

Auskreuzungsstudien bei Mais: Überblick, Bewertung, Forschungsbedarf

Von MAREN LANGHOF und GERHARD RÜHL, Braunschweig

1 Einleitung

Weltweit ist der wachsende Trend zum Anbau gentechnisch veränderter (gv) Pflanzen ungebrochen und erreichte im Jahr 2006 erstmals eine Gesamtfläche von mehr als 100 Millionen Hektar (33). Dies stellt gegenüber dem Vorjahr eine Steigerung um 13 % dar. Als gentechnisch veränderte Kulturarten dominieren Soja, Mais, Baumwolle und Raps. Verbreitetste gentechnische Veränderungen sind Herbizid- und Insektenresistenz.

Auch in der Europäischen Union (EU) nimmt der Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen zu, sieht man von dem Ausstieg Rumäniens aus dem gv-Sojaanbau nach dem EU-Beitritt ab. In der EU wird bislang ausschließlich Bt-Mais (MON 810) angebaut. Allerdings steht die Zulassung einer hinsichtlich der Stärkequalität gentechnisch veränderten Kartoffelsorte kurz bevor. Im Jahr 2006 betrug die Gesamtanbaufläche der Bt-Maissorten insgesamt 62 000 ha und somit etwa 1 % der Maisanbaufläche der EU. Angebaut wurde in Spanien, Frankreich, Tschechien, Portugal und Deutschland. Im Jahr 2007 stieg die mit Bt-Mais bewirtschaftete Fläche in diesen Ländern auf insgesamt etwa 110 000 ha mit Spanien als Haupterzeuger (75 000 ha), gefolgt von Frankreich mit ca. 20 000 ha sowie Tschechien, Portugal und Deutschland mit jeweils 5000, 3000 bzw. 2685 ha. In Deutschland wird Bt-Mais seit 2005 angebaut, die Anbaufläche betrug im ersten Anbaujahr 342 ha und stieg im Jahr 2006 auf 947 ha (10).

Den Anbau gentechnisch veränderter Kulturarten in der EU regelt die EU-Freisetzungsrichtlinie 2001/18/EG, die seit April 2004 in allen EU-Staaten rechtsverbindlich ist. Zusätzlich wird durch die Verordnung (EG) 1830/2003 die Rückverfolgbarkeit und Kennzeichnung von gentechnisch veränderten Organismen (GVO) auf allen Stufen des Inverkehrbringens sowie die Möglichkeit der Festsetzung von Schwellenwerten geregelt. Die Umsetzung dieser rechtlichen Regelungen in Deutschland stellt das Gentechnikgesetz dar.

Als Kennzeichnungsschwellenwert für gentechnisch veränderte Lebens- und Futtermittel wurde ein gv-Anteil von 0,9 % festgelegt. Dieser Schwellenwert besagt, dass ein Produkt als gentechnisch verändert deklariert werden muss, wenn der gv-Anteil oberhalb von 0,9 % liegt. Unterhalb dieses Werts kann allerdings nur dann auf eine Kennzeichnung verzichtet werden, wenn der gv-Anteil zufällig und technisch unvermeidbar ist. Ein entsprechender Schwellenwert für Saatgut ist in der EU bisher nicht festgelegt worden.

Durch die Richtlinie 2001/18/EG wird außerdem explizit die Koexistenz der unterschiedlichen Bewirtschaftungsweisen (ökologisch, konventionell und unter Verwendung von gv-Sorten) gefordert. Dazu hat die EU-Kommission am 23.07.2003 Leitlinien herausgegeben, auf deren Grundlage die Mitgliedstaaten die Umsetzung in nationales Recht durchzuführen haben. In Deutschland findet diese Umsetzung durch die Aufnahme verbindlicher Regeln der Guten Fachlichen Praxis des Bt-Maisanbaus im Rahmen der bevorstehenden Novellierung des Gentechnikgesetzes statt. Darin sollen z. B. auf der Basis der begrenzt verfügbaren Literatur und erster Ergebnisse des seit 2005 laufenden „Forschungsprogramms des BMELV zur Sicherung der Koexistenz“ verbindliche Mindestab-

stände für Bt-Maisschläge in Nachbarschaft zu konventionellen Maisfeldern sowie ökologischer Maisproduktion festgelegt werden. Zurzeit werden 150 bzw. 300 m erwogen.

Koexistenz bedeutet in diesem Zusammenhang, dass gv-nutzende, konventionelle und ökologische Pflanzenerzeugung nebeneinander praktiziert werden können, ohne sich gegenseitig negativ zu beeinflussen. Von besonderer Bedeutung ist dabei, dass in ökologischem und konventionellem Erntegut der gv-Anteil unterhalb des Kennzeichnungsschwellenwertes von 0,9 % liegt. Ein solcher unerwünschter gv-Anteil in einer konventionell oder ökologisch produzierten Maiserntepartie kann seinen Ursprung an verschiedenen Stellen des Produktionsablaufs haben, z. B. infolge einer Saatgutverunreinigung sowie des Verbleibs von gv-Saatgut in Drillmaschinen, Mähreschern, Transport- und Lagerbehältern (52). Eine der wichtigsten Quellen stellt allerdings die Befruchtung des nicht gentechnisch veränderten (ngv)-Mais mit gv-Pollen (Auskreuzung) aus benachbarten gv-Maisbeständen dar. Somit ist die Sicherstellung der Koexistenz im Maisanbau eng mit der Minimierung der Auskreuzung verbunden.

Ziel dieses Reviews ist es, auf der Grundlage der verfügbaren Literatur mögliche Maßnahmen zur Reduktion der Auskreuzung von gv-Mais, einer Hauptkomponente zur Sicherstellung der Koexistenz beim Maisanbau, zu identifizieren und zu bewerten sowie notwendigen Forschungsbedarf abzuleiten. Dazu werden die bisher verfügbaren Arbeiten zur Auskreuzung von Mais kategorisiert, die relevanten Inhalte der Studien beschrieben und bezüglich ihrer Bedeutung für die Koexistenz diskutiert. In diesem Artikel wird dabei prinzipiell der Begriff „Auskreuzung“ verwendet und nicht zwischen „Auskreuzung“ (aus dem gv-Feld) und „Einkreuzung“ (in das ngv-Feld) unterschieden. Studien zu Pollenflug und -deposition werden in diesem Review nicht behandelt. Der bloße Nachweis des Polleneintrags in ein Feld hinein ist nicht geeignet, Auskreuzungsereignisse abzuleiten, da diese neben der Verfügbarkeit und Fitness von (lebendem) Pollen u. a. von klimatischen Bedingungen, Befruchtungsfähigen weiblichen Blütenständen und der Menge des vorhandenen lokalen Pollens (Pollenkonkurrenz) abhängen.

1.1 Artspezifische Besonderheiten von Mais

Mais ist eine einjährige Kulturart. Der Blütenstand des Mais ist einhäusig getrennt geschlechtlich (monözisch diklin). In der Literatur wird der Mais als ursprünglich protandrisch beschrieben; d. h., die männliche Blüte entwickelt sich vor der weiblichen mit lediglich kurzer Überschneidungsphase. Durch die züchterische Bearbeitung ist die Protandrie in aktuellen Hybridsorten nicht mehr vorhanden, männliche und weibliche Blüten entwickeln sich also nahezu synchron.

Mais ist vorwiegend Fremdbefruchter. Der Anteil der Selbstbefruchtung variiert zwischen 1 und 15 % (31). Maispollen wird hauptsächlich durch Wind verbreitet. Aufgrund seiner morphologischen Eigenschaften (verhältnismäßig groß und schwer) besitzt er aber eine eingeschränkte Flugfähigkeit. Die Lebensdauer von Maispollen hängt stark von den klimatischen Bedingungen, insbesondere Temperatur und Luftfeuchte, ab (20) und kann wenige Minuten bis mehrere Stunden betragen (30).

Mais besitzt in Europa keine natürlichen Kreuzungspartner (45). Er etabliert sich außerdem wegen der hohen Ansprüche an die Keimtemperatur und der fehlenden Frosthärte nicht auf Ruderalstandorten. Durchwuchs tritt bei Mais nur in äußerst geringem Umfang nach milden Wintern auf; dies konnte z. B. im Jahr 2007 im gesamten Bundesgebiet auf Maisschlägen des Vorjahres beobachtet werden. Durchwuchs kann in Mais-Monokulturen problematisch sein, wenn z. B. von gv- auf ngv-Mais umgestellt werden soll. Im Rahmen einer Fruchtfolge ist das jedoch auf einfache Weise zu regulieren.

2 Testsysteme und Versuchsfelddesigns

Studien zur Auskreuzung bei Mais sind mit unterschiedlicher Zielsetzung durchgeführt worden. Vornehmlich ältere Studien dienten der Prüfung des Ausmaßes einer Auskreuzung aus benachbarten Maisschlägen im Rahmen der Saatguterzeugung (9; 15; 27). Mangels Alternativen wurden meist unterschiedliche phänotypische Marker wie Kornform oder -farbe verwendet. Der Nachweis der Auskreuzung erfolgte dabei visuell anhand der jeweiligen Eigenschaft. In einigen Studien wurden die Empfängerschläge teilweise entfannt und damit die intraspezifische Pollenkonkurrenz ausgeschaltet (z. B. 15; 23; 26).

Der Aspekt der Koexistenz ist verhältnismäßig neu, daher sind mit dieser Zielrichtung durchgeführte Studien ausnahmslos neueren Datums (5; 8; 11; 12; 14; 16; 17; 18; 27; 37; 39; 41; 42; 43; 46; 47; 60; 61; 62). Neben den genannten phänotypischen Markern wurden und werden dabei molekulare Marker oder Testsysteme bestehend aus einer gv-Sorte und einer konventionellen Maissorte bzw. der jeweiligen isogenen Hybride eingesetzt. Als gv-Maissorte kann sowohl Bt-Mais (17; 37; 50; 53; 56; 60) als auch eine herbizidresistente Maissorte (11; 12; 62) eingesetzt werden. Der quantitative Nachweis des molekularen Markers sowie des gv-Konstrukts erfolgt dabei mittels real-time PCR. Im Falle der Herbizidresistenz kann auch ein einfacher Keimtest zum Einsatz kommen.

Die verschiedenartigen Testsysteme unterscheiden sich allerdings hinsichtlich der Zytotie des verwendeten Markers. In Testsystemen, die gv-Mais als Pollenspender nutzen, tritt das eingefügte Gen in den zurzeit in Deutschland zugelassenen Sorten lediglich hemizygot auf; es ist also nur in 50 % des ausgeschütteten Pollens vorhanden. In visuell auswertbaren Testsystemen ist das Merkmal Kornfarbe oder Kornform jedoch homozygot ausgeprägt und die entsprechende Erbinformation folglich in 100 % des Pollens enthalten. Somit sind unter identischen klimatischen Bedingungen auf einem Farbmarkersystem basierende Auskreuzungsraten höher als die anhand eines gv-Testsystems ermittelten (50).

Ein Maiskorn ist aus drei Geweben mit unterschiedlicher Herkunft (mütterlich, väterlich) und unterschiedlichem Ploidiegrad (diploider Embryo, triploides Endosperm, diploides Perikarp) zusammengesetzt. Experimentelle Laborstudien zeigten, dass die DNA- und Massenanteile dieser drei Gewebe sehr unterschiedlich sein können (48; 55). Angesichts dieser vielen Faktoren ist die Diskussion zu einem allgemeinen Umrechnungsfaktor noch nicht abgeschlossen (42).

In Deutschland wurden sowohl Farbmarker, molekulare Marker als auch gv-basierte Testsysteme eingesetzt (17; 37; 53; 60; 62). Als Farbmarker steht die weißkörnige Mais-hybride DSP 17007 (Delley Samen und Pflanzen AG) zur Verfügung, die eine für mitteleuropäische Bedingungen angepasste Entwicklung aufweist (Reifezahl 240). Diese Sorte ist allerdings nur als Pollenrezipient nutzbar, da die weiße Kornfarbe rezessiv vererbt wird. Aufgrund einer für heutige Hybridsorten untypischen Protandrie von 3 – 5 Tagen, die diese Maissorte in deutschen Feldversuchen zeigte (37), ist dieses auf der weißkörnigen Maissorte basierende Testsystem nur für bestimmte Fragestellungen im Rahmen der Koexistenz nutzbar.

Ein weiteres Testsystem, das in Deutschland genutzt wurde, basiert auf dem Sortenpaar NK Bull und NK Cool der Firma Syngenta (37). Es nutzt einen eindeutigen molekularen Marker der Sorte NK Bull, dessen Gensequenz (caffeoyl-CoA-3-O-Methyltransferase) mittels real-time PCR detektierbar ist und in der Sorte NK Cool explizit fehlt. Ergebnisse dieses Testsystems führten zu vergleichbaren Ergebnissen wie die Nutzung einer Bt-Maissorte als Pollenspender (Donor) und deren isogener Hybride als Pollenempfänger (Rezipient).

In den Studien, die sich mit der Auskreuzung bei Mais beschäftigen, wurden je nach Zielsetzung bzw. lokalen Möglichkeiten und Gegebenheiten unterschiedliche Feldversuchsanlagen verwendet. Neben sogenannten Feld-in-Feld-Anlagen findet man Feld-

an-Feld und Feld-neben-Feld-Versuche sowie die Nutzung benachbarter kommerzieller Praxisschläge (Abb. 1). Für die Bewertung einzelner Koexistenzmaßnahmen (z. B. Mindestabstand, Mantelsaat) sind außerdem die Lage des Donor- und Rezipientenschlages zueinander sowie deren Abstand voneinander bedeutsam.

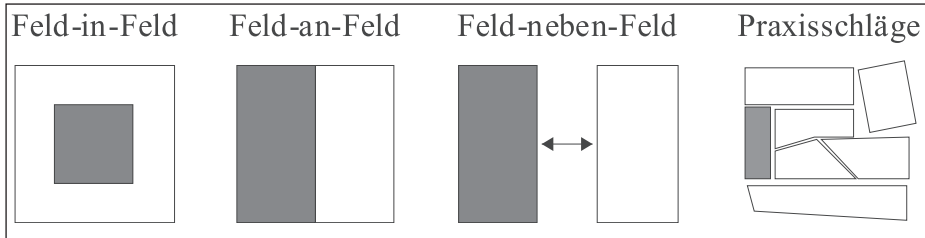


Abb. 1. Schematische Darstellung der in den Studien genutzten Versuchsanlagen: Feld-in-Feld, Feld-an-Feld, Feld-neben-Feld und Praxisschläge (grau: Donor, weiß Rezipient)

3 Vorgehensweise bei der Kategorisierung der Studien

Die im Folgenden tabellarisch aufgeführten Studien zur Auskreuzung von Mais unterscheiden sich bezüglich der Feldanordnung, des verwendeten Testsystems, der eingesetzten Sorten, der Größe der Schläge, der Erhebung und Präsentation der für die Bewertung der Ergebnisse bedeutsamen Parameter (z. B. Blühverlauf der männlichen Blüte des Donors sowie der männlichen und weiblichen Blüte des Rezipienten, Klimadaten wie Windrichtung und -stärke, Temperatur und Niederschlag), der Art der Probenahme sowie der Art der Publikation (peer reviewed, Projektberichte, Internet-Präsentationen, Posterkurzfassungen). Nahezu keine Arbeit beinhaltet alle für die Beurteilung der präsentierten Auskreuzungsergebnisse erforderlichen Informationen.

Für die Bewertung der Literaturdaten haben wir zunächst Ausschlusskriterien definiert, aufgrund derer Arbeiten als nicht ausreichend praxisnah eingestuft wurden. Diese Ausschlusskriterien sind:

- Entfahnung,
- wenige Pflanzenreihen oder gar Einzelpflanzen als Donor oder Rezipient,
- Saatgutverunreinigung im Rezipient.

Im ersten Fall fehlt die intraspezifische Pollenkonkurrenz, sodass eine deutliche Überschätzung der Auskreuzung erfolgt. Im zweiten Fall können unrealistisch kleine Donor- und/oder Rezipientenschläge wegen zu geringer Pollenproduktion zu einer Über- oder Unterschätzung der Auskreuzung führen. Im dritten Fall ist die Auswirkung einer Saatgutverunreinigung aufgrund bisher fehlender Untersuchungen nicht bekannt.

Eine Feld-in-Feld- bzw. Feld-an-Feld-Versuchsanordnung stellt ebenfalls eine Situation dar, die wegen der bereits bestehenden bzw. bevorstehenden gesetzlichen Vorgabe eines Mindestabstands in der landwirtschaftlichen Praxis allenfalls im Zuge einer nachbarschaftlichen Absprache zum Tragen kommen wird. Bei der Bewertung der Studien, die diese Feldanordnungen gewählt haben, ist zu berücksichtigen, dass z. B. die Ableitung von Mindestabständen aus Feld-in-Feld-Anlagen nicht sinnvoll ist, da bei ngv-Mais als Kulturart zwischen dem gv- und dem ngv-Feld die zusätzliche ngv-Maispollenproduktion bedeutsam ist. Die Pollenkonkurrenz ist wegen der „Verdünnung“ des gv-Pollens durch den ngv-Pollen zwischen beiden vermindert. Daher ist ngv-Mais als Kultur zwischen gv- und ngv-Mais anders zu bewerten als jede andere Kulturart. Aus diesem Grund werden diese Feldanordnungen separat diskutiert.

Die verbleibenden Auskreuzungsstudien, die als für die Koexistenz relevant (Tab. 1, Anhang) bzw. eingeschränkt relevant (Tab. 2, Anhang) eingestuft wurden, werden nachfolgend diskutiert. Wichtige Parameter sind dabei:

- Geeignete Feldversuchsanlage (z. B. Feld-neben-Feld besser als Feld-an- bzw. Feld-in-Feld, Berücksichtigung der Hauptwindrichtung),
- praxisnahe Feldgrößen,
- Verwendung aktueller Hybridsorten,
- Angabe zu Blühverlauf von Donor und Rezipient,
- Erhebung der wesentlichen klimatischen Daten (insbesondere Windrichtung/-stärke, Zeitraum der Messung, Detailliertheit und Art der Datenauswertung und -präsentation, Nähe der Wetterstation zum Schlag),
- ergänzende Parameter (Testsystem, Art der Probenahme, etc.).

Die Mehrzahl der Studien beinhalten keine oder zumindest keine verwertbaren Informationen zu den die Auskreuzung beeinflussenden klimatischen Faktoren wie Windrichtung und -geschwindigkeit, Niederschlag, Lufttemperatur und -feuchte. Für eine Interpretation der Daten, insbesondere einzelner auffälliger Werte, sind derartige Informationen aber zwingend erforderlich. So wiesen z. B. WEBER et al. (60) in 26 Rezipientenfeldern in 50 – 60 m Entfernung zum gv-Schlag Auskreuzungsraten zwischen 0,00 und 0,51 % nach; in einem Versuchsfeld lag der gv-Anteil jedoch bei 0,83 %. Eine Interpretation dieses Wertes ist wegen fehlender Angaben zu den während der Maisblüte herrschenden Windverhältnissen an diesem Versuchsfeld nicht möglich.

Da die Daten dieser auskreuzungsrelevanten Parameter fehlen, bleibt außerdem unklar, ob es sich bei den jeweiligen Versuchsbedingungen um sogenannte „worst case“ Szenarien (z. B. starker Wind aus Richtung des Donors, Blühsynchronität zwischen Donor und Rezipient) handelte oder aber wegen der Windverhältnisse während der Maisblüte, der Lage der Schläge zueinander etc. gar keine oder nur eine eingeschränkte Auskreuzung möglich war.

Die wichtigsten Angaben aller Studien sind in den Tabellen 1 (relevante Studien), 2 (eingeschränkt relevante Studien) und 3 (als nicht relevant eingestufte Studien) wiedergegeben (s. Anhang). Im folgenden Kapitel 4 werden die relevanten Arbeiten ausführlicher besprochen (Abschn. 4.1) und bewertet (Abschn. 4.2). Im Abschnitt 4.3 werden die Ergebnisse der lediglich eingeschränkt relevanten Studien kurz dargestellt und im Abschnitt 4.4 diskutiert.

4 Ergebnisse und Bewertung der Studien

Wie den Tabellen 1 – 3 (Anhang) zu entnehmen ist, gibt es trotz einer Vielzahl von Studien, die sich dem Thema der Auskreuzung bei Mais widmen, lediglich sieben neuere Arbeiten, die hinsichtlich der Versuchsfeldanlage als relevant eingestuft werden können (5; 14; 16; 17; 21; 22; 43; 50). In fünf dieser Arbeiten (5; 14; 16; 17; 50) werden unterschiedliche Feldversuchsanordnungen beschrieben, von denen nur ein Teil aus Sicht der Koexistenz uneingeschränkt relevant ist. Sofern zusätzlich Feld-in-Feld- bzw. Feld-an-Feld-Versuchsanordnung realisiert wurden, werden diese im Abschnitt 4.3 besprochen.

4.1 Ergebnisse der relevanten Studien

Drei der sieben als relevant eingestuften Studien sind in einer wissenschaftlichen Zeitschrift publiziert worden (6; 43; 50), weitere drei stellen nationale oder regionale Statusberichte einjähriger Feldversuche dar (14; 16; 17) und eine wurde im Rahmen eines Posterbeitrags auf einer wissenschaftlichen Tagung präsentiert (21; 22).

Studie 1: Es handelt sich um eine in der Schweiz durchgeführte Dissertation (5), die im Anschluss auszugsweise publiziert wurde (6). In dieser Studie wurde ein visuell auswertbares Testsystem unter Nutzung unterschiedlicher gelbkörniger Maissorten als Donor und der rezessiv weißkörnigen Hybride DSP 17007 als Rezipient in verschiedenen Versuchsanstellungen eingesetzt. In dem als relevant bewerteten Versuch zur Auskreuzung über große Distanzen wurden in den Jahren 2003 und 2004 mehrere Rezipientenfelder in verschiedenen Distanzen und Himmelsrichtungen um ein Donorfeld herum angelegt. Die Größe der Rezipientenfelder betrug ungefähr 0,8 ha, die Angaben zur Größe der Donorfelder fehlen; es wird lediglich erwähnt, dass die Maisschläge in der Untersuchungsregion zwischen 0,5 und 1,5 ha groß sind. Als auskreuzungsrelevante Parameter wurden neben den klimatischen Daten (Wind, Temperatur, relative Feuchte, Globalstrahlung) auch die Blühzeiten erfasst. Die untersuchten Distanzen bewegten sich im Bereich von 50 bis 4500 m, die zugehörigen Auskreuzungsraten für das gesamte Rezipientenfeld lagen in beiden Versuchsjahren generell im unkritischen Wertebereich unterhalb von 0,016 %.

Diese geringen Auskreuzungsraten sind verständlich, wenn man bedenkt, dass fast nie eine Blühsynchronität zwischen Donor und Rezipient vorlag.

Studie 2: Zu den Arbeiten aus Portugal (14) liegt bisher nur ein im Internet verfügbarer Statusbericht für das Versuchsjahr 2006 vor. Informationen zur Anordnung der beprobten Praxisschläge und Besonderheiten der Flächen zwischen diesen (Büsche, Bäume, Straßen) geben die Autoren mit entsprechenden Skizzen im Anhang. Untersucht wurden jeweils 80 – 300 Kolbenproben aus verschiedenen Bereichen der ngv-Schläge (nähere Angaben zur Probenahme fehlen) in unterschiedlicher Entfernung zu Bt-Maisfeldern mit und ohne Mantelsaat. Die Angaben beinhalten die Größe des jeweiligen Donor- (1 – 47 ha) und Rezipientenschlages (0,5 – 35 ha) sowie teilweise die Angabe der Hauptwindrichtung. Das Größenverhältnis von Donor- zu Rezipientenfeld (D : R) variierte im Bereich von 1 : 1,8 bis 29,5 : 1; allerdings ist fast immer der Donorschlag deutlich größer als das Rezipientenfeld. Von 18 untersuchten Feldkonstellationen sind neun als relevant einzustufen, da bei ihnen eine Feld-neben-Feld-Situation gegeben war. In diesem Fall lagen die Auskreuzungsraten in der Gesamternte der einzelnen Felder generell unterhalb von 0,15 %, unabhängig vom Abstand der Felder (3 bis > 500 m) und der Anzahl der Mantelsaatreihen. Leider lässt die Auswahl der Flächen keinen Rückschluss auf den Effekt einer Mantelsaat zur Verminderung der Auskreuzung zu, da keine entsprechenden Vergleichsvarianten ohne Mantelsaat untersucht wurden.

Studie 3: Ergebnisse einjähriger Versuche des Jahres 2005 aus Italien findet man ebenfalls im Internet (16). Genutzt wurden zwei unterschiedliche visuell auswertbare Testsysteme, eines unter Nutzung einer gelbkörnigen Maissorte als Donor und einer weißkörnigen als Rezipient, ein zweites mit einem rotkörnigen Donor und einem gelbkörnigen Rezipienten. Die Flächengrößen der relevanten Studien betrugen 1,1 und 1,4 ha (Donor) bzw. 2,6 und 2,9 ha (Rezipient). Die Autoren berichten, dass Blühverlauf sowie die wichtigsten klimatischen Faktoren erhoben wurden, präsentieren jedoch lediglich die Daten zu den Windverhältnissen eines im Rahmen dieses Reviews nicht relevanten Feldversuchs. Isolationsdistanzen von 9,1, 17,5 und 34,3 m wurden untersucht. Beim Vergleich zweier Standorte liegen die Auskreuzungsraten an den Feldrändern in 17,5 m Abstand von der Feldkante des Donors bei 4,5 % und 23,3 %, im Abstand von 34,3 m bei 2,6 % und 4,0 %. Die Auskreuzungsraten nehmen im Bestand schnell ab, betragen jedoch selbst an der hinteren Feldkante zwischen 0,08 % und 0,42 %. Generell unterscheiden sich die ermittelten Auskreuzungsraten dieser Studie in ihrer Höhe deutlich von den ersten beiden Studien. Ein weiterer Versuchsansatz zeigt, dass eine zwölfreihige Mantelsaat am Feldrand des Donors die Auskreuzung deutlich reduzieren kann. Dieser Effekt war am Feldrand des Rezipientenfeldes besonders ausgeprägt; hier war die Auskreuzung auf unter einem Sechstel der Vergleichsparzelle reduziert, im Feldinneren etwa auf ein Drittel. Diese Arbeit ist bisher

die einzige, der erste Anhaltspunkte für die Wirksamkeit einer Mantelsaat entnommen werden können.

Studie 4: EDER (17) berichtet über Feldversuche an vier Standorten in Bayern im zweiten Jahr (2005) des sog. „Erprobungsanbaus“. Unter Verwendung unterschiedlicher Versuchsfeldanordnungen werden Feldabstände von 20 bis 50 m verglichen und die Auskreuzungsraten im ngv-Feldrand sowie maximal 2 weiteren Felddiefen ermittelt. Als Testsystem wurden Bt-Mais und die jeweilige isogene Hybride verwendet. Konkrete Angaben zu den Feldgrößen (1 – 2 ha) gibt es nur im Falle der Donoren. An drei der Standorte wurde der Rezipient mit einer Felddiefe von mindestens 60 m komplett um den Donor herum gedreht. Winddaten und Blühzeitpunkte wurden laut Aussage des Autors erhoben, jedoch im Bericht nicht präsentiert. Bei der Auswertung wurde nach Himmelsrichtung differenziert, sodass die Hauptwindrichtung bei der Auswertung berücksichtigt werden kann. Die Ergebnisse der Standorte weichen stark voneinander ab. Im Feldrandbereich wurden in Abhängigkeit vom Abstand der Felder an verschiedenen Standorten und mit teilweise unterschiedlichen Feldversuchsdesigns Auskreuzungsraten bis zu 8,81 % (20 m), 6,19 % (30 m) und 24,66 % (50 m) ermittelt. Meist nahm die Auskreuzung mit zunehmender Felddiefe im Bestand schnell ab. Ein Standort fiel jedoch generell durch hohe gv-Gehalte auf, die bei einem Feldabstand von 50 m selbst in 25 m Felddiefe noch bei 0,46 % lagen. Allerdings schränkt der Autor die Bedeutung des hohen gv-Anteils im Randbereich dieses Standorts (24,66% bei 50 m Abstand) aufgrund eines möglichen Probenahmefehlers ein.

Studie 5: In der in den Jahren 2001 und 2002 in Südfrankreich durchgeführten Studie (21; 22) wurde die Auskreuzung von Körnermais in Süßmais untersucht. Genutzt wurden Praxisschläge; die Kriterien für die Auswahl von Süßmaissfeldern als Rezipientenschläge waren (i) das Vorhandensein nur eines als Donorschlag infrage kommenden Körnermaissfeldes, (ii) eine Abweichung der Blühzeit beider Felder von maximal sechs Tagen, sowie (iii) unterschiedliche Isolationsdistanzen zwischen Donor und Rezipient. Im Jahr 2001 wurden 16 und im Jahr 2002 15 Felder beprobt, die Feldgrößen lagen zwischen 0,15 und 54,5 ha. Die Auskreuzungsraten sind jeweils für den dem Donor zugewandten Feldrand (erste sechs Reihen) und das gesamte Feld dokumentiert. Windrichtung und -stärke, Blühzeitverschiebung, Isolationsdistanz sowie die Länge der dem Donor zugewandten Rezipientenfeldkante sind tabellarisch dargestellt. Die für das gesamte Feld ermittelten Auskreuzungsraten lagen bei Isolationsdistanzen von 1 bis 80 m im Jahr 2001 unter 0,2 % und im Jahr 2002 bei Isolationsdistanzen von 0 bis 220 m bei maximal 0,05 %. Dieser Unterschied der Ergebnisse in den beiden Versuchsjahren wird mit einer höheren durchschnittlichen Windstärke im ersten Jahr erklärt. In der Mehrzahl der geprüften Feldkonstellationen handelte es sich nicht um „worst case“-Bedingungen. Auskreuzungswerte oberhalb des Kennzeichnungsschwellenwertes fanden sich nur im Jahr 2002 in der dem Donor zugewandten sechs Randreihen des Rezipienten. Diese Studie zeigt die offensichtliche Bedeutung der Parameter Windrichtung/-stärke und Blühzeit für die Koexistenz. Eine größere Isolationsdistanz geht also nicht zwangsläufig mit einer Reduktion der Auskreuzungsrate einher. Die insgesamt sehr niedrigen Auskreuzungsraten werden von den Autoren der Studie auch mit einer hohen Pollenproduktion des Süßmaises erklärt. Süßmais in Nachbarschaft von Bt-Maissfeldern ist ein Sonderfall, da Einzelkolben vermarktet werden. Einzelne Kolben der dem Bt-Mais zugewandten Randreihe müssen also einen gv-Anteil unterhalb von 0,9 % aufweisen.

Studie 6: MESSEGUER et al. (43) nutzten im Jahr 2004 Praxisschläge in zwei ausgewählten Regionen Spaniens unter realen Anbaubedingungen. Zum Einsatz kamen Bt-Maissorten (Bt 176 und MON 810) als Donoren sowie verschiedene konventionelle Maissorten als Rezipienten. Aufgrund der Lage der Felder zueinander konnten Auskreuzungen oftmals gleichzeitig aus mehreren benachbarten Bt-Maissfeldern erfolgen. Die Feldgrößen lagen zwischen 0,5 und 5,0 ha. Die Blühzeiten der Sorten wurden ermittelt und als ein

Kriterium für die Auswahl der Rezipientenschläge genutzt. Windgeschwindigkeit und -richtung entstammen in der jeweiligen Anbauregion vorhandenen Messstationen. Die Abstände zwischen gv- und ngv-Feld lagen im Bereich von 2 – 150 m. Ermittelt wurden die Auskreuzungsraten im Feldrand, aus 3 und 10 m Feldtiefe sowie in der Feldmitte. Daraus errechneten die Autoren einen für das gesamte Feld repräsentativen gv-Anteil, der mit Werten von 1,22, 1,89 und 2,29 % in drei von zwölf Fällen oberhalb des Kennzeichnungsschwellenwerts von 0,9 % lag. In diesen drei Fällen lag stets ein Bt-Maisschlag in Hauptwindrichtung nur 2 – 3 m entfernt und die Blüte von Donor und Rezipient verlief synchron. Aufgrund der Vielzahl von Faktoren, die die Auskreuzungsrate in einer Praxisregion beeinflussen, sind der Studie keine konkreten Hinweise auf die Größe eines einzuhaltenden Mindestabstands zu entnehmen. Die Autoren der Studie schlussfolgerten, dass die Auskreuzungsrate vorwiegend durch die Blühsynchronität bestimmt wird, während Abstand, Feldform und Windrichtung nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Studie 7: Eine weitere spanische Studie nutzte in einem sehr speziellen Versuchsdesign im Jahr 2004 eine weißkörnige Maissorte als Rezipienten und verschiedene gelbkörnige Bt-Maissorten als Donoren (50). Die Gesamtflächen waren 4 ha (Donoren) und ca. 10 ha (Rezipientenschläge). Allerdings wurde nur ein kleiner Teil eines Rezipientenschlages für die Ermittlung der Auskreuzungsrate beim einzig geprüften Abstand von 10 m genutzt. Die Windrichtung ist in der schematischen Zeichnung des Felddesigns angegeben; der Wind wehte vorwiegend vom Donor zum Rezipienten. Die Blütezeit wurde erhoben, jedoch nicht präsentiert. Auskreuzungsraten wurden für Feldtiefen im Bereich von 0 – 80 m ermittelt. Am Feldrand stellte man gv-Anteile von 2,65 – 11,32 % fest. Mit zunehmender Feldtiefe nahmen die Auskreuzungsraten schnell ab und erreichten z. B. bei 10 m 0,17 – 0,43 % sowie bei 40 m 0 – 0,16 %. Ein interessanter Nebenaspekt dieser Studie ist der Vergleich zwischen den PCR-Daten und visuellen Werten (Kornfarbe). Letztere waren im Durchschnitt doppelt so hoch wie die mittels real-time PCR erhaltenen gv-Anteile.

4.2 Bewertung der relevanten Studien

Eine vergleichende Diskussion der Ergebnisse der sieben Studien gestaltet sich z. B. wegen der unterschiedlichen Konzeption der Versuche, abweichender Probenahmestrategie und fehlender Angaben äußerst schwierig. So ist die Nutzung von Praxisschlägen in einer Bt-Maisanbauregion mit multiplen Bt-Maispollenquellen (43) anders zu bewerten als spezielle und teilweise komplizierte Versuchsfeldanordnungen (16; 17; 50), insbesondere dann, wenn um den Donor ein massiver Mantel des Rezipienten gedrillt wurde (17; 50).

Die Verwendung eines Testsystems unter Nutzung visuell auswertbarer Merkmale wie Kornform und -farbe reduziert zwar die Kosten der Analytik zur Ermittlung der Auskreuzungsrate, kann aber angesichts sortenimmanenter und nicht den Eigenschaften moderner Hybridsorten entsprechender Besonderheiten wie z. B. einer Protandrie von mehreren Tagen zu einer mangelnden Blühsynchronität zwischen männlicher und weiblicher Blüte führen (37). Außerdem unterscheiden sich die in den Studien ermittelte Auskreuzungsraten je nach Zygotie des verwendeten Markers (s. Kap. 2). Aufgrund dieses Testsystemimmanenten Unterschieds wurden von einigen Autoren die mit Hilfe eines homozygot vorliegenden Markers ermittelten Auskreuzungsraten halbiert (z. B. 5). Eine spanische Studie zeigte kürzlich, dass Auskreuzungsraten, die auf dem visuell bestimmbar Merkmal „gelbe Kornfarbe“ beruhten, doppelt so hoch waren wie parallel durch real-time PCR bestimmte gv-Gehalte (50).

In den sieben Studien handelt es sich (bis auf 21) um Ergebnisse einjähriger, wenn auch teilweise parallel an mehreren Standorten, durchgeführter Versuche. Echte Wiederholungen stellen diese verglichenen Standorte jedoch wegen eines abweichenden Feldversuchsdesigns, variierender Donor- und/oder Rezipientenfeldgrößen bzw. eines unterschiedlichen Donor : Rezipient-Größenverhältnisses (14; 16; 17; 21; 43) nicht dar.

Wenn überhaupt klimatische Daten präsentiert werden, reduzieren sich die Angaben meist auf die Windrichtung (5; 14; 43; 50).

Letztendlich erschwert die unterschiedliche Art der Probenahme den direkten Vergleich. Entweder handelt es sich um Punkte bzw. Streifen im Feld oder es erfolgt die Angabe „gesamtes Feld“. Ebenso unklar bleibt, wie aus einzelnen Punkten im Feld auf die Auskreuzung im gesamten Feld rückgeschlossen wird (14; 21; 43).

Als Ergebnisse der Auswertung der relevanten Studien lassen sich folgende Aussagen treffen:

- Sofern zwischen dem Rezipientenfeldrand, der dem Bt-Maisschlag zugewandt ist, und Positionen innerhalb des Rezipientenfeldes unterschieden wird (16; 17; 50), ist eine schnelle Abnahme der Auskreuzung mit zunehmendem Abstand von der Feldkante festzustellen.
- Gv-Anteile oberhalb des Kennzeichnungsschwellenwertes traten im gesamten Erntegut des Feldes nur bei sehr geringem Abstand zwischen Donor und Rezipient (2 – 3 m) bei zusätzlich vorhandenen weiteren Bt-Maispollenquellen (43) oder aber begrenzt auf den dem Bt-Maisfeld zugewandten Randbereich eines Rezipientenschlages auf (16; 17; 21).
- Zum Einfluss des Feldgrößenverhältnisses zwischen Donor und Rezipient auf die Auskreuzung lassen sich den Arbeiten (14; 16; 17; 21; 43) – nicht zuletzt infolge des Fehlens essentieller Daten – keine Informationen entnehmen.
- Die Ableitung eines wissenschaftlich fundierten Mindestabstands zur Sicherstellung der Koexistenz lassen die Studien nicht zu. Allerdings deuten die Studien an, dass eine Überschreitung des Kennzeichnungsschwellenwerts von 0,9 % im gesamten Feld bei Abständen oberhalb von 50 m selten zu erwarten ist.
- Nur eine Arbeit enthält Hinweise darauf, dass eine Mantelsaat am Bt-Maisfeldrand eine wirkungsvolle Koexistenzmaßnahme sein könnte (16). Für eine Quantifizierung und damit Nutzung dieser Maßnahme zur Ergänzung oder Kompensation eines Mindestabstandes reichen die wenigen Daten jedoch nicht aus.

4.3 Ergebnisse der Studien mit eingeschränkter Relevanz

Weitere 20 Arbeiten wurden von uns als nur eingeschränkt relevant hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Ableitung bzw. Bewertung von Koexistenzmaßnahmen eingestuft (s. Tab. 2). Viele dieser Arbeiten nutzen eine Feld-an-Feld- (5; 11; 14; 16; 17; 29; 40; 46; 47; 50; 61) oder eine Feld-in-Feld-Versuchsanordnung (24; 39; 41; 60; 62). Zwar liefern diese Studien ebenso Erkenntnisse zur Auskreuzung von Mais; die Ableitung eines wissenschaftlich fundierten Mindestabstands als in allen EU-Mitgliedsstaaten umgesetzte oder angedachte Maßnahme zur Sicherung der Koexistenz ist aus diesen Arbeiten allerdings nicht möglich. Ein Grund dafür ist, dass Luftströmungen und damit der Pollentransport über einem homogenen geschlossenen Bestand anders verlaufen als Luftströmungen zwischen Beständen, die durch unterschiedlichste, den Verlauf des Luftstroms beeinflussende Strukturen (z. B. andere Kulturarten, aber auch Hecken, Gebäude, Straßen, Brache) voneinander getrennt sind. Ngv-Mais als Kulturart zwischen gv- und ngv-Maisfeldern „verdünnt“ außerdem durch die zusätzliche Pollenproduktion den in den ngv-Bestand eingetragenen gv-Pollen und reduziert damit die Wahrscheinlichkeit der Befruchtung einer ngv-Pflanze durch gv-Pollen (3). Im Falle der Feld-in-Feld-Konstellationen ist außerdem oft ein relativ kleiner Donorschlag von einem viel größeren Rezipientenschlag umgeben (24; 39; 41). Dieses ungleiche Donor : Rezipient-Größenverhältnis kann ebenfalls zu einer „Verdünnung“ des Donorpollens und damit verringerter Auskreuzung führen.

Viele der als nur eingeschränkt relevant beurteilten Studien lassen weiterhin essentielle Angaben zu auskreuzungsbeeinflussenden klimatischen und blühbiologischen Faktoren (s.

Tab. 2) vermissen. Der Mangel an diesen Informationen ist besonders bei Projektberichten, die ins Internet gestellt wurden, sowie Konferenzbeiträgen zu beobachten (z. B. 8; 18; 40; 41; 46; 47; 53).

Die unterschiedlichen Feldversuchsanordnungen werden nachfolgend separat beschrieben und anschließend gemeinsam diskutiert. Zusätzliche Angaben zu den Studien lassen sich Tabelle 2 entnehmen.

4.3.1 *Feld-neben-Feld-Anordnung*

Die Ergebnisse einer nicht publizierten Studie der Saatgutunternehmen Monsanto, Nickerson und Pioneer Hi-Bred sind in einem im Internet verfügbaren Bericht knapp zusammengefasst (2). Die Untersuchungen fanden an 14 kommerziell bewirtschafteten Feldern in Spanien statt. Es werden generell nur Mittelwerte dargestellt (mittlere Größe der gv-Felder, mittlerer Abstand zwischen gv- und ngv-Feld, etc.), Klima- und Blühzeitdaten fehlen. Bei gleichzeitiger Aussaat von gv- und ngv-Feld lag die Auskreuzung in der ersten ngv-Pflanzenreihe bei durchschnittlich 16,9 % und nahm bis zur 16. Reihe auf 1,0 % ab. Die Daten deuten auf eine Reduktion der Auskreuzungsraten bei versetzten Saatterminen des gv- und ngv-Feldes hin.

In einem im Internet verfügbaren Kolloquiumsbeitrag wird über einjährige Auskreuzungsversuche von Zahnmais in Wachsmailsbestände in Südwestfrankreich berichtet (18). Bei Feldabständen zwischen 2 und 25 m variierten die Auskreuzungsraten für das gesamte Feld im Bereich von 0 – 0,72 %. Erwähnenswert ist die hohe Auskreuzungsrate von 0,41 % trotz eines D : R-Verhältnisses von 1 : 10,5. Die Werte wurden zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit Studien unter Nutzung heterozygoter Bt-Maissorten vom Autor halbiert. HALSEY et al. (27) ermittelten bei schräg in Richtung der Rezipienten wehendem Wind nur sehr niedrige Auskreuzungsraten in allerdings sehr kleine Rezipientenfelder im Abstand von 24 bis 318 m (max. 0,69 % bei 24 m). In einer weiteren US-amerikanischen Studie (34) betrug das D : R-Feldgrößenverhältnis ca. 12 : 1 bei einer Rezipientenschlaggröße von lediglich 0,03 ha. Außerdem beinhaltete das verwendete ngv-Saatgut im zweiten Versuchsjahr gv-Anteile von 0,16 %. Die Auskreuzungsraten lagen im einzig nutzbaren ersten Versuchsjahr bei einem Feldabstand von 30 m im Randbereich bei 1,04 %, in 10 m Feldtiefe nur noch bei 0,03 %. Bei 350 m Feldabstand in windabgewandter Richtung konnte keine Auskreuzung festgestellt werden.

Eine ältere Arbeit (35) weist unter Verwendung eines auf Kornform und -farbe basierenden Testsystems mit einem D : R-Größenverhältnis von ca. 34 : 1 im Rahmen eines über drei Jahre wiederholten Feldversuchs hohe Auskreuzungsraten selbst in 201 m (0,44 – 2,47 %) und 302 m (0,15 – 0,99 %) auf. Eine zweite Arbeit der gleichen Autoren (33) gibt Hinweise darauf, dass zwei Baumreihen die Auskreuzung in bis zu 100 m Feldtiefe im Vergleich zu nur einer Baumreihe weiter reduzieren.

In einer spanischen Studie (46; 47) wurden unter Praxisbedingungen gv-Gehalte von 0,05 bis 0,3 % in ngv-Schlägen ermittelt; Angaben zu den Feldabständen fehlen. In einem weiteren Versuch lag die Auskreuzungsrate eines Weißmaissfeldes, an das auf zwei Seiten im Abstand von 50 m Gelbmaisschläge grenzten, bei 0,14 %. In einer komplexen, ebenfalls in Spanien durchgeführten Feldversuchsanstellung wurde u. a. die Auskreuzung in einen 10 m entfernten Weißmaisschlag bestimmt (50). Es traten die üblichen Randeffekte (max. 13,43 %) und eine rasche Abnahme der Auskreuzung bei zunehmender Rezipientenfeldtiefe auf.

Der Publikation zu einer in Deutschland durchgeführten Studie mit vornehmlich anderer Zielrichtung lassen sich auch Auskreuzungsergebnisse aus Praxisanschlägen, wenn auch wenig präzise und ohne jegliche weitere Angaben, in Abständen von 20 bis über 100 m von Bt-Maisfeldern entnehmen (59). Erntepartien von ngv-Schlägen in diesen Distanzen wiesen gv-Gehalte zwischen <0,01 und 4,12 % auf. In einem zweiten deutschen Ver-

suchsansatz mit relativ kleinen Schlägen (D : 0,15 ha; R : 0,06 ha) wurden Abstände von 50 – 199 m verglichen (62). Die Auskreuzung war prinzipiell – selbst am Feldrand – mit maximal 1,05 % gering. In einer weiteren deutschen Studie wurde in einem komplexen Versuchsansatz, in dem drei verschiedene Testsysteme zum Nachweis der Auskreuzung genutzt wurden, der Einfluss einer niedrigwachsenden (Klee/Gras) gegenüber einer hochwachsenden (Sonnenblume) Kulturart zwischen Donor und Rezipient untersucht (37). Bei einem Abstand von 12 bzw. 13 m wurden in Hauptwindrichtung Auskreuzungsraten von 7,0 bis 40,9 % am Feldrand und zwischen 1,3 und 3,6 % in 10 bzw. 12 m Feldtiefe des Rezipienten bei Klee/Gras als Zwischenkultur und zwischen 4,9 und 21,8 %, sowie 0,2 und 14,4 % bei Sonnenblumen als Zwischenkultur gemessen. Ein wirksamer physikalischer Abschirmungseffekt durch die hochwachsende Kulturart Sonnenblume konnte nicht nachgewiesen werden.

Vorläufige Ergebnisse einer einjährigen niederländischen Studie zeigen bei einem D : R-Größenverhältnis von 1 : 1 und 25 m Abstand im gesamten Feld in allen vier Himmelsrichtungen relativ geringe gv-Anteile von maximal 0,3 % (56). Bei einem Abstand von 250 m und einem D : R-Verhältnis von 4 : 1 lagen die gv-Gehalte bereits bei maximal 0,04 %.

4.3.2 Feld-an-Feld-Anordnung

In einer schweizerischen Studie (5) wurden drei Versuche mit einer Feld-an-Feld-Anordnung angelegt, bei denen hinsichtlich der Wind- und Blühverhältnisse keine „worst case“-Bedingungen herrschten. Entsprechend geringe Auskreuzungsraten wurden ermittelt; in einem Fall lag die Auskreuzung schon in der ersten, dem Donor zugewandten Reihe bei nur 0,05 %.

Im Rahmen von Koexistenzversuchen in Frankreich (8) wurde ein Bt-Maisschlag auf einer halben Längsseite durch eine 10 m breite Brachefläche von einem angrenzenden ngv-Feld getrennt, während die Maisfelder auf der anderen Seite unmittelbar aneinandergränzten. Der gv-Gehalt des gesamten konventionellen Feldes betrug 0,42 % (Brache) und 0,52 % (Mais-an-Mais).

BYRNE und FROMHERZ (11) erzielten in einer US-amerikanischen Studie hohe Auskreuzungsraten von bis zu 39,8 % in der ersten, dem Donor zugewandten Rezipientenfeldreihe, die mit zunehmender Feldtiefe im Bestand abnahmen; ab einer Rezipientenfeldtiefe von 46 m lagen die Auskreuzungsraten in allen Versuchen unter 1 %.

Ein Projektbericht einjähriger Versuchsanstellungen aus Italien zeigt ebenfalls die üblichen Randeffekte bei anschließender Abnahme der Auskreuzung mit zunehmender Feldtiefe (15). In Feldtiefen von mehr als 30 m wurden im Rezipienten sogenannte „hot spots“, also Stellen mit sprunghaft erhöhter Auskreuzungsrate, festgestellt.

Eine knappe Ergebnisübersicht zu einem japanischen Koexistenzversuch gibt die Kurzfassung eines Posterbeitrags (40). Auch in dieser wurden deutliche Randeffekte (bis 43,2 %) sowie eine Abnahme der Auskreuzung im Bestand mit zunehmender Feldtiefe beobachtet, wenn auch bei 50 und 100 m Feldtiefe noch eine Auskreuzung von 1,20 bzw. 0,23 % attestiert wurde. In einer spanischen Studie (46; 47) wird für den Rand (2 m Feldtiefe) eines direkt benachbarten ngv-Schlages (D = R = 23 ha) ein gv-Anteil von 6,0 % angegeben, der mit zunehmender Feldtiefe abnimmt und bei 40 m bei 0,45 % bzw. bei 90 m bei 0,2 % liegt. In einer weiteren spanischen, sehr komplex angelegten Feldversuchsanstellung unter Nutzung einer weißkörnigen Maissorte wurden ebenfalls die üblichen Randeffekte (9,9 bis 13,4 %) und eine rasche Abnahme der Auskreuzung im Bestand mit zunehmender Feldtiefe festgestellt (50).

Zu einer in Großbritannien in den Jahren 2000 – 2002 durchgeführten Studie („farm scale evaluations of GM crops“) werden lediglich Mittelwerte aus insgesamt 55 beprobten Versuchsfeldern bei Feldtiefen von 25 bis 200 m präsentiert, die durchgängig unter 0,15 %

lagen (29; 61). In Portugal wurde der gv-Eintrag aus benachbarten gv-Praxisschlägen untersucht (14). 24 Reihen Mantelsaat führten zu einem gv-Gehalt des gesamten ngv-Feldes von 0 bis 0,45 %. Der Effekt der Mantelsaat kann jedoch nicht quantifiziert werden, da entsprechende Vergleichsvarianten ohne Mantelsaat fehlen.

4.3.3 *Feld-in-Feld-Anordnung*

Aus der schweizerischen Arbeit (5) liegen Ergebnisse zu zwei Feld-in-Feld-Versuchen vor. Eine Versuchsanlage wurde mit zentralem Donor und eine mit zentralem Rezipienten angelegt. In beiden Rezipienten wurden in Hauptwindrichtung Randeffekte festgestellt; die Auskreuzung lag ab 13 m Feldtiefe unter 0,5 %. Im Rahmen von französischen Koexistenzversuchen (8) wurde der gv-Gehalt einzelner, teilweise in Hauptwindrichtung liegender, Teilflächen berechnet. Je nach Lage und Größe dieser Flächen lag ihr gv-Anteil zwischen <0,1 und 0,52 %.

In einer US-amerikanischen Studie wurden in Hauptwindrichtung hohe Randeffekte (46 %) ermittelt (11). Die Auskreuzung nahm mit zunehmender Rezipientenfeldtiefe zwar ab, betrug bei 46 m aber noch bis zu 0,53 %. In einer weiteren zweijährigen US-amerikanischen Studie wurden in einer Versuchsanlage mit einem D : R-Größenverhältnis von 1 : 36 in Hauptwindrichtung bei Vorliegen von Blühsynchronität hohe Auskreuzungsraten (bis 47,1 %) in der ersten ngv-Maisreihe gemessen, die mit zunehmender Feldtiefe im Bestand abnahmen (24). Positiv an dieser Arbeit ist, dass die auskreuzungsbeeinflussenden Faktoren wie Windrichtung und -geschwindigkeit sowie Blühsynchronität detailliert erhoben und nachvollziehbar dargestellt wurden.

Eine über drei Jahre durchgeführte kanadische Studie nutzte ein auf der Kornfarbe basierendes Testsystem (39). Klima- und Blühdaten sind ausführlich dargestellt. Bei einem D : R-Größenverhältnis von 1 : 13 bzw. 1 : 8,7 können die üblichen hohen Randeffekte (max. 43,4 %) in der Rezipientenrandreihe sowie die mit zunehmender Feldtiefe im Bestand rasch abnehmenden Auskreuzungsraten entnommen werden. Trotz der im Vergleich zum Rezipienten kleinen Fläche des Donors (0,07 ha) wurde in Hauptwindrichtung bei der größten beprobten Feldtiefe (36,5 m) noch eine Auskreuzung von bis zu 0,4 % ermittelt.

Ein kurzer Bericht eines einjährigen spanischen Koexistenzversuchs weist für Teilflächen des Rezipientenschlags (D : R = 1 : 1 bzw. 1 : 4), die unmittelbar an den Donorgrenzen, gv-Anteile von 1,77 % bzw. 0,83 % aus (41). Bei separater Ernte eines 6 m breiten, an den Donor angrenzenden Randstreifens des konventionellen Maisfelds verringert sich bei einem D : R-Verhältnis von 1 : 1 der gv-Anteil für die Gesamtfläche auf 0,77 %. Ein weiterer in Spanien realisierter Versuchsansatz mit einem D : R-Verhältnis von 1 : 10 führte im Randbereich bei 2 m zu Auskreuzungsraten von 16,4 %, die im Bestand schnell abnahmen und bereits bei einer Feldtiefe von 40 m 0 % erreichten (46; 47).

Unter Nutzung einer herbizidresistenten Maissorte wurden in einer deutschen Studie in 3 m Feldtiefe des Rezipienten bis zu 17,2 % Auskreuzung ermittelt (62). Bei 25,5 und 49,5 m lagen die Werte bei 0,9 bzw. maximal 0,4 %. Im Rahmen des sog. „Erprobungsanbaus“ wurden im Jahr 2004 in Feldversuchen unter Verwendung von Bt-Mais als Donor an 27 Standorten Deutschlands die gv-Gehalte ausgewählter ngv-Feldbereiche (10 – 20 m, 20 – 30 m und 50 – 60 m Abstand vom Feldrand) bei unterschiedlicher Nutzungsrichtung verglichen (60). Die Auskreuzung erreichte dabei innerhalb der ersten 10 – 20 m maximal 3,86 % bei Körnermais, 6,05 % bei Silomais und 9,76 % im Falle des einzigen Lieschkolben-Schrot-Standorts. Im 20 – 30 m vom Feldrand entfernten Erntestreifen wurde nur sehr selten der Schwellenwert von 0,9 % überschritten, bei 50 – 60 m lag er meist deutlich darunter. Im zweiten Versuchsjahr wurden an einem bayrischen Versuchsstandort in 50 und 75 m Feldtiefe des Rezipienten gv-Gehalte von 1,52 bzw. 0,3 % gemessen (17).

4.4 Bewertung der Studien mit eingeschränkter Relevanz

Im vorigen Abschnitt wurden die Gründe für die schwierige Vergleichbarkeit der Ergebnisse aus unterschiedlichen Arbeiten bereits besprochen; diese gelten in diesem Abschnitt in besonderem Maße. Erschwerend kommt bei den in diesem Abschnitt diskutierten Studien hinzu, dass stets wichtige Angaben für die Beurteilung und Bewertung der Auskreuzungsraten wie Windrichtung und -stärke sowie sonstige klimatische Daten (2; 11; 14; 16; 17; 18; 29; 34; 35; 36; 40; 46; 47; 56; 59; 60; 61) oder Hinweise zur Synchronität des Blühverlaufs zwischen Donor und Rezipient (2; 11; 14; 18; 29; 34; 35; 36; 40; 41; 46; 47; 50; 56; 61; 62) ganz oder teilweise fehlen. Außerdem wurden nur in wenigen Studien Versuchswiederholungen über mehrere Jahre durchgeführt, die allerdings teilweise leichte Änderungen der Versuchsanordnung zwischen den Jahren aufwiesen (24; 27; 29; 34; 35; 36; 39; 62). Bei JEMISON und VAYDA (34) sind jedoch wegen einer gv-Saatgutverunreinigung nur die Ergebnisse des ersten Versuchsjahres nutzbar.

In vielen Studien ist außerdem entweder einer der Schläge (Donor oder Rezipient) deutlich größer als der andere (24; 27; 34; 35; 41 sowie teilweise 14; 16; 39; 46; 47), repräsentieren also eine in der landwirtschaftlichen Praxis weniger häufig anzutreffende Konstellation, oder aber Donor- und/oder Rezipientenfeldgröße sind generell sehr klein (27; 34; 35; 39 sowie teilweise 62) bzw. Angaben zur Größe der Schläge sind zu ungenau oder fehlen völlig (2; 11; 17; 29; 46; 47; 50; 59; 61; 60). Manche Versuchsfelddesigns sind außerdem nur bedingt geeignet oder recht komplex und werden für die Ableitung verschiedenster Aussagen genutzt (z. B. 16; 27; 50).

Die Beschränkung auf die Angabe weniger Mittelwerte zu den britischen Feldversuchen ist für die Bewertung von Koexistenzmaßnahmen wenig hilfreich (29; 61). Da die in älteren Studien genutzten Sorten hinsichtlich ihrer Eigenschaften nicht mit aktuellen Sorten vergleichbar sind (z. B. Protandrie, Populationssorten), sind die Ergebnisse dieser Arbeiten nur bedingt nutzbar (35; 36).

Trotz dieser Einschränkungen lassen sich diesen nur eingeschränkt relevanten Arbeiten einige koexistenzrelevante Hinweise entnehmen:

- Fast alle Studien bestätigen den bereits im vorigen Kapitel beschriebenen Randeffekt und die anschließende Abnahme der Auskreuzungsrate mit zunehmender Feldtiefe (2; 5; 11; 16; 24; 34; 35; 36; 37; 39; 40; 47; 50; 62). Die getrennte Ernte des dem gv-Schlag zugewandten ngv-Feldrands und dessen Vermarktung oder Verwertung zusammen mit der gv-Ernte ist somit eine wirkungsvolle Maßnahme, den gv-Anteil im verbleibenden Feld deutlich zu verringern (8; 41; 46; 47; 60).
- Es wurden jedoch unter bestimmten Bedingungen auch in größeren Feldtiefen von 30 – 100 m noch höhere Auskreuzungsraten in der Größenordnung von 0,5 % und mehr festgestellt (11; 16; 24; 39; 40; 47; 50; 60). Besonders hoch sind die nur für das gesamte Feld angegebenen Auskreuzungsraten in einer älteren US-amerikanischen Studie, in der die damals üblichen Populationssorten eingesetzt wurden (35).
- Bis heute existiert kein abgesicherter Umrechnungsfaktor für den Vergleich von Auskreuzungsergebnissen unter Nutzung von gv-Sorten mit denen visuell auswertbarer Testsysteme, basierend auf Merkmalen wie Kornform oder -farbe. In einer Studie waren allerdings Auskreuzungsraten, die auf dem Merkmal ‚gelbe Kornfarbe‘ beruhten, doppelt so hoch wie parallel durch real-time-PCR bestimmte gv-Gehalte (50).
- Informationen zum Einfluss des Feldgrößenverhältnisses zwischen Donor und Rezipient auf die Auskreuzung können den Arbeiten nicht entnommen werden, da für die Beurteilung essentielle Daten fehlen und meist zu viele Parameter (Feldgröße und -form, klimatische Faktoren, etc.) variieren. Außerdem ist keine der Versuchsanstellungen explizit für diese Fragestellung konzipiert worden.

- Zum Einfluss der Kulturart zwischen Donor und Rezipient auf die Auskreuzung gibt es bisher nur wenige Arbeiten. Außer Studien, die Mais mit einer anderen Kulturart (17) bzw. Brache (16) vergleichen, existiert bisher nur eine Arbeit, in der die Auskreuzung über eine hochwachsende Kulturart (Sonnenblume) und über eine niedrig wachsende Kulturart (Klee/Gras-Gemisch) vergleichend untersucht wurde (37). Eine physikalische Abschirmung durch die hochwachsende Sonnenblume konnte nicht festgestellt werden.
- Versetzte Saattermine von gv- und ngv-Feld können in Südeuropa als sinnvolle Koexistenzmaßnahme genutzt werden.

5 Schlussfolgerungen

Unter den 45 Studien, die sich dem Thema der Auskreuzung bei Mais gewidmet haben, gibt es nur wenige, mit deren Hilfe konkrete Aussagen über die Wirksamkeit einzelner Maßnahmen zur Sicherung der Koexistenz gemacht werden können. Hauptgründe sind die fehlende Erhebung und/oder Präsentation der für die Bewertung der Ergebnisse essentiellen Parameter wie z. B. Wind- und Blühverlaufsdaten, fehlende echte Wiederholungen mit unveränderter Versuchsfeldanlage sowie Wiederholungen unter unterschiedlichen klimatischen Bedingungen. Desweiteren erschweren Schwächen bei der Versuchsanlage wie zu praxisferne Versuchsansätze sowie die Variation zu vieler Faktoren, die die Wirksamkeit der jeweils betrachteten möglichen Koexistenzmaßnahme beeinflussen, eine Interpretation der Ergebnisse. Eine Reihe weiterer meist älterer Versuche ist ursprünglich nicht unter dem Gesichtspunkt der Koexistenz konzipiert worden, jedoch für Aussagen zu diesem Thema herangezogen worden.

Trotz dieser Einschränkungen und der Tatsache, dass die Studien in verschiedenen Ländern und damit klimatischen Regionen sowie mit landestypischen Sorten erarbeitet wurden, lassen sich aus ihnen folgende allgemeine Aussagen ableiten (s. dazu Abschn. 4.2 und 4.4):

- *Randeffekt*: Die Auskreuzung ist stets an dem Feldrand des Rezipienten, der dem Donor zugewandt ist, am höchsten („Randeffekt“). Hinsichtlich der Abnahme der Auskreuzung im ngv-Bestand mit zunehmender Feldtiefe gibt es abweichende Resultate. In den Studien wurde sowohl eine rasche Abnahme nach bereits wenigen Metern auf Werte deutlich unter dem Kennzeichnungsschwellenwert von 0,9 % als auch auf Werte um 0,5 % und darüber in Feldtiefen von 30 – 100 m nachgewiesen. Manchmal konnte außerdem in größeren Rezipientenfeldtiefen lokal begrenzt ein sprunghafter Anstieg der Auskreuzungsrate beobachtet werden („hot spot“).
- *Fläche zwischen gv- und ngv-Mais*: Bisher existiert lediglich eine gezielt angelegte Studie zur Ermittlung des Einflusses der zwischen Donor und Rezipient angebauten Kulturart auf die Auskreuzung. Beim Vergleich zwischen der hochwachsenden Sonnenblume und dem niedrig wachsenden Klee/Gras-Gemisch konnte kein Unterschied in der Auskreuzungsrate festgestellt werden. Allerdings liefern viele der Arbeiten Hinweise dafür, dass ngv-Mais wegen der zusätzlichen Pollenproduktion einer Auskreuzung am besten vorbeugen kann.
- *Einfluss der Schlaggröße*: Auch wenn in den Studien insgesamt sehr unterschiedliche Donor-/Rezipient-Größenverhältnisse realisiert wurden, existiert keine Versuchsanordnung, in der bis auf unterschiedliche Feldgrößenverhältnisse alle übrigen Parameter (Standort, relative Lage und Form der Schläge, Testsystem, etc.), konstant gehalten wurden. Eine abgesicherte Aussage zum Einfluss von Schlaggrößen und Schlaggrößenverhältnissen auf die Auskreuzung kann anhand der vorliegenden Studien daher nicht gemacht werden.

- *Mindestabstand*: Die Ableitung eines wissenschaftlich fundierten Mindestabstands ist aus den bisher vorliegenden, sehr unterschiedlich konzipierten Studien nicht möglich. Dazu sind lediglich Daten von Feld-neben-Feld-Versuchsanordnungen nutzbar. Die bisherige Datengrundlage dieser Versuchsanstellungen deutet an, dass ein Abstand von 50 – 100 m ausreichen sollte, um für benachbarte ngv-Praxisschläge (gesamter Schlag) mit hoher Wahrscheinlichkeit die Unterschreitung des Kennzeichnungsschwellenwerts sicherzustellen. Sollten jedoch in Zukunft seitens der EU Schwellenwerte für ngv-Maissaatgut deutlich oberhalb von 0 %, (z. B. 0,5 %) festgelegt werden, sind diese Abstände zu überdenken.
- *Nutzungsart*: Für eine eventuelle Unterscheidung von Koexistenzmaßnahmen im Hinblick auf die Nutzungsrichtung (Körner- bzw. Silomais, Liesch-Kolben-Schrot, Zuckermais) fehlt bisher die Datengrundlage.
- *Mantelsaat*: Lediglich in drei Studien wurde eine Mantelsaat am Donorfelddrand angelegt. Leider wurde jedoch nur in einer dieser Arbeiten auch eine Vergleichsvariante ohne Mantelsaat am gleichen Standort geprüft. Die 12-reihige Mantelsaat konnte die Auskreuzung in den benachbarten Rezipientenschlag gegenüber der Vergleichsparzelle deutlich reduzieren.
- *Separate Ernte des Felddrands*: Als ebenfalls wirksam ist die separate Ernte des dem gv-Schlag zugewandten Felddrands benachbarter ngv-Felder anzusehen, z. B. im Zuge nachbarschaftlicher Absprachen.
- *Blühzeitverschiebung*: Eine Blühzeitverschiebung durch zeitlich versetzte Aussaattermine von gv- und ngv-Maissorten wird man als zusätzliche Maßnahme ausschließlich in Südeuropa realisieren können.

Diese Auflistung macht deutlich, dass weiterer Forschungsbedarf im Rahmen der Koexistenz beim Maisanbau besteht. Besonderer Wert sollte dabei darauf gelegt werden, stets die wesentlichen, die Auskreuzung maßgeblich bestimmenden Parameter (klimatische Bedingungen, Blühverlauf von Donor und Rezipient) mit zu erfassen, um die Wahrscheinlichkeit des Eintretens bestimmter Auskreuzungsraten beurteilen zu können. Zukünftig sollten daher vorrangig folgende Themenschwerpunkte experimentell bearbeitet werden:

- Quantifizierung der Wirksamkeit einer *Mantelsaat* am gv-Felddrand zur Reduktion der Auskreuzung.
- *Einfluss pflanzenbaulicher Parameter* auf die Auskreuzung in benachbarte ngv-Bestände (z. B. Kulturart zwischen Donor und Rezipient, Donor/Rezipient-Größenverhältnis, Drillrichtung im Rezipientenfeld, etc.).
- Berücksichtigung der unterschiedlichen *Nutzungsrichtung* des Ernteguts (vorwiegend Körner- vs. Silomais).
- Auswirkungen eines *gv-Anteils im konventionellen Saatgut* (Saatgutverunreinigung) auf den gv-Anteil im Erntegut.

Zusammenfassung

In diesem Literaturreview werden alle derzeit vorliegenden Studien zur Auskreuzung von Mais berücksichtigt. Sie werden hinsichtlich ihrer Eignung für die Ableitung von Maßnahmen zur Sicherstellung der Koexistenz von gentechnisch verändertem (gv-) Mais und nicht gentechnisch verändertem (ngv-) konventionell sowie ökologisch erzeugtem Mais kategorisiert und bewertet. Die wesentlichen Ergebnisse aus insgesamt 45 ausgewerteten Studien werden tabellarisch dargestellt. Als Quellen werden sowohl wissenschaftliche Zeitschriften, Projektberichte und Kurzfassungen in Tagungsbänden als auch im Internet verfügbare Präsentationen von Workshops oder Konferenzen herangezogen.

Die Studien zeigen, dass verschiedene Maßnahmen zur Verringerung der Auskreuzung geeignet sind. Hierzu gehören z. B. (i) die Einhaltung eines Abstands von 50 – 100 m zwischen gv- und ngv-Mais, (ii) die Nutzung einer Maismantelsaat, (iii) die separate Ernte der ersten dem gv-Schlag zugewandten Reihen des ngv-Feldes sowie (iv) in Südeuropa zusätzlich eine Blühzeitverschiebung

z. B. durch versetzte Saattermine von gv- und ngv-Mais. Bestehende Forschungsdefizite bei der Auskreuzung von Mais werden benannt.

Die Aussagen der Studien zur Wirksamkeit unterschiedlicher Koexistenzmaßnahmen lassen sich nur sehr bedingt verallgemeinern. Ursachen sind vielfach unvollständige bzw. fehlende Angaben zu den die Auskreuzung maßgeblich beeinflussenden Parametern, insbesondere Windrichtung und Blütezeit, sowie teilweise nicht optimale Feldversuchsanlagen und fehlende Wiederholungen. Deshalb sind als Grundlage für die Erstellung von Rechtsvorschriften zur Koexistenz spezielle Versuchsansätze, einschließlich der Erhebung aller auskreuzungsrelevanten Parameter, zur Quantifizierung der Wirksamkeit einzelner Maßnahmen erforderlich, deren Ergebnisse in Prognosemodelle einfließen können.

Summary

Outcrossing studies on maize: Overview, assessment, need for research

This literature review takes all currently available studies on the outcrossing of maize into account. They are categorised and assessed in terms of suitability for deriving measures to ensure the co-existence of genetically modified (GM) maize and non-genetically modified (non-GM) conventional maize as well as organically produced maize. The key results from a total of 45 analysed studies are set out in a table. Sources consulted for this purpose include scientific journals, project reports and abridged versions in conference documentation as well as presentations from workshops or conferences that are available on the Internet.

The studies show that different measures are suitable to reduce outcrossing. These include e.g. (i) the observance of an isolation distance of 50-100 m between GM and non-GM maize, (ii) the use of a maize buffer zone, (iii) the separate harvesting of the first rows of the non-GM field facing the GM parcel as well as (iv) additionally in Southern Europe, a shifting of the flowering period e.g. through staggered sowing dates of GM and non-GM maize. Existing deficits in the research on the outcrossing of maize are pointed out.

The statements made in the studies on the efficacy of different co-existence measures can only be generalised to a very limited degree. The reasons for this are frequently incomplete or lacking data on the parameters exerting a key influence on outcrossing, notably the wind direction and flowering period as well as not ideal experimental field trial designs in some cases and a lack of trial repetitions. Therefore, specific experimental approaches as the basis for creating legal requirements for co-existence, including the collection and consideration of all outcrossing-related parameters, are required to quantify the efficacy of individual measures. Finally, these results can be incorporated in forecasting models.

Résumé

Etudes sur le croisement du maïs: description, évaluation, besoin de recherche

Pour cet examen des publications, toutes les études actuellement disponibles sur le sujet du croisement du maïs sont prises en considération. Elles sont classées et évaluées selon la possibilité à en déduire des mesures pour garantir la coexistence du maïs génétiquement modifié (GM) et du maïs non génétiquement modifié (NGM) issu de l'agriculture conventionnelle ou de l'agriculture biologique. Les résultats les plus importants des 45 études analysées sont présentés dans un tableau. A cet effet, des revues spécialisées, des rapports sur des projets et des résumés dans les brochures de congrès ainsi que des présentations d'ateliers ou de conférences publiées sur Internet ont servi de sources.

Les études montrent qu'il y a différentes mesures appropriées pour limiter le croisement. Par exemple (i) en respectant une distance de 50 à 100 m entre le maïs GM et le maïs NGM, (ii) en utilisant des semences de maïs enrobées, (iii) en récoltant séparément les premières lignes sur le champ de maïs NGM attenantes à la parcelle GM et (iv), en Europe du Sud, en décalant l'époque de floraison en choisissant différentes dates pour le semis du maïs GM et du maïs NGM. De plus, les déficits de recherche à constater dans le domaine du croisement du maïs sont indiqués.

En ce qui concerne l'efficacité des différentes mesures de coexistence, les résultats des études ne peuvent être généralisés que très partiellement. Ceci est dû au fait que les données relatives aux paramètres décisifs pour le croisement sont souvent incomplètes ou même inexistantes, notamment la direction du vent et l'époque de floraison et que quelques fois les essais en champ ne sont pas optimaux ou qu'il n'y a pas de répétitions. C'est pourquoi, en tant que base pour l'élaboration de réglementations sur la coexistence, des conceptions d'essai spécifiques y compris la saisi de tous les paramètres de croisement pertinents sont nécessaires afin de quantifier l'efficacité des mesures individuelles dont les résultats pourraient être pris en compte pour créer des modèles de prévision.

Literatur

1. AGES, 2006: Untersuchungen zu Fremdbefruchtungsrate in Maiskulturen unter Berücksichtigung der Umwelten in den Hauptanbaugebieten Österreichs. Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, Wien. [http://www.ages.at/web/ages/content.nsf/73b5f92ac245b957c1256a9a004e1676/d1efdc33b485c2bcc12572120043ebd4/\\$FILE/enderbericht_homepage.pdf](http://www.ages.at/web/ages/content.nsf/73b5f92ac245b957c1256a9a004e1676/d1efdc33b485c2bcc12572120043ebd4/$FILE/enderbericht_homepage.pdf).
2. APROSE, 2004: In: BROOKES, G.; BARFOOT, P.; MELÉ, E.; MESSEGUER, J.; BÉNÉTRIX, F.; BLOC, D.; FOUÉILLASSAR, X.; FABIÉ, A.; POEYDOMENGE, C., 2004: Genetically modified maize: pollen movement and crop coexistence. PG Economics. <http://www.pgeconomics.co.uk/pdf/Maizepollen2004final.pdf>.
3. AYLOR, D. E.; SCHULTES, N. P.; SHIELDS, E. J., 2003: An aerobiological framework for assessing cross-pollination in maize. *Agr. Forest Meteorol.* 119, S. 111–129.
4. BAKTASH, F. Y., 1984: Isolation distances between corn fields in Iraq. *Iraqi J. Agric. Sciences* “Zanco” 2, S. 25–31.
5. BANNERT, M., 2006: Simulation of transgenic pollen dispersal by use of different grain colour maize. Dissertation. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich. http://www.agrisite.de/doc/ge_img/pollen-swiss.pdf.
6. –, STAMP, P., 2007: Cross-pollination of maize at long distance. *Eur. J. Agron.* 27, S. 44–51.
7. BATEMAN, A. J., 1947: Contamination of seed crops II. Wind pollination. *Heredity* 1, S. 235–246.
8. BENÉTRIX, F.; FOUÉILLASSAR, X.; FABIÉ, A.; POEYDOMENGE, C., 2005: Conventional and genetically modified corn co-existence management from field to silo. Symposium on Coexistence of GMO Seeds & Agricultural Production, Wien, 22. – 23. Februar 2005. taix.cec.eu.int/Seminar%20Organisation/Tools/Presentations/11411/Benetrrix.ppt.
9. BURRIS, J. S., 2001: Adventitious pollen intrusion into hybrid maize seed production fields. American Seed Trade Association. Alexandria, USA. http://www.amseed.com/govt_statementsDetail.asp?id=69.
10. BVL, 2007: Anbau von gentechnisch verändertem Mais in Deutschland 2007 - Vergleich der Anbaufläche von Bt-Mais und konventionellem Mais in den Jahren 2005 bis 2007. http://www.bvl.bund.de/cln_027/nn_491980/DE/08_PresseInfothek/01_InfosFuerPresse/01_PI_und_HGI/GVO/HG_auswertung_stareg_2007.html.
11. BYRNE, P. F.; FROMHERZ, S., 2003: Can GM and non-GM crops coexist? Setting a precedent in Boulder County, Colorado, USA. *J. Food Agr. Environ.* 1, S. 256–261.
12. –, TERPSTRA, K. A.; DABBERT, T. A.; ALEXANDER, R.; MARTIN, P., 2003: Estimating pollen-mediated gene flow in corn under Colorado conditions. American Society of Agronomy Meeting, Denver, USA, 2.-6.11.2003.
13. CHILCUTT, C. F.; TABASHNIK, B. E., 2004: Contamination of refuges by *Bacillus thuringiensis* toxin genes from transgenic maize. *P. Natl. Acad. Sci. USA* 101: S. 7526–7529.
14. CRUZ DE CARVALHO, P. und ALFARROBA, F., 2006: Coexistence between genetically modified, conventional and organic crops. Lissabon, Ministry of Agriculture, Rural Development and Fisheries, Directorate General for Crop Protection, Status Report for 2006, S. 1-59. http://www.biosicherheit.de/pdf/is_koex/ministero_da_agricultura_koex-studie_pt2006.pdf.
15. DAS, K.G.S., 1983: Vicinity distance studies of hybrid seed production in maize (*Zea mays* L.) at Bangalore. *Mysore J. Agr. Sci.* 20, S. 340.
16. DELLA PORTA, G.; EDERLE, D.; BUCCHINI, L.; PRANDI, M.; POZZI, C.; VERDERIO, A., 2006: Gene flow between neighboring fields in the Po Valley. Publication of the Centro di Documentazione Agrobiotecnologie (CEDAB), Milan, Italy, S 1–32. <http://www.cedab.it/cgi-bin/documenti/gene%20flow%20broch%20english.pdf>.
17. EDER, J., 2006: Bericht zum Erprobungsanbau mit gentechnisch verändertem Mais in Bayern 2005, 18. edition. Freising-Weißenstephan: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). http://www.transgen.de/pdf/dokumente/lfl_koexistenz_bayern2005.pdf.
18. FABIÉ, A., 2004: Research on coexistence in the field - French experiments for maize. COPA-COGECA Colloquy on the co-existence and thresholds of adventitious presence on GMOs in conventional seeds. <http://www.copa-cogeca.be/pdf/8bis.pdf>.
19. FELSOT, A. S., 2002: Pharm farming - it's not your father's agriculture. *Agrichemical and Environmental News* 195, S. 1–23. http://www.aenews.wsu.edu/July02AENews/Pharm_Farming/PharmFarming.pdf.
20. FONSECA, A.; WESTGATE, M., 2005: Relationship between desiccation and viability of maize pollen. *Field Crop Res.* 94, S. 114–125.
21. FOUÉILLASSAR, X.; FABIÉ, A.; LABORDE, J., 2007a: Specific coexistence measures for sweet corn. Poster präsentiert auf der Third International Conference on Coexistence between Genetically Modified (GM) and non-GM based Agricultural Supply Chains, Sevilla, 20-21.11.2007.

22. –; –; –, 2007b: Specific coexistence measures for sweet corn. GMCC-07: Third International Conference on Coexistence between Genetically Modified (GM) and non-GM based Agricultural Supply Chains. Luxembourg: Office for Official Publications of the EC, S. 257–258.
23. GARCIA, M.; FIGUEROA, C. J.; GOMEZ, M. R.; TOWNSEND, L. R.; SCHOPER, J., 1998: Pollen control during transgenic hybrid maize development in Mexico. *Crop Sci* 38, S. 1597–1602.
24. GOGGI, A. S.; CARAGEA, P.; LOPEZ-SANCHEZ, H.; WESTGATE, M.; ARRIIT, R.; CLARK, C., 2006: Statistical analysis of outcrossing between adjacent maize grain production fields. *Field Crop Res.* 99, S. 147–157.
25. –; LOPEZ-SANCHEZ, H.; CARAGEA, P.; WESTGATE, M.; ARRIIT, R.; CLARK, C. A., 2007: Gene flow in maize fields with different local pollen densities. *Int. J. Biometeorol.* 51, S. 493–503.
26. HAEGELE, J. W.; PETERSON, P. A., 2007: The flow of maize pollen in a designed field plot. *Maydica* 52, S. 117–125.
27. HALSEY, M. E.; REMUND, K. M.; DAVIS, C. A.; QUALLS, M.; EPPARD, P. J.; BERBERICH, S. A., 2005: Isolation of maize from pollen-mediated gene flow by time and distance. *Crop Sci.* 45, S. 2172–2185.
28. HASKELL, G.; DOW, P., 1951: Studies with sweet corn. V. Seed-settings with distances from pollen source. *Empire J. Exp. Agr.* 19, S. 45–50.
29. HENRY, C.; MORGAN, D.; WEEKS, R.; DANIELS, R. E.; BOFFEY, C., 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. London, UK, Department for Environment, Food & Rural Affairs, Report, S. 1–25. http://www.defra.gov.uk/environment/gm/research/pdf/epg_1-5-138.pdf.
30. HERRERO, M. P.; JOHNSON, R. R., 1980: High temperature stress and pollen viability of maize. *Crop Sci.* 20, S. 796–800.
31. HOFFMANN, W.; MUDRA, A.; PLARRE, W., 1985: Lehrbuch der Züchtung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen – Band 2, spezieller Teil. Hamburg, Berlin: Verlag Paul Parey.
32. IRELAND, D. S.; WILSON, D. O., JR.; WESTGATE, M. E.; BURRIS, J. S.; LAUER, M. J., 2006: Managing Reproductive Isolation in Hybrid Seed Corn Production. *Crop Sci.* 46, S. 1445–1455.
33. JAMES, C., 2006: Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2006. ISAAA Brief No. 35, ISAAA: Ithaca, NY., <http://www.isaaa.org/Resources/Publications/briefs/35/executivesummary/pdf/Brief%2035%20-%20Executive%20Summary%20-%20English.pdf>.
34. JEMISON, J. M.; VAYDA, M. E., 2001: Cross pollination from genetically engineered corn: wind transport and seed source. *AGBioForum* 4, S. 87–92.
35. JONES, M. D.; BROOKS, J. S., 1950: Effectiveness of distance and border rows preventing outcrossing in corn. *Okla. AES Tech. Bull.* T-38: S. 3–18.
36. –, 1952: Effect of tree barriers on outcrossing in corn. *Okla. AES Tech. Bull.* T-45.
37. LANGHOF, M.; HOMMEL, B.; HÜSKEN, A.; SCHIEMANN, J.; WEHLING, P.; WILHELM, R.; RÜHL, G., 2008: Coexistence in maize: Do non-maize buffer zones reduce gene flow between maize fields? *Crop Sci.* 48: S. 305–316.
38. LUNA, S.; FIGUEROA, V. J.; BALTAZAR, M. B.; GOMEZ, M. R.; TOWNSEND, L. R.; SCHOPER, J. B., 2001: Maize pollen longevity and distance isolation requirements for effective pollen control. *Crop Sci.* 41: S. 1551–1557.
39. MA, B. L.; SUBEDI, K. D.; REID, L. M., 2004: Extent of cross-fertilization in maize by pollen from neighboring transgenic hybrids. *Crop Sci.* 44, S. 1273–1282.
40. MATSUO, K.; AMANO, K.; SHIBAIKE, H.; YOSHIMURA, Y.; KAWASHIMA, S.; UESUGI, S.; MISAWA, T.; MIUARA, Y.; BAN, Y.; OKA, M., 2004: Pollen dispersal and outcrossing in *Zea mays* populations: A simple identification of hybrids detected by xenia using conventional corn in simulation of transgene dispersion of GM corn. Proceedings of the 8th International Symposium on the Biosafety of genetically Modified Organisms, 26. – 30. September 2004, Montpellier, Frankreich, S. 281.
41. MELÉ, E., 2004: Spanish study shows that coexistence is possible. *ABIC* 3, S. 2.
42. MESSEAN, A.; ANGEVIN, F.; GÓMEZ-BARBERO, M.; MENRAD, K.; RODRÍGUEZ-CEREZO, K., 2006: New case studies on the co-existence of GM and non-GM crops in European agriculture. Joint Research Centre (DG JRC). Technical Report Series, EUR 22102 EN, S.1–116. <http://ftp.jrc.es/eur22102en.pdf>.
43. MESSEGUER, J.; PENAS, G.; BALLESTER, J.; BAS, M.; SERRA, J.; SALVIA, J.; PALAUDELMAS, M.; MELÉ, E., 2006: Pollen-mediated gene flow in maize in real situations of coexistence. *Plant Biotechnol. J.* 4, S. 633–645.
44. NARAYANASWAMY, S.; JAGADISH, G. V.; UJINIAH, U. S., 1997: Determination of isolation distance for hybrid maize seed production. *Current Research - University of Agricultural Sciences (Bangalore)* 26, S. 193–195.
45. OECD, 2003: Consensus document on the biology of *Zea mays* subsp. *mays* (maize). ENV/JM/MONO(2003)11, S. 1–49. [http://www.olis.oecd.org/olis/2003doc.nsf/43bb6130e5e86e5fc12569fa005d004c/f70b80eb7cd25728c1256d57003e5f0c/\\$FILE/JT00147699.PDF](http://www.olis.oecd.org/olis/2003doc.nsf/43bb6130e5e86e5fc12569fa005d004c/f70b80eb7cd25728c1256d57003e5f0c/$FILE/JT00147699.PDF).

46. ORTEGA MOLINA, J., 2003: Results of the studies into the coexistence of genetically modified and conventional maize. <http://www.copa-cogeca.be/pdf/9>.
47. –, 2006: The Spanish experience with co-existence after eight years of cultivation of GM maize. Co-existence of genetically modified, conventional and organic crops. Freedom of Choice, Wien, 4. – 6. April 2006. http://ec.europa.eu/agriculture/events/vienna2006/presentations/Ortega_en.pdf.
48. PAPAŽOVA, N.; MALEF, A.; DEGRIECK, I.; VON BOCKSTAELE, E.; DE LOOSE, M., 2005: DNA extractability from the maize embryo and endosperm – relevance to GMO assessment in seed samples. *Seed Sci. Technol.* 33, S. 533–542.
49. PATERNIANI, E.; STORT, A.C., 1974: Effective maize pollen dispersal in the field. *Euphytica* 23, S. 129–134.
50. PLA, M.; LA PAZ, J. L.; PENAS, G.; GARCIA, N.; PALAUDELMAS, M.; ESTEVE, T.; MESSEGUER, J.; MELÉ, E., 2006: Assessment of real-time PCR based methods for quantification of pollen-mediated gene flow from GM to conventional maize in a field study. *Transgenic Res.* 15, S. 219–228.
51. SALAMOV, A. B., 1940: O prostranstvennoi izoljazii kukuruzy – Über die räumliche Isolierung bei Mais. *Selekcija i semenovodstvo* 3, S. 25–27.
52. SANVIDO, O.; WIDMER, F.; WINZELER, M.; STREIT, B.; SZERENCITS, E.; BIGLER, F., 2005: Koexistenz verschiedener landwirtschaftlicher Anbausysteme mit und ohne Gentechnik. Zürich, Schweiz, Agroscope FAL Reckenholz.
53. SCHIEFER, C., 2007: Auskreuzungsverhalten von Bt-Mais im Exaktversuch und unter Produktionsbedingungen. http://www.landwirtschaft.sachsen.de/lfi/publikationen/download/3226_1.pdf.
54. STEVENS, W.; BERBERICH, S.; SHECKELL, P.; WILTSE, C.; HALSEY, M.; HORAK, M.; DUNN, D., 2004: Optimizing pollen confinement in maize grown for regulated products. *Crop Sci.* 44, S. 2146–2153.
55. TRIFA, Y.; ZHANG, D., 2004: DNA Content in Embryo and Endosperm of Maize Kernel (*Zea mays* L.): Impact on GMO Quantification. *J. Agr. Food Sci.* 52, S. 1044–1048.
56. VAN DE WIEL, C.; DOLSTRA, O.; GROENEFELD, R.; KOK, E.; SCHOLTENS, I.; THISSEN, J.; LOTZ, B.; SMULDERS, R., 2007: Preliminary results of a study on pollen-mediated gene flow in maize under agronomical conditions representative for The Netherlands in 2006. http://www.biosicherheit.de/pdf/is_koex/PRI-RIKILT_2007_Preliminary_results_of_Dutch_coexistence_test_crops.
57. WATANABE, S.; KAMADA, H.; EZURA, H., 2006: Effect of a special screened greenhouse covered by fine mesh on maize outcrossing. *Plant Biotechnol.* 23, S. 309–316.
58. WATANABE, S.; SANO, T.; KAMADA, H.; EZURA, H., 2006: Efficacy of a special screened greenhouse covered by duplex fine mesh in reducing maize outcrossing. *Plant Biotechnol.* 23, S. 387–394.
59. WEBER, W. E., 2006: Bt-Mais – Landwirte und Handel praktizieren Koexistenz. *Mais* 2, S. 2–4.
60. –, BRINGEZU, T.; BROER, I.; EDER, J.; HOLZ, F., 2007: Coexistence between GM and Non-GM maize crops - Tested in 2004 at the field scale level (Erprobungsanbau 2004). *J. Agron. Crop Sci.* 193, S. 79–92.
61. WEEKES, R.; ALLNUTT, T.; BOFFEY, C.; MORGAN, S.; BILTON, M.; DANIELS, R.; HENRY, C., 2007: A study of crop-to-crop gene flow using farm scale sites of fodder maize (*Zea mays* L.) in the UK. *Transgenic Res.* 16, S. 203–211.
62. WILHELM, R.; MEIER-BETHKE, S.; SCHIEMANN, J., 2005: Ergebnisse und Folgerungen aus den Feldversuchen der BBA zur Auskreuzung von transgenem Mais. *Vorträge für Pflanzenzüchtung* 67, S. 259–266.

Autorenanschrift: Dr. MAREN LANGHOF und Dr. GERHARD RÜHL, Institut für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, Deutschland
maren.langhof@fal.de
gerhard.ruehl@fal.de

Anhang

Tabelle 1. Übersicht der publizierten bzw. im Internet verfügbaren Studien zur Auskreuzung von Mais mit Relevanz für Koexistenz (Feld-neben-Feld Situation)¹⁾

Quelle, Land & Versuchsdesign	Nachweis (Merkmal)	Feldgröße (ha)		Isolationsdistanz	Position im Rezipienten ²⁾	Auskreuzung (%) ³⁾	Windrichtung ⁴⁾	Blüh-syn-chronität ⁵⁾	Ent-fah-nung	Publika-tionstyp
		D	R							
BANNERT, 2006; BANNERT & STAMP, 2007 Schweiz	visuell (Korn-farbe)	k.A.	~0,8	52 m	g.F.	0,0090 ⁶⁾	+	-	nein	Disserta-tion, Journal
				85 m		0,0150 ⁶⁾	+	+		
				105 / 125 m		0,003 /	-	-		
				149 / 150 m		0,0100 ⁶⁾	+	-		
				200 / 287 m		0,016 /	-	-		
				371 m		0,0070 ⁶⁾	+	-		
				402 m		0,009 /	-	-		
				458 m		0,0050 ⁶⁾	+	-		
				4125 / 4440 m		0,0080 ⁶⁾	+	-		
						0,0050 ⁶⁾	+	-		
	0,0002 ⁶⁾									
	0,006 /									
	0,0005 ⁶⁾									
CRUZ DE CAR- VALHO & AL- FARROBA, 2006 Portugal (Praxisschläge)	PCR (Bt-Gen)	1,0	1,8	5 m + 24 MSR	g.F.	0	k.A.	k.A.	nein	Internet-bericht
		8,0	0,5	14 m + 8 MSR		0	+			
		8,0	2,0	18 m + 24 MSR		0,01	-			
		2,2	0,5	8 m + 24 MSR		0	+			
		2,2	2,4	36 m + 24 MSR		0	+			
		29,5	1,0	210 m		0,08	k.A.			
		22,0	k.A.	> 500 m		0	k.A.			
		18,0	4,0	3 m + 24 MSR		0,14	k.A.			
		45,0	35,0	3 m		0	-			

Quelle, Land & Versuchsdesign	Nachweis (Merkmal)	Feldgröße (ha)		Isolationsdistanz	Position im Rezipienten ²⁾	Auskreuzung (%) ³⁾	Windrichtung ⁴⁾	Blüh-syn-chroni-tät ⁵⁾	Ent-fah-nung	Publika-tionstyp	
		D	R								
DELLA PORTA et al., 2006 Italien	visuell (Korn-farbe)	1,4	4,8	17,5 m	0 m	23,13	k.A.	+	nein	Internet-bericht	
				34,3 m	16 m	0,82					
		2,6	8,8	17,5 m	0 m	3,95					
				34,3 m	17 m	0,35					
		1,1	2,9	9,1 m + 12 MSR	0 m	4,48					
				9,1 m	16 m	1,25	k.A.				
					24 m	2,57					
					0 m	0,15					
					0 m	1,86					
					0 m	0,05					
			24 m	12,87							
			9,1 m	0,31							
EDER, 2006 Deutschland	PCR (Bt-Gen)	> 1	k.A.	50 m	0 m	24,66	+	k.A.	nein	Projekt-bericht	
				20 m	25 m	0,46					
		2	k.A.	50 m	0 m	3,88					
				50 m	25 m	0,05	+				
		1	k.A.	20 m	0 m	0,45					
				20 m	25 m	0,03	+				
				50 m	0 m	8,81					
				30 m	25 m	0,12					
			25 m	0,51							
			25 m	< 0,01							
			25 m	6,19							
			25 m	0,03							

Quelle, Land & Versuchsdesign	Nachweis (Merk- mal)	Feldgröße (ha)		Isolationsdistanz	Position im Rezi- pienten ²⁾	Auskreuzung (%) ³⁾	Wind- rich- tung ⁴⁾	Blüh- syn- chro- nität ⁵⁾	Ent- fah- nung	Publika- tionstyp
		D	R							
FOUELLASSAR et al., 2007a,b Frankreich (Praxisschläge)	visuell (Korn- form)	43; 3	32; 11	0; 1 m	0-5 m g.F.	0,148; 2,405 0,013; 0,053	-	-	nein	Konfe- renz- beitrag, Poster
		20	35	0 m	0-5 m g.F.	0,512 0,018	-	+		
		30	25	0 m	0-5 m g.F.	0,065 0,017	+	-		
		3	6	1 m	0-5 m g.F.	7,177 0,114	+	+		
		17; 17	27; 39	2; 3 m	0-5 m g.F.	0,171; 3,807 0,015; 0,168	+	-		
		37	40	4 m	0-5 m g.F.	0,067 0,003	-	+		
		3-20	5-55	5-6 m	0-5 m g.F.	0,034-1,049 0,019-0,172	+	-		
		4-6	3-11	5 m	0-5 m g.F.	0,16-0,253 0,001-0,026	-	-		
		0,2; 12	3; 27	10 m	0-5 m g.F.	0,060; 1,887 0,003; 0,015	+	-		
		10-45	17-37	10 m	0-5 m g.F.	0,056-1,599 0,015-0,105	-	-		
		13	35	10 m	0-5 m g.F.	0,239 0,018	+	+		
		3; 11	2; 17	16; 15 m	0-5 m g.F.	0,132; 0,365 0,015; 0,050	+	-		
		3	7	15 m	0-5 m g.F.	0,099 0,008	+	+		
		5	9	20 m	0-5 m g.F.	0,113 0,007	-	+		

Quelle, Land & Versuchsdesign	Nachweis (Merkmal)	Feldgröße (ha)		Isolationsdistanz	Position im Rezipienten ²⁾	Auskreuzung (%) ³⁾	Windrichtung ⁴⁾	Blüh-syn-chronität ⁵⁾	Ent-fah-nung	Publika-tionstyp
		D	R							
FOUEILLASSAR et al., 2007a,b Frankreich (Praxisschläge)		3; 8	3; 9	50 m	0-5 m g.F.	0,012; 0,083 0,003; 0,007	-	-		
		25	25	50 m	0-5 m g.F.	0,594 0,153	+	+		
		45	37	80 m	0-5 m g.F.	0,386 0,105	±	-		
		20	40	220 m	0-5 m g.F.	0,020 0,003	±	+		
MESSEGUER et al., 2006 Spanien (Praxisschläge) ⁷⁾	PCR (Bt-Gen)	> 0,5	1,07	k.A.	g.F.	0,00	+	-	nein	Journal
		> 0,5	0,58	k.A.		0,00	+	-		
		> 0,5	4,63	k.A.		0,00	+	+		
		> 0,5	1,89	10; 118 m		0,05	+	+		
		> 0,5	3,56	2; 65; 128 m		0,11	+	+		
		> 0,5	1,10	3; 10; 32; 64 m		1,22	+	+		
		> 0,5	1,50	3; 5; 6; 121; 140 m		1,89	+	+		
		> 0,5	0,50	66 m		0,04	+	+		
		> 0,5	3,08	10; 71; 126; 142; 145 m		0,53	+ -	+		
		> 0,5	0,97	72; 74; 99; 150 m		0,07	+ -	+		
		> 0,5	1,89	2; 92 m		2,29	+ -	+		
		> 0,5	2,55	72; 130; 144 m		0,01	-	+		
PLA et al., 2006 Spanien	PCR (Bt-Gen)	4	~10	10 m	0 m	2,65 - 11,32	+ -	k.A.	nein	Journal
					10 m	0,17 - 0,43				
					20 m	0,13 - 0,64				
					40 m	0 - 0,16				
					80 m	0,05 - 0,14				

Quelle, Land & Versuchsdesign	Nachweis (Merkmal)	Feldgröße (ha)		Isolations- distanz	Position im Rezipi- enten ²⁾	Auskreuzung (%) ³⁾	Wind- rich- tung ⁴⁾	Blüh- syn- chroni- sation ⁵⁾	Ent- fah- nung	Publika- tionstyp
		D	R							
EDER, 2006 Deutschland F-i-F	PCR (Bt-Gen)	> 1	k.A.	keine	50 m 75 m	1,52 0,3	k.A.	+	nein	Projekt- bericht
FABIE, 2004 Frankreich F-n-F	visuell (Kornform)	0,6 7,0 0,8 7,0 4,5 5,5 5,0 1,5 2,5 4,8 12,0 8,0	6,3 0,7 1,4 5,0 2,7 4,0 8,0 3,6 6,3 13,0 9,0 5,5	keine 2 m 2 m 2 m 3 m 3 m 5 m 6 m 8 m 10 m 10 m 25 m	g.F.	0,41 ⁶⁾ 0,05 ⁶⁾ 0,13 ⁶⁾ 0,05 ⁶⁾ 0,65 ⁶⁾ 0,09 ⁶⁾ 0,00 ⁶⁾ 0,34 ⁶⁾ 0,00 ⁶⁾ 0,72 ⁶⁾ 0,36 ⁶⁾ 0,11 ⁶⁾	k.A.	k.A.	nein	Kolloqui- umsbei- trag, Internet
Goggi et al., 2006 USA F-i-F	visuell (Kornfarbe) ELISA (Bt-Protein) Keimtest (Herbizid- toleranz)	1	36	keine	1 m 10 m 35 m 100 m 150 m 200 m 250 m	30,6; 3,9; 0,7; 0,05; 0,01; 0,00; 47,10 ³⁾ 4,40 ³⁾ 0,90 ³⁾ 0,09 ³⁾ 0,03 ³⁾ 0,01 ³⁾ <0,01 ³⁾	+	+	nein	Journal

Quelle, Land & Versuchsdesign	Nachweis (Merkmal)	Feldgröße (ha)		Isolations- distanz	Position im Rezipi- enten ²⁾	Auskreuzung (%) ³⁾	Wind- rich- tung ⁴⁾	Blüh- syn- chro- nisi- erung ⁵⁾	Ent- fah- nung	Publika- tionstyp
		D	R							
HALSEY et al., 2005 USA F-n-F	visuell (Kornfarbe)	1,2	0,002	24 m	g.F.	0,69	-	+	nein	Journal
				60 m		0,19				
				125 m		0,05				
				254 m		0,01				
				32 m		0,55				
				62 m		0,23				
				123 m		0,08				
				244 m		0,02				
				42 m		0,0034				
				73 m		0,0004				
145 m	0,0002									
285 m	0									
106 m	0,0070									
190 m	0,0009									
318 m	0									
HENRY et al., 2003 & WEEKES et al., 2007 England F-a-F	PCR (<i>pat</i> -Gen)	~10	~10	keine	25 m 50 m 100 m 150 m 200 m	0,14 ⁹⁾	k.A.	k.A.	nein	Projekt- bericht, Journal
				30 m		0,12 ⁹⁾				
				350 m		0,10 ⁹⁾				
				30 m		0,12 ⁹⁾				
				100 m		0,02 ⁹⁾				
JEMISON & VAYDA, 2001 USA F-n-F	Keimtest (Herbizid- toleranz)	0,35	~0,03	30 m	0 m 10 m 0 m 0 m 10 m 0 m 10 m	1,04	k.A.	k.A.	nein	Journal
				350 m		0,03				
				30 m		0,00				
				100 m		1,65 ¹⁵⁾				
				100 m		1,14 ¹⁵⁾				
	0,65 ¹⁵⁾									
	1,38 ¹⁵⁾									

Quelle, Land & Versuchsdesign	Nachweis (Merkmal)	Feldgröße (ha)		Isolationsdistanz	Position im Rezipienten ²⁾	Auskreuzung (% ³⁾)	Windrichtung ⁴⁾	Blüh-syn-chroni-sation ⁵⁾	Ent-fah-nung	Publika-tionstyp
		D	R							
JONES & BROOKS, 1950 USA F-n-F	visuell (Kornfarbe und -form)	3,1	0,09	25 m	g.F.	6,99 – 19,17 ⁽³⁾	k.A.	k.A.	nein	Journal
				75 m		3,64 – 8,60 ⁽³⁾				
				126 m		0,82 – 3,68 ⁽³⁾				
				201 m		0,44 – 2,47 ⁽³⁾				
				302 m		0,15 – 0,99 ⁽³⁾				
JONES & BROOKS, 1952 USA F-n-F	visuell (Kornfarbe und -form)	5,1	1,9	25 m	0 m	8,1 – 30,6 ⁽³⁾	k.A.	k.A.	nein	Journal
				(1 – 2 Baumreihen zwischen D und R)	10 m	1,5 – 14,6 ⁽³⁾				
					25 m	2,4 – 10,5 ⁽³⁾				
					50 m	0,7 – 4,5 ⁽³⁾				
					101 m	0,1 – 2,6 ⁽³⁾				
LANGHOF et al., 2008 Deutschland F-n-F/F-i-F	PCR (Bt-Gen)	1	0,65	12 m (Sonnenblumen)	0 m	10,7	+	+	nein	Journal
				12 m (Klee/Gras)	12 m	3,0				
					0 m	12,3				
					12 m	2,9	+	+		
					0 m	8,2				
					10 m	2,9				
					0 m	7,0				
					10 m	3,1				
					0 m	18,3				
					12 m (Sonnenblumen)	14,4				
	12 m (Klee/Gras)	33,9								
		3,6								

Quelle, Land & Versuchsdesign	Nachweis (Merkmal)	Feldgröße (ha)		Isolations- distanz	Position im Rezipi- enten ²⁾	Auskreuzung (%) ³⁾	Wind- rich- tung ⁴⁾	Blüh- syn- chro- nisi- erung ⁵⁾	Ent- fah- nung	Publika- tionstyp
		D	R							
LANGHOF et al., 2008 Deutschland F-n-F/F-i-F	PCR (mole- kularer Marker)	1	0,65	13 m (Sonnen- blumen)	0 m	21,8	+	+		
				13 m (Klee/Gras)	12 m	4,9				
					0 m	40,9				
					12 m	2,7	+	+		
					0 m	4,9				
					12 m	0,2				
MA et al., 2004 Kanada F-i-F	visuell (Kornfarbe)	0,07	0,93	keine	0,8 m	11,7; 43,4 ¹³⁾	+	+	nein	Journal
					9,9 m	0,5; 1,4 ¹³⁾				
					23,6 m	0,2; 1,2 ¹³⁾				
					36,5 m	0,1; 0,4 ¹³⁾				
					0,8 m	2,1 – 26,3 ¹³⁾	+	+		
					9,9 m	0,1 – 4,6 ¹³⁾				
MATSUO et al., 2004 Japan F-a-F	visuell (Kornfarbe)	4,5	4,5	keine	23,6 m	0,0 – 0,6 ¹³⁾				
					36,5 m	0,0 – 0,2 ¹³⁾				
					1 m	32,0 – 43,20	k.A.	k.A.		
					50 m	1,20				
					100 m	0,23				
	200 m	0,06								
	400 m	0,04								

Quelle, Land & Versuchsdesign	Nachweis (Merkmal)	Feldgröße (ha)		Isolationsdistanz	Position im Rezipienten ²⁾	Auskreuzung (%) ³⁾	Windrichtung ⁴⁾	Blüh-synchronisation ⁵⁾	Ent-fah-nung	Publika-tionstyp
		D	R							
MELÉ, 2004 Spanien F-i-F (Teilschlagbe-trachtung vgl. Spalte 6)	PCR (Bt-Gen)	0,25	7,25	keine	g.F.	R = 0,25 ha: 1,77; R = 0,25 ha (separate Ernte der ersten 6 m): 0,77; R = 1 ha: 0,83	+	k.A.	nein	Zeit-schrift
ORTEGA MOLINA, 2003 & ORTEGA MOLINA, 2006 Spanien F-a-F, F-i-F, F-n-F (teilweise Pra-xisschläge)	PCR (Bt-Gen)	k.A.	k.A.	k.A. (Praxisschläge)	g.F. 2 m 9 m 22 m 40 m 90 m 140 m 190 m 291 m 340 m	0,05 – 0,30 ¹⁰⁾ 6,00 1,43 0,57 0,45 0,20 0,07 0,07 0,02 0,05	k.A. k.A.	k.A. k.A. (R 6 Tage nach D gedrillt)	nein	Konfe-renz-beitrag, Internet-bericht
		0,19	1,95	keine (F-i-F)	2 m 9 m 22 m 40 m 90 m 140 m g.F.	16,40 0,58 0,17 0 0 0	k.A.	k.A.		
	visuell (Kornfarbe)	k.A.	k.A.	50 m + 4 MSR (F-n-F)		0,14	k.A.	k.A.		

Quelle, Land & Versuchsdesign	Nachweis (Merkmal)	Feldgröße (ha)		Isolations- distanz	Position im Rezipi- enten ²⁾	Auskreuzung (%) ³⁾	Wind- rich- tung ⁴⁾	Blüh- syn- chroni- sation ⁵⁾	Ent- fah- nung	Publika- tionstyp
		D	R							
PLA et al., 2006 Spanien F-a-F	PCR (Bt-Gen)	4	~10	keine	0 m 10 m 20 m 40 m 80 m	9,86 - 13,43 0,40 - 3,67 0,26 - 0,81 0,19 - 0,73 0,07 - 0,21	+ -	k.A.	nein	Journal
SCHIEFER, 2007 Deutschland F-n-F	PCR (Bt-Gen)	k.A.	0,42- 0,64	k.A.	25 m 50 m 75 m 100 m 150 m	~0,47 ⁽⁸⁾ ~0,17 ⁽⁸⁾ ~0,13 ⁽⁸⁾ ~0,10 ⁽⁸⁾ <0,10 ⁽⁸⁾	+	k.A.	nein	Internet- bericht
WEBER et al. 2006 Deutschland F-n-F (Praxissschläge)	PCR (Bt-Gen)	k.A.	k.A.	20 bis > 100 m	g.F.	< 0,9 - 4,12 ⁽²⁾	k.A.	k.A.	nein	Zeit- schrift

Quelle, Land & Versuchsdesign	Nachweis (Merkmal)	Feldgröße (ha)		Isolationsdistanz	Position im Rezipienten ²⁾	Auskreuzung (% ³⁾)	Windrichtung ⁴⁾	Blüh-syn-chroni-sation ⁵⁾	Ent-fah-nung	Publika-tionstyp	
		D	R								
WEBER et al., 2007 Deutschland F-i-F	PCR (Bt-Gen)	Körnermais 1,8 bis 18,3	k.A.	keine	10 – 20 m	0,84 – 3,86 ⁽²⁾	k.A.	+	nein	Journal	
					20 – 30 m	0,13 – 0,96 ⁽²⁾					
					50 – 60 m	0,04 – 0,44 ⁽²⁾					
		Silomais 0,3 bis 23,0	k.A.	keine	10 – 20 m	0,04 – 6,05 ⁽²⁾	k.A.	+	+	nein	Journal
					20 – 30 m	0,01 – 1,50 ⁽²⁾					
					50 – 60 m	0,00 – 0,83 ⁽²⁾					
Liesch-Kol- ben-Schrot 6,2	k.A.	keine	10 – 20 m	9,76 ⁽²⁾	k.A.	+	+	nein	Journal		
			20 – 30 m	0,71 ⁽²⁾							
50 – 60 m	0,13 ⁽²⁾										
VAN DE WIEL et al., 2006 Niederlande F-n-F	PCR (Bt-Gen)	1	1	25 m	g.F.	<0,01 – 0,296	k.A.	k.A.	nein	Bericht vorläu- figer Er- gebnisse (Internet)	
		1	0,25	250 m		0 – 0,040					

Quelle, Land & Versuchsdesign	Nachweis (Merkmal)	Feldgröße (ha)		Isolations- distanz	Position im Rezipi- enten ²⁾	Auskreuzung (%) ³⁾	Wind- rich- tung ⁴⁾	Blüh- syn- chroni- sation ⁵⁾	Ent- fah- nung	Publika- tionstyp
		D	R							
WILHELM et al., 2005; persönliche Mitteilung Deutschland F-i-F, F-n-F	Keimtest (Herbizid- toleranz)	1	> 4	keine (F-i-F)	3 m	8,3; 17,2 ³⁾	+	k.A.	nein	Journal, persön- liche Mitteilung vorläufiger Ergebnisse
					13,5 m	0,7; 1,6 ³⁾				
					25,5 m	0,9				
					49,5 m	0,2; 0,4 ¹⁾				
					100,0 m	0,1				
					0 m	1,05				
					10 m	0,04				
					20 m	0,21				
					40 m	0,10				
					0 m	0,63				
					10 m	0,08				
					20 m	0,11				
					40 m	0,28				
					0 m	0,44				
10 m	0									
20 m	0,31									
0 m	0,36									
10 m	0,20									
0 m	0,20									
10 m	0									

Tabelle 3 Übersicht der publizierten bzw. im Internet verfügbaren Studien zur Auskreuzung von Mais ohne Relevanz für Koexistenz¹⁾

Quelle, Land & Versuchsdesign	Nachweis (Merkmal)	Feldgröße (ha)		Isolationsdistanz	Position im Rezipienten ²⁾	Auskreuzung (%) ³⁾	Windrichtung ⁴⁾	Blüh-syn-chroni-tät ⁵⁾	Ent-fah-nung	Publikati-onstyp
		D	R							
AGES, 2006 Österreich F-n-F (Donoren sind Praxisschläge)	visuell (Kornansatz)	k.A.	0,19 bis 2,48	0 – 404 m ⁷⁾	g.F.	4,5 – 97,5	+/-	+	ja	Projektbericht
	visuell (Kornform)	k.A.	2,25	110 & 150 m	g.F.	2,5 ¹⁶⁾	-	+/-	nein	
		k.A.	1,69	21, 53 & 130 m		2,8 ¹⁶⁾	+	+/-		
		k.A.	1,32	5 m		1,8 ¹⁶⁾	-	+		
		k.A.	2,52	5 & 146 m		5,4 ¹⁶⁾	+	+/-		
		k.A.	0,85	0, 83 & 290 m		5,9 ¹⁶⁾	+/-	+/-		
BAKTASH, 1984 Irak F-n-F	visuell (Kornfarbe)	k.A. ¹⁷⁾	k.A. ¹⁷⁾	0 m 100 m 200 m 300 - 500 m	k.A.	12,00; 99,33 ¹³⁾ 2,33; 26,00 ¹³⁾ 0,67; 9,00 ¹³⁾ 0,00 ¹³⁾	k.A.	k.A.	nein	Journal
BATEMAN, 1947 USA F-a-F	visuell (Kornform)	0,001	2 Reihen	keine	0,6 m 9,2 m 21,4 m 25,6 m	70,1 6,1 1,6 0,0	+	+	nein	Journal
BURRIS, 2001 USA F-n-F	Elektrophorese (Genotyp-Nachweis)	k.A.	0,4 -> 73	51 - 75 m 51 - 75 m 76 - 125 m 76 - 125 m	35 m 200 m	2,79 1,79 1,62 1,11	k.A.	k.A.	ja	Internetbericht
CHILCUTT & TABASHNIK, 2004 USA F-a-F	ELISA (Cty1Ab)	0,006	0,027	keine	0,0 m 14,5 m 22,3 m	~30; 40 ^{12; 18)} ~4; 5 ^{12; 18)} ~0; 2 ^{12; 18)}	k.A.	k.A.	nein	Journal

Quelle, Land & Ver- suchsdesign	Nachweis (Merkmal)	Feldgröße (ha)		Isolationsdistanz	Position im Rezipienten ²	Auskreuzung (%) ³⁾	Wind- rich- tung ⁴⁾	Blüh- syn- chro- nität ⁵⁾	Ent- fah- nung	Publikati- onstyp
		D	R							
DAS, 1983 Indien F-n-F	visuell (Kornansatz)	k.A.	k.A.	50 m 100 m 150 m 200 m 300 m	k.A.	51,00 11,00 1,50 0,02 0,00	k.A.	k.A.	ja	Journal- kurzfas- sung
FELSOT, 2002 USA F-n-F	visuell (Kornfarbe)	~4	k.A.	201 m 275 m	k.A.	0,030 0,001	+	k.A.	ja	Zeitschrift
GARCIA et al., 1998 Mexiko F-n-F	visuell (Kornfarbe)	ein- zelne Reihen	einzelne Reihen	> 184 m	k.A.	< 0,1	k.A.	k.A.	nein	Journal
GOGGI et al., 2007 USA F-i-F	visuell (Kornfarbe) ELISA (Bt-Protein) Keimtest (Herbizidtoler- ranz)	1	36	keine	1 m 10 m 35 m 100 m 150 m 200 m	64,2 12,1 3,3 0,4 0,1 0,06	+	+	ja ¹⁹⁾	Journal
HAEGELE & PETERSON, 2007 USA F-a-F	visuell (Kornfarbe)	4 Rei- hen	k.A.	keine	0,8 m 9,1 m 12,2 m	15,89 0,17 0,06 einzelne Kolben: max. 90,00 max. 8,67 max. 2,00	+	+	nein	Journal
		4 Rei- hen	k.A.	keine	0,8 m 9,9 m 22,1 m		+	+		

Quelle, Land & Versuchsdesign	Nachweis (Merkmal)	Feldgröße (ha)		Isolationsdistanz	Position im Rezipienten ²	Auskreuzung (% ³)	Windrichtung ⁴	Blüh-syn-chroni-tät ⁵	Ent-fah-nung	Publikati-onstyp
		D	R							
HASKELL & DOW, 1951 USA F-a-F	visuell (Kornansatz)	121 Pfl.	88 Pfl.	keine	18 m	10	k.A.	entfällt	ja	Journal
IRELAND et al., 2006 USA, Kanada F-n-F	Stärkegel-Elektrophorese (Isoenzym-Analyse)	4 - 129	6,5 bis 249	< 100 m 100 m > 100 m < 100 m 100 m > 100 m	2 - 36 m 2 - 36 m 2 - 36 m 200 m 200 m 200 m	1,79 ⁹⁾ 1,15 ⁹⁾ 1,05 ⁹⁾ 0,97 ⁹⁾ 1,16 ⁹⁾ 0,64 ⁹⁾	k.A.	+	ja	Journal
LUNA et al., 2001 Mexiko F-n-F	visuell (Korn- und Blattfarbe)	0,4	0,001	100 m 150 m 200 m 300 m	k.A.	1 Korn 1 Korn 1 Korn 0	k.A.	+	nein	Journal
NARAYA-NASWAMY et al., 1997 Indien F-n-F	visuell (Kornfarbe)	0,09	0,015	100 m 200 m 300 m	g.F.	2,80; 2,89 ⁽¹³⁾ 0,48; 0,50 ⁽¹³⁾ 0,14; 0,15 ⁽¹³⁾	+	entfällt	ja	Journal
PATERNIANI & STORT, 1974 Brasilien F-a-F	visuell (Kornfarbe)	1 Pfl.	0,03 bis 0,16	keine	1 m 10 m 20 m	0,000 - 4,110 ^(2; 13) 0,007 - 0,034 ^(2; 13) 0,008 - 0,012 ^(2; 13)	k.A.	k.A.	nein	Journal

Quelle, Land & Ver- suchsdesign	Nachweis (Merkmal)	Feldgröße (ha)		Isolationsdistanz	Position im Rezipienten ²	Auskreuzung (%) ³⁾	Wind- rich- tung ⁴⁾	Blüh- syn- chro- ni- tät ⁵⁾	Ent- fah- nung	Publikati- onstyp
		D	R							
SALAMOV, 1940 Russland F-n-F	visuell (Kornfarbe)	2	10	k.A.	12 m	3,30 ²⁰⁾	k.A.	k.A.	nein	Journal
					50 m	0,33 ²⁰⁾				
					100 - 200 m	0,25 - 0,54 ²⁰⁾				
					400 m	0,02 ²⁰⁾				
					500 m	0,08 ²⁰⁾				
600 m	0,79 ²⁰⁾									
700 m	0,18 ²⁰⁾									
800 m	0,21 ²⁰⁾									
STEVENS, 2004 USA F-n-F	PCR (Bt-Gen, Herbi- zidtoleranz)	4	4 Reihen	200 m 300 m	g.F.	0,005 - 0,030 ²¹⁾	+	+	ja	Journal
						0,003 - 0,023 ²¹⁾				
WATANABE et al., 2006a&b Japan F-a-F	visuell (Kornfarbe)	0,01	0,14	keine (Donor unter Gaze, 1 mm Maschenweite)	0,0 m	32,8	k.A.	+	nein	Journal
					6,3 m	1,0				
					9,2 m	1,0				
		0,01	0,14	keine	11,9 m	1,0				

Abkürzungen in den Tabellen 1 bis 3:

F-n-F: Feld-neben-Feld, **F-a-F:** Feld-an-Feld, **F-i-F:** Feld-in-Feld, **D:** Donor-Mais, **R:** Rezipienten-Mais, **g.F.:** Auskreuzungsrate für gesamtes Rezipienten-Feld, **MSR:** Mantelsaatreihen an GV-Feldkante, **k.A.:** keine Angaben.

Fußnoten in den Tabellen 1 bis 3:

- ¹⁾ Hinweise: Teilweise wird nur eine repräsentative Auswahl der Versuchsergebnisse wiedergegeben; wenn möglich und sinnvoll wurden die Daten zusammengefasst (Wiederholungen, Standorte etc.); enthält eine Spalte nur eine Angabe, gilt diese für die gesamte Spalte.
- ²⁾ Abstand von Donor zugewandter Feldkante des Rezipienten, bei Test mehrerer Feldtiefen Darstellung ausgewählter Tiefen (0, 10, 25, 50, 100, 150, 200, 300 m).
- ³⁾ Bei Test mehrerer Himmelsrichtungen (z. B. Feld-in-Feld-Design) Darstellung der Himmelsrichtung mit höchster Auskreuzungsrate.
- ⁴⁾ Windrichtung während der Blühphase des Donors und des Rezipienten: +: Wind weht von Donor in Richtung Rezipient, -: Wind weht nicht in Richtung Rezipient oder Wind weht parallel zur Feldkante des Rezipienten.
- ⁵⁾ Blühsynchronität (Gleichzeitigkeit von Pollenschüttung im Donor und weiblicher Blüte im Rezipienten): +: gegeben, -: nicht gegeben.
- ⁶⁾ Alle Auskreuzungsraten von Autoren der Studie halbiert.
- ⁷⁾ Rezipientenfelder sind z. T. von mehreren gv-Praxisschlägen umgeben (vgl. Angabe Isolationsdistanz).
- ⁸⁾ Mittlere Größe der Donor-Schläge.
- ⁹⁾ Mittelwert über alle Versuchsjahre und Versuchsfelder.
- ¹⁰⁾ Die Rezipientenfeldgröße betrug insgesamt 2,1 ha; eine Feldhälfte (1,1 ha) grenzte unmittelbar an den Donor (F-a-F), der Abstand zwischen der anderen Feldhälfte (1 ha) und dem Donor betrug 10 m (F-n-F).
- ¹¹⁾ Die Gesamtgröße des Rezipienten betrug ca. 10 ha; es wurde der gv-Gehalt einzelner 2 ha-Teilflächen berechnet (F-i-F).
- ¹²⁾ Zwei durch Semikolon getrennte Werte: Werte für zwei Versuchsstandorte; zwei durch Bindestrich getrennte Werte: Wertebereich für > 2 Versuchsstandorte.
- ¹³⁾ Zwei durch Semikolon getrennte Werte: Werte für zwei Versuchsjahre; zwei durch Bindestrich getrennte Werte: Wertebereich für > 2 Versuchsjahre.
- ¹⁴⁾ Alle Auskreuzungsraten von Autoren der Studie verdoppelt.
- ¹⁵⁾ 0,16 % GV-Anteil im konventionellen Saatgut im Jahr 2000.
- ¹⁶⁾ Rezipienten-Saatgut zu 1,5 % mit Donor verunreinigt.
- ¹⁷⁾ Angaben zu Feldgrößen ungenau: Donor 40 Reihen, keine weiteren Angaben; Rezipientenplots 10 Reihen, keine weiteren Angaben.
- ¹⁸⁾ Daten aus Grafik abgelesen, daher Angabe ungefährender Werte.
- ¹⁹⁾ Entfärbung des Rezipienten zu 75 %.
- ²⁰⁾ Anmerkung des Autors der Studie: Xenienbildung (d.h. die Ausbildung von gelben Körnern) wurