großen Einfluss auf die Übertragung von Rapspollen durch Insekten. Eine kühle, feuchte oder stürmische Witterung mindert in der Regel die Flugaktivität der Insekten. Aber auch ein besonders heißes und trockenes Jahr kann die Flugaktivität vermindern.

Fremdbestäubung von Raps zu Raps: Distanzen und Raten

Literaturangaben zu Einkreuzungen unterscheiden sich stark. Dies ist nicht verwunderlich, da verschiedene Faktoren eine Rolle spielen. Dennoch lassen sich gewisse Trends erkennen. Einige Beispiele für maximale Einkreuzungswerte bei unterschiedlichen Entfernungen sind in Tabelle 6 zusammengestellt.

Bei Untersuchungen in Deutschland wurden in einer Entfernung von 6,5 Metern Einkreuzungsraten von bis zu 28,5 Prozent und in 14 Metern Entfernung bis zu 3,8 Prozent festgestellt. Trotz einer zwischen Quelle und Empfänger liegenden fertilen Mantelsaat kam es sogar in über 200 Metern Entfernung zur relativ kleinen Pollenquelle noch zu Einkreuzung von bis zu 0,8 Prozent in Gruppen von Rapspflanzen.

Honigbienen sind blütensteter als Hummeln. Im Bienenstock kann es zusätzlich zur Übertragung von Pollen zwischen den Bienen kommen.

Die Wirksamkeit von Raps-Mantelsaaten ist erst ab einer Breite von acht Metern erwiesen.

Die Höhe von Einkreuzungsraten ist schwer vorher zu sagen, da diese von vielen Faktoren abhängen. Wissenschaftliche Studien liefern jedoch einen groben Rahmen um abzuschätzen, in welcher Größenordnung Einkreuzungen in unterschiedlichen Entfernungen auftreten.

Die hohe Einkreuzungsrate ging vermutlich größtenteils auf Insektenbestäubung zurück.

Tabelle 6: Maximale Einkreuzungsraten (in Prozent) bei unterschiedlichen Entfernungen; Angaben aus verschiedenen wissenschaftlichen Studien zu Raps (k. A. = keine Angabe)

Land der Studie	Entfernung zur Pollenquelle in Metern				
	10-50	50-150	200-500	500-1000	1000-3000
Kanada	1,5 %	0,4 %	k. A.	k. A.	k. A.
Deutschland	3,8 %	k. A.	0,8 %	k. A.	k. A.
Australien	k. A.	0,2 %	0,1 %	0,1 %	0,2 %
Kanada	2,1 %	1,1 %	0,6 %	k. A.	k. A.
Maximum	3,8 %	1,1 %	0,8 %	0,1 %	0,2 %

In Studien aus Kanada hat die Fremdbefruchtungsrate zwischen zwei Rapsfeldern in Entfernungen zwischen 50 und 100 Metern nicht abgenommen. Die Auskreuzungsrate lag jeweils bei bis zu 0,4 Prozent. Andere Untersuchungen aus Kanada haben noch in über 350 Metern Abstand zur Pollenquelle Einkreuzungsraten von über 0,6 Prozent im Mittel ergeben.

In Australien wurden in bis zu drei Kilometern noch Auskreuzungen bis zu 0,2 Prozent ermittelt. Auffällig war dabei, dass bis in diese Entfernung bei den höchsten festgestellten Auskreuzungsraten keine abnehmende Tendenz mit zunehmender Entfernung festgestellt wurde. Die Felder, die als Pollenquelle dienten, waren zwischen 25 und 100 Hektar groß. Im Vergleich zu Studien mit flächenmäßig kleineren Pollenquellen waren die Einkreuzungen im Feld allgemein sehr gleichmäßig verteilt.

Vermutlich sind somit erst bei einer Isolationsdistanz von sechs Kilometern mit einiger Sicherheit keine Einkreuzungen durch GV-Rapspollen mehr in der Ernte nachzuweisen. Um eine Einkreuzungsraten unterhalb der Kennzeichnungspflicht von 0,9 Prozent zu erzielen, lassen die bisherigen wissenschaftlichen Studien vermuten, dass eine Distanz von mindestens 300 Metern notwendig ist.

Die genannten Distanzen berücksichtigen nur Verunreinigungen durch Einkreuzungen. Andere Quellen für Vermischungen mit GVO können jedoch zusätzlich auftreten. Ferner gelten die Distanzen nur für das erste Jahr eines Anbaus von GV-Raps, da durch Summationseffekte (siehe Kapitel E 1.6.4) über die Jahren noch höhere Einkreuzungsraten zu erwarten sind.

Isolationsdistanzen von sechs Kilometern können wahrscheinlich Einkreuzungen effektiv verhindern. Um weniger als 0,9 Prozent Einkreuzungen zu erreichen, sind mindestens 300 Meter notwendig.

E 1.6.2 Überdauerung und Durchwuchs

Auf Feldern, an Feldrändern oder entlang von Transportwegen im Boden verbleibende Rapssamen können mindestens bis zu 15 Jahre keimfähig bleiben. Damit können auch nach der Ernte auf gentechnisch veränderten Rapsfeldern sowie in ihrer Nähe oder entlang von Transportwegen noch nach Jahren transgene Rapspflanzen aufwachsen. Solche Durchwuchspflanzen stellen eine Quelle für GV-Pollen dar.

Auch 15 Jahre nach GV-Raps-Anbau ist aus Durchwuchs noch mit GV-Pflanzen und ihrem Pollen zu rechnen.

Ausfallraps und Durchwuchs

Während eine optimale Aussaatmenge für Raps bei 60 bis 90 Samen pro Quadratmeter liegt, können nach der Rapsernte Tausende Ausfallsamen pro Quadratmeter auf dem Feld verbleiben. In Abhängigkeit von verschiedenen Überdauerungsbedingungen (s. u.) kann ein Teil dieser Samen in den folgenden Jahren als Durchwuchs auflaufen. Die Anzahl der Durchwuchspflanzen kann von Fläche zu Fläche sehr unterschiedlich sein. In Norddeutschland ist ein Durchwuchs von 400 Rapspflanzen pro Quadratmeter nicht ungewöhnlich.

Nach der Ernte bleiben auf Rapsfeldern pro Hektar einige zehn bis mehrere Hundert Kilogramm Samen zurück. Ein Teil von ihnen läuft in den folgenden Jahren als Durchwuchs auf.

Überdauerung von Samen

Nicht jeder Samen, der bei der Ernte ausfällt, bleibt keimfähig. In Vergrabungsversuchen überdauerten mehr als 70 Prozent der Rapssamen im Boden einen Zeitraum von eineinhalb Jahren und fast 60 Prozent sogar fünf Jahre. Solche Überdauerungsraten werden ansonsten nur bei Samen von Ackerwildkräutern beobachtet. Auch wegen weiteren Keimungscharakteristika wird Raps ein ‚Unkrautcharakter‘ zugeschrieben. Bei Vergrabungsversuchen über zehn Jahre überdauerten im Durchschnitt 0,5 Prozent und maximal fünf Prozent der vergrabenen Samen. Fast alle überdauernden Samen keimten innerhalb von vier Tagen, nachdem sie ans Tageslicht kamen und entwickelten gesunde Keimlinge.

Rapssamen verhalten sich bezüglich ihrer Überdauerung und Keimung sehr ähnlich wie Samen von Ackerwildkräutern.

Diese Eigenschaften von Raps machen sich auch im Anbau bemerkbar: Erst sieben Jahre nach der Umstellung auf erucasäurefreie Sorten wurde im Erntegut von Körnerraps ein Erucasäuregehalt von weniger als zwei Prozent erreicht.

Die langjährige Überdauerungsfähigkeit von Rapssamen liegt in der Ausbildung einer Keimruhe, einer so genannten Dormanz begründet. Als dormant (also schlafend) werden Samen bezeichnet, wenn sie unter den für die jeweilige Art optimalen Umweltbedingungen nicht keimen und ein zusätzlicher Faktor beziehungsweise Umweltreiz für die Keimung erforderlich ist. Unter Dormanz ist somit nicht zu verstehen, wenn Samen in Folge widriger Umweltbedingungen wie Wassermangel, Luftabschluss oder ungünstigen Temperaturen nicht keimen.

Rapssamen können eine so genannte Dormanz entwickeln. Die Samen benötigen einen speziellen Reiz, der die Dormanz bricht. Dormante Rapssamen bleiben über lange Zeiträume keimfähig.

Je nach Witterungsbedingungen und Art der Bewirtschaftung kommt es bei Rapssamen in Deutschland zur Keimruhe. So können Temperaturen von unter zwölf Grad Celsius über mehrere Tage eine Keimruhe bei Rapssamen auslösen. Ebenso kann eine frühe Bodenbearbeitung nach der Ernte verbunden mit Trockenheit oder eine sehr späte Bodenbearbeitung im Herbst verbunden mit niedrigen Temperaturen eine Keimruhe begünstigen.

Für die Zusammensetzung der Bodenluft gilt, dass Sauerstoffmangel, CO₂-Überschuss oder andere Gase keimungshemmend wirken können. Die Bodenluft ist wiederum unter anderem abhängig von der Bodentiefe und der kleinräumigen Struktur des Bodens.

Gebrochen wird die Keimruhe durch einwöchigen Lichteinfluss in Kombination mit wechselnden Temperaturen oder aber auch durch Temperaturschwankungen bei Dunkelheit sowie durch Kälteeinwirkung unter bestimmten Feuchtigkeitsbedingungen.

Die Keimung von Rapssamen kann in einem weiten Temperaturbereich erfolgen. Als Minimaltemperatur gilt 1°C. Die Keimung scheint allerdings bei Temperaturen unter 12°C stark verzögert abzulaufen. Mit zunehmender Temperatur nimmt die Keimungsgeschwindigkeit von Rapssamen kontinuierlich zu. Mit fortschreitender Lagerungsdauer keimen Samen jedoch auch in einem für sie ungünstigeren Temperaturbereich.

Da sehr viele Faktoren beteiligt sind, gibt es kein einfaches Schema, nach dem die Überdauerungsfähigkeit der Rapssamen unter gegebenen Bedingungen abgeschätzt werden kann.

E 1.6.3 Einkreuzungsrisiko

Verwilderter Raps

Raps wächst in Deutschland nicht nur als Nutzpflanze auf Äckern, sondern regelmäßig auch wild an Feldrändern, Wegen, Schuttplätzen oder vergleichbaren Standorten.

Raps kann aus der Kultur verwildern und stabile Populationen aufbauen. Regelmäßig gelangen Rapssamen bereits vor oder während der Ernte und beim Transport auf Flächen außerhalb des Ackers. Sie werden durch Wind, Tiere, Menschen oder Maschinen verbreitet. Auf diesem Weg kann auch GV-Raps außerhalb der mit ihm bestellten Äcker aufwachsen. Das erschwert die Koexistenz.

Zudem kann GV-Pollen in wild wachsende Rapspopulationen einkreuzen. Dadurch können GV-Rapssamen innerhalb der Wildpopulationen entstehen und dort verbreitet werden.

Ob Rapssamen keimen, eine Keimruhe ausbilden oder diese wieder gebrochen wird, hängt von vielen Faktoren ab. Vorhersagen sind kaum möglich.

Raps kann in Deutschland verwildern. Durch Ernte- und Transportverluste oder durch Auskreuzungen in Wildpopulationen kann daher auch GV-Raps außerhalb der Ackerflächen aufwachsen. Von dort kann wilder GV-Raps wieder in Rapsfelder einkreuzen.

Wenn GV-Rapssamen aus Ernteverlusten oder Einkreuzungen in Wildpopulationen erfolgreich auflaufen und blühen, kann Pollen von dort wieder in Rapsfelder einkreuzen.

Probleme mit der Verwandtschaft

Der Anteil von Einkreuzungen in Rapsfelder durch nahe verwandten Wildpflanzen ist vergleichsweise gering. Der Vollständigkeit halber soll er an dieser Stelle jedoch erwähnt sein.

In Deutschland besitzt Raps zahlreiche wild wachsende nahe verwandte Pflanzenarten (Abbildung 4). Bei den Kreuzblütlern, zu denen Raps zählt, ist eine erfolgreiche Befruchtung, aus denen fruchtbare Nachkommen hervorgehen, oft auch zwischen nahe verwandten Arten möglich. Manche verwandte Wildpflanzen von Raps kommen daher als Empfänger und in der Folge als Quelle von Transgenen in Frage.

Raps kreuzt sich mit verschiedenen nahe verwandten Wildpflanzen. Transgene können so in Wildpflanzen und von dort in Kultur-Raps gelangen.



Abbildung 4: Nahe Verwandte von Raps in Deutschland sind (v.l.n.r.) Rübsen, Sarepta-Senf, Schwarzer Senf, Kohl, Acker-Senf, Weißer Senf, Hederich, Grausenf, Französische Hundsrauke, Schmalblättriger Doppelsame und Mauersenf⁵

Unter Freilandbedingungen wurden Hybridisierungen von Raps bislang mit Rübsen, Sarepta-Senf, Schwarzem Senf, Grausenf, Hederich und Ackersenf nachgewiesen. Von ihnen sind insbesondere Acker-Senf, Hederich und Rübsen häufig in der deutschen Kulturlandschaft anzutreffende Wildpflanzen. Rübsen wird zudem gelegentlich zur Gründüngung oder als Futterpflanze angesät. Eine Beschreibung dieser Pflanzen findet sich im Anhang AE 1.

Falls wild vorkommende GV-Pflanzen einen Selektionsvorteil durch ihre transgen vermittelten Eigenschaften besitzen, sich also erfolgreicher ausbreiten können als konventionelle Rapspflanzen, wächst der Anteil von GV-Pflanzen in den Wildpopulationen besonders schnell an. Ob oder unter welchen Rahmenbedingungen ein solcher Selektionsvorteil besteht, ist schwer vorher zu sagen. Ein realistisches Szenario ist die Etablierung von transgenen herbizidresistenten Kreuzblütlern auf Bahndämmen, wo mit dem passenden Herbizid gespritzt wird.

E 1.6.4 Summationseffekte

Bei Rapskulturen kann Einkreuzung nicht nur aus benachbarten oder in der weiteren Umgebung blühenden Rapsfeldern erfolgen. Umliegende andere Kulturen mit Raps-Durchwuchs sowie Ruderalraps und verwandte Kreuzblütler können ebenfalls auskreuzen. Einkreuzungen können sich somit aus verschiedenen Quellen speisen. Dies wird häufig als Summationseffekt beschrieben.

Auch die Zeit ist für Summationseffekte verantwortlich. Ein gewisser Prozentsatz der Samen, die aus Einkreuzungen in ökologischen Raps hervorgegangen sind, gelangt in die Samenbank des Ackerbodens. In Folgejahren können sich aus diesen Samen GV-Pflanzen entwickeln und die Ernte direkt und durch Auskreuzungen belasten.

Da sie innerhalb des ökologischen Feldes aufwachsen, ist die Gefahr für neue Einkreuzungen besonders hoch. In der Ernte ist ein höherer Anteil an GV-Raps als im Vorjahr zu erwarten. Dadurch gelangt ein größerer Anteil an GV-Samen als im Vorjahr in den Ackerboden und die Gefahr für Verunreinigungen erhöht sich für das folgende Jahr abermals. Über mehrere Jahre kann auf diese Weise der Anteil an GV-Raps in der Ernte eines Öko-Betriebes beständig zunehmen.

In wilden Populationen von Raps und in Populationen nahe verwandter Wildpflanzen können sich Transgene ebenfalls über längere Zeiträume durch Einkreuzungen ansammeln. Zusätzliche Wildpopulationen von GV-Raps können jedes Jahr durch neuerliche Ernte- und Transportverluste entstehen. Mit steigendem Anteil oder steigender Anzahl ruderaler GV-Rapspopulationen und verwandter Wildarten, die Transgene tragen, nehmen auch Auskreuzungen in ökologischen Raps zu.

Einkreuzungen in ökologischen Raps können sich aus mehreren Quellen speisen.

Wird GV-Raps über viele Jahre angebaut, ist damit zu rechnen, dass der Anteil an Verunreinigungen in der ökologischen Ernte kontinuierlich ansteigt. Ein wichtiger Grund ist aus Einkreuzungen hervorgegangener Durchwuchs von GV-Raps.

Auch Wildpopulationen von Raps und nahe verwandte Wildpflanzen mit GV-Anteilen können mit der Zeit eine zunehmende Gefahr für GV-Einkreuzungen in ökologischen Raps werden.

E 1.6.5 Saatgut-Produktion

Die Mindest-Sortenreinheit von Z-Saatgut muss bei Raps 99,7 Prozent betragen. Raps-Hybridsaatgut muss lediglich eine Sortenreinheit von 90 Prozent aufweisen. Die Reinheit des Saatgutes wird in der Regel nur nach äußerlich sichtbaren Merkmalen kontrolliert. Um den Reinheitsgrad zu erreichen, ist ein Isolationsabstand von 100 Metern, für Hybridsaatgut von 300 Metern, vorgeschrieben. Vermehrer von Saatgut halten in der Regel aber einen größeren Abstand von durchschnittlich 1000 Metern zu anderen Rapsbeständen ein.

Konventionell wird Raps-Saatgut in Deutschland insgesamt auf rund 6000 Hektar vermehrt, wobei die meisten Flächen im Norden und im Osten Deutschlands liegen. Die Vermehrung von ökologischem Rapssaatgut führt die Deutsche Saatveredelung für Winterraps auf zwei Flächen in Nordrhein-Westfalen und für Sommerraps auf zwei Flächen in Niedersachsen durch.

Gentechnikfreiheit kann bei der Saatgut-Produktion nur garantiert werden, wenn kein GV-Raps in derselben Region angebaut wird.

Um eine Gentechnikfreiheit von Rapssaatgut zu garantieren, kann angesichts der Summationseffekte bei Raps kein Isolationsabstand vorgeschlagen werden. Vielmehr darf in einer entsprechend großen Region kein GV-Raps angebaut werden und auch aus benachbarten Regionen kein Eintrag erfolgen.

E 1.7 Kontaminationspfade bei Rüben

Beim Anbau von Rüben ist besonders problematisch, dass manche Pflanzen bereits im ersten Jahr blühen und Samen produzieren. Dadurch können Unkrautrüben entstehen. Rüben können sich mit nahe verwandtem Gemüse, wie zum Beispiel Mangold, kreuzen.

Koexistenzampel Rüben

Einkreuzung ⁶	●
Durchwuchs	●
Wildpopulationen	●
Überdauerung der Samen	●
Verwandte Wildpflanzenarten	●

E 1.7.1 Schosser, Pollenflug und Einkreuzung

Die Zucker- und Futterrübe sind zweijährige Kulturpflanzen. Das heißt, Rüben 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, die Schosser, schon im ersten Jahr. Im Durchschnitt sind dies weniger als ein Prozent. Schosser sowie Pflanzen, die zur Samenproduktion über zwei Jahre angebaut werden, produzieren Pollen.

Ein Teil der Rüben blühen schon im ersten Jahr. Diese Schosser können Samen produzieren und sich als Unkrautrüben weiter verbreiten.

Generell ist der Anteil an Schossern von der Sorte und den Umweltbedingungen abhängig. Vor allem ein Kältereiz (Vernalisation) mit Temperaturen zwischen 1 und 7°C während des Zwei- bis Vierblattstadiums lässt Rüben noch im selben Jahr blühen. Die Züchtung zielt aber auf einen möglichst geringen Anteil an Schossern ab. Solche schossfesten Rüben bilden auch nach Einwirkung kühler Witterung später im Jahr keine Blütentriebe aus. Bevor Rüben etwa bei der Saatgutproduktion im zweiten Jahr blühen, benötigen sie eine Vernalisation.

Bei Schossern unterscheidet man nach der Herkunft des Schossgens verschiedene Typen:

- **Einkreuzungsschosser** wachsen aus Samen, die auf eine Einkreuzung aus Wildrüben zurückzuführen sind. Wildrüben blühen im ersten Jahr.
- **Sortenreine Schosser**, auch leichte Schosser genannt, haben durch eine Rückmutation die Einjährigkeit erlangt. Sie benötigen zum Blühen zumeist trotzdem einen Kältereiz. Solche Rüben können auch als Same auf der Mutterpflanze bereits niedrige Temperaturen erlebt haben.
- **Schosser** können auch auf Samen von **Unkrautrüben** zurückgeführt werden, die immer einjährig sind.

Auch Teilstücke von Rüben, besonders Rübenköpfe, die nach der Ernte im Boden verblieben sind, können bei mildem Winter im Folgejahr Blütenstände bilden.



Abbildung 1: Im ersten Jahr bilden die Zucker- und Futterrüben den Rübenkörper aus und blühen erst im zweiten Jahr.⁷

Pollenflug

Eine Rübenstaude kann fast eine Milliarde Pollen produzieren. Der Pollen ist sehr klein und wird hauptsächlich durch Wind verbreitet. Da die Blüten Nektar produzieren, findet ebenfalls Bestäubung durch Insekten statt. Insekten spielen bei der Pollenverbreitung möglicherweise gerade in den kommerziellen Anbaugeländen eine Rolle, da dort normalerweise nur wenige Zuckerrübenpflanzen pro Feld zur Blüte gelangen und somit die Pollendichte gering ist.

Rübenpollen gelangt im bestäubungsfähigen Zustand bis über 1000 Meter weit. Sogar bis zu einem Abstand von fünf Kilometern wurde noch Pollen nachgewiesen. Wegen des weiten Pollenfluges hat die Europäische Umweltbehörde die Auskreuzungsfrequenz für Rüben in die Kategorie mittel bis hoch eingestuft.

Neben Wind verbreiten auch Insekten Rübenpollen.

Einkreuzung

Rüben sind fremdbestäubend. Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit einer Einkreuzung. Insgesamt gibt es nur wenige Untersuchungen, die Auskreuzungsereignisse bei Rüben betrachten. Veröffentlichungen beziehen sich häufiger auf Kreuzungsmöglichkeiten mit Wildpopulationen und verwandten Beta-Arten, da dies beim Anbau von gentechnisch veränderten Rüben bedeutungsvoll ist. Auskreuzungsdistanzen werden dabei zumeist nicht genannt.

Tabelle 7: Maximale Einkreuzungsraten bei unterschiedlichen Entfernungen; Angaben aus verschiedenen Studien zu Futter- und Zuckerrüben (k. A. = keine Angabe)

Land der Studie	Entfernung zur Pollenquelle in Metern					
	10	75-100	200	200-400	400-600	600-800
Deutschland	k. A.	k. A.	k. A.	1,3 %	k. A.	k. A.
Dänemark	k. A.	k. A.	k. A.	0,42 %	0,11 %	0,12 %
Deutschland	83 %	9 %	40 %	0 %	k. A.	k. A.
Dänemark	3,6 %	0,31 %	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Frankreich	k. A.	0,8 %	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Absolutes Maximum	83 %	9 %	40 %	1,3 %	0,11 %	0,12 %

In Deutschland wurde Einkreuzung aus einer Unkrautrübenpopulation in Schosser eines 500 Meter entfernten Zuckerrübenfeldes beobachtet. Die Einkreuzungsrate betrug 1,3 Prozent. Untersuchungen aus Frankreich und Dänemark betrachteten Auskreuzungen von Zuckerrüben in männlich sterile Zuckerrüben. Dabei wurden stark schwankende Ergebnisse festgestellt. In 200 Metern Entfernung betrug die Einkreuzung in einer Messung bis zu 40 Prozent. Die Einkreuzungsrate hängt unter anderem stark von der Sorte ab.

Die wenigen Untersuchungen zeigen, dass Rüben, die zur Blüte kommen, ein großes Potential haben, ihren Pollen weit zu verbreiten.

Rüben-Blütenstände sind sehr empfindlich für Einkreuzungen auch über Hunderte von Metern.

E 1.7.2 Überdauerung von Rübensamen und Durchwuchs

Samen von Beta-Rüben sind nicht winterhart. In oberen Bodenschichten überdauern Rübensamen daher im Winter nur eine begrenzte Zeit. In tieferen Bodenschichten können Rübensamen aber bis zu zehn Jahre überdauern. Das bedeutet, dass über diesen Zeitraum in einem ehemaligen Rübenfeld Rübendurchwuchs auftreten kann. In der Rübensaatgutvermehrung wird darauf geachtet, dass auf dem Feld seit fünf Jahren kein Zuckerrübenanbau stattgefunden hat, damit keine Durchwuchsrüben aus alten Samen aufwachsen.

In tieferen Bodenschichten ist eine Überdauerung von Rübensamen über viele Jahre möglich.

E 1.7.3 Unkrautrüben und Wildpopulationen

In Feldern, auf denen Rübensamen zurückgeblieben sind, können Rüben in den nachfolgenden Jahren als Unkrautrüben auftreten. Unkrautrüben sind einjährig.

In manchen Gebieten Europas treten Rüben als starkes Unkraut auf, das schwer zu kontrollieren ist und sich zudem ausbreitet. Dann können auch bei Rüben verwilderte Rübenbestände als Wildpopulationen auftreten. Verwilderte Zuckerrüben hat man in Österreich, in der Schweiz, in England, Frankreich und Tschechien nachgewiesen. Allerdings scheinen sich keine Wildpopulationen der Zuckerrübe außerhalb von Ruderalflächen dauerhaft etablieren zu können.

Auch hier gelten die Überlegungen, die bereits für Raps angestellt wurden, dass diese Unkrautrüben und verwilderten Pflanzen gentechnische Veränderungen aufnehmen und weitergeben können.

Unkraut- und Wildrüben können Träger von Transgenen sein, wenn in Ihrer Umgebung gentechnisch veränderte Rüben angebaut wurden und zur Blüte kamen. Aus solchen transgenen Unkraut- und Wildrübenbeständen kann wiederum eine Auskreuzung in die Blütenstände anderer Rübenfelder erfolgen.

Unkrautrüben und Wildrüben blühen jedes Jahr. Da sie keine großen Rüben ausbilden, werden sie nicht geerntet. GV-Wild- und Unkrautrüben würden deshalb keine gentechnische Kontamination der Ernte verursachen. Sie können allerdings ein Unkrautproblem darstellen.

E 1.7.4 Probleme mit der Verwandtschaft

Die Rübe (*Beta vulgaris*) ist eine Pflanzenart, die aus zahlreichen verschiedenen kultivierten und auch wilden Formen besteht. Diese Art unterteilt sich in verschiedene Varietäten der Unterart *vulgaris*, die alle als Nutzpflanzen verwendet werden, und die Wildrübe, die Unterart *maritima*.

Tabelle 2: Überblick über die kultivierten Formen der Pflanzenart *Beta vulgaris* sowie die in Deutschland vorkommende Wildform der Rübe

Art/ Spezies	Wissenschaftlicher Name		Deutscher Name
	Unterart/ Subspezies (ssp.)	Varietät (var).	
<i>Beta vulgaris</i>	<i>vulgaris</i>	<i>altissima</i>	Zuckerrübe
<i>Beta vulgaris</i>	<i>vulgaris</i>	<i>crassa</i>	Futterrübe
<i>Beta vulgaris</i>	<i>vulgaris</i>	<i>cicla</i>	Schnittmangold
<i>Beta vulgaris</i>	<i>vulgaris</i>	<i>flavescens</i>	Blattmangold
<i>Beta vulgaris</i>	<i>vulgaris</i>	<i>vulgaris</i>	Rote Bete
<i>Beta vulgaris</i>	<i>vulgaris</i>	<i>lutea</i>	Gelbe Bete
<i>Beta vulgaris</i>	<i>maritima</i>		Wildrübe

Die Wildform der Rübe, die Wildrübe (auch Meerstrands-Rübe oder Meermangold genannt) kommt in Küstengebieten vor. Dies sind zum Teil auch Anbaugelände der Zuckerrübe. Kreuzungen zwischen Wildrübe und Zuckerrübe wurden wiederholt nachgewiesen. Solche Kreuzungen der Wildrübe mit der Zuckerrübe werden sogar extra in der Züchtung ausgeführt, da sie zur genetischen Vielfalt der Zuckerrübe beitragen. Das bedeutet, dass die Wildrüben wertvolle Genressourcen für die Züchtung darstellen.

Zu Zucker- und Futterrüben gibt es eine Reihe nahe verwandter Nutzpflanzen, nämlich Schnittmangold, Blattmangold, Rote Bete und Gelbe Bete. Sie sind Varietäten einer Unterart (siehe Tabelle 2). Das bedeutet, dass zwischen ihnen keine Kreuzungsbarrieren bestehen. Vielmehr können sie sich miteinander kreuzen und fruchtbare Nachkommen bilden. Nachkommen aus transgenen Zuckerrüben und Mangold und transgenen Zuckerrüben und Roter Bete wurden auch in einigen Freisetzungsversuchen erzeugt, um ihr Verhalten näher zu untersuchen.

Schnittmangold, Blattmangold, Rote Bete und Gelbe Bete werden in ganz Deutschland kleinräumig angebaut, sowohl kommerziell als auch privat. Über die genaue Verbreitung der Varietäten Mangold, Rote Bete und Gelbe Bete in Deutschland ist aber wenig bekannt. Mangold wird kommerziell vor allem in der Pfalz im Freiland angebaut. Für Rote Bete gibt es in Deutschland kein spezielles Anbaugelände. Gelegentlich findet man diese Varietäten auch verwildert.

Rüben, Schnittmangold, Blattmangold, Rote Bete und Gelbe Bete sind sehr eng verwandt und daher frei miteinander kreuzbar.

Auch Schnittmangold, Blattmangold, Rote Bete und Gelbe Bete beispielsweise in Kleingärten können wie Wild- und Unkrautrüben zu Trägern von Transgenen werden, wenn sie zur Blüte gelangt sind und eine gentechnische Veränderung eingekreuzt hat.

Für die Kreuzung von Rüben mit Roter Bete oder Rüben mit Mangold ist es jeweils nötig, dass diese Pflanzen ebenfalls blühen. Über die Schosserbildung von Roter Bete ist wenig bekannt. Bei Mangold kann die Pflanze auch im Frühjahr des zweiten Jahres bis zur Blüte geerntet werden.



Abbildung 2: Mangold kann bis zu Blüte im zweiten Jahr nach der Aussaat geerntet werden; hier Feldanbau von verschiedenfarbigem Mangold im Sommer 2002^{8,2}

E 1.7.5 Saatgut-Produktion

Rübensaatgut

Die Mindest-Sortenreinheit von zertifiziertem Saatgut muss bei Zucker- und Futterrüben nach der Europäischen Richtlinie über den Verkehr mit Beta-rübensaatgut 97 Prozent betragen. Um diesen Reinheitsgrad sicher zu stellen, sind 1000 Meter als Isolationsabstand zu allen Beta-Arten vorgeschrieben.

Zu tetraploiden (mit vierfachem Chromosomensatz) Bestäubungsquellen sollten mindestens 600 Meter und zu diploiden (mit doppeltem Chromosomensatz) Bestäubungsquellen mindestens 300 Meter Abstand eingehalten werden.

Allerdings wird die Reinheit des Saatgutes nur nach äußeren Merkmalen kontrolliert. Somit werden bei diesen Kontrollen mitunter nicht alle genetisch abweichenden Exemplare ermittelt, die bei Untersuchungen im Labor erkannt werden können.

Der Grenzwert für eine unbeabsichtigte Beimischung von GV-Rübensamen in Rüben-Saatgut sollte nach dem letzten Vorschlag der EU-Kommission vom September 2003 bei 0,5 Prozent liegen.

Die Vermehrung von Zuckerrübensaatgut führen alle Unternehmen, die in Deutschland Saatgut vertreiben, in Südfrankreich und Norditalien durch. Die dortigen milden Winter und langen Sommer sind für die Reifung der Samen wichtig. In Deutschland selber gibt es allerdings einige Zuchtstationen, in

Gentechnikfreiheit kann bei der Saatgut-Produktion vermutlich nur garantiert werden, wenn keine GV-Rüben in derselben Region angebaut werden.

denen Ausgangslinien für die Saatgutvermehrung gezüchtet werden. In Deutschland wird ähnlich wie beim Mais auch bei Rüben Hybrid-Saatgut verwendet.

Das Saatgut wird jedes Jahr neu gekauft, ein hofeigener Nachbau von Rübensaatgut findet auch wegen der aufwendigen Aufbereitung des Saatgutes nicht statt. Verunreinigungen des Saatgutes können daher nur in der kommerziellen Vermehrung auftreten.

Ein hofeigener Nachbau von Rübensaatgut findet nicht statt.

Die auf dem Markt erhältlichen Öko-Zuckerrübensorten sind diploid (mit doppeltem Chromosomensatz). Konventionell werden auch triploide Hybride (mit dreifachem Chromosomensatz) vertrieben. Zur Züchtung von triploiden Sorten werden männlich sterile diploide und tetraploide (mit vierfachem Chromosomensatz) fertile Rüben verwendet.

Die triploiden Hybriden sind wegen des Ungleichgewichts der Chromosomenanzahl und wegen der ererbten zytoplasmatischen männlichen Sterilität zumeist steril. Aber auch von solchen Hybriden können einige Pflanzen fruchtbaren Pollen bilden.

Die Rate der Hybridisierung zwischen Zuchtrüben und Unkrautrüben oder Wildrüben hängt von dem Ploidiegrad der Zuchtrüben ab. Eine unterschiedliche Ploidie kann die Befruchtung oder die Fertilität der Hybriden verhindern.

Ein Eintrag einer gentechnischen Veränderung kann über einen Umweg über Unkrautrüben erfolgen, wenn die unterschiedliche Ploidie für die Kreuzung mit Wildrüben eine Hürde darstellt. Unkrautrüben können damit genetisch aber auch geographisch eine Brücke für Auskreuzungen darstellen.

Gemüsesaatgut

Saatgutvermehrung von Mangold und Rote Bete findet in zahlreichen Gärtnereien in ganz Deutschland statt. Gerade in der Gemüsesaatvermehrung überwiegen kleine und mittelständische Unternehmen, deren Flächen zur Saatgutproduktion über ganz Deutschland verteilt sind. Samenbau bei Mangold und Roter Bete wird auch von Kleingärtnern betrieben.

Eine kleinräumige und private Saatgutproduktion von Mangold und Rote Bete findet in ganz Deutschland statt.



Abbildung 3: Blühende Rüben können miteinander kreuzen: links Rote Bete zur Saatgut-Erzeugung im Sommer 2002⁹.

¹ Photo: Wolf Friedmann, stock.xchng (www.sxc.hu)

² Die Einkreuzung durch GV-Pollen wird erst in Zusammenhang mit Durchwuchs problematisch, weil Pollenflug nicht die Rüben und damit die Ernte kontaminiert. Bei konsequenter Schosserkontrolle kann die Einkreuzung in der Rübenproduktion kontrolliert werden.

³ Photo: Thorte, www.PhotoCase.de

⁴ Photo: Walter Christ

⁵ Zusammenstellung von Zeichnungen aus: 'Crucifers of Great Britain and Ireland', B.S.B.I. Handbook No.6, T.C.G. Rich, Botanical Society of the British Isles (Hrsg.), London, 1991. Die Autoren danken der Botanical Society of the British Isles für die freundliche Genehmigung der Nutzung der Pflanzenzeichnungen!

⁶ Die Einkreuzung durch gentechnisch veränderten Pollen wird erst im Zusammenhang mit Durchwuchs problematisch, weil Pollenflug nicht die Rüben und damit die Ernte, sondern die Samen kontaminiert. Bei konsequenter Schosserkontrolle kann die Einkreuzung beim Rübenanbau kontrolliert werden.

⁷ © BLE, Bonn / Foto: Thomas Stephan

⁸ © BLE, Bonn / Foto: Dominic Menzler

⁹ © BLE, Bonn / Foto: Dominic Menzler

Literatur:

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.

Brauner, R., Moch, K. & Christ, H. (2004): Aufbereitung des Wissensstandes zu Auskreuzungsdistanzen., Öko-Institut e.V., Freiburg (Auftraggeber: Bundesamtes für Naturschutz).

Brauner, R. (2002): Gen-Transfer - na und? Gentechnik Nachrichten Spezial 11/12, Öko-Institut e.V.

Breckling, B. et al. (2005): GenEERA Forschungsverbund Generische Erfassung und Extrapolation der Raps-Ausbreitung. Abschlussbericht Mai 2001 - April 2004.

Oberdorfer, E. (1994): Pflanzensoziologische Exkursionsflora. Ulmer, Stuttgart.

Schlink, S. (1994): Ökologie der Keimung und Dormanz von Körnerraps (*Brassica napus* L.) und ihre Bedeutung für eine Überdauerung der Samen im Boden. Dissertationes Botanicae 222, Cramer Verlag, Berlin.

Sebald, O., Seybold, S., Philippi, G. (1993): Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs. Bd.2, Ulmer, Stuttgart.

Stand: Mai 2005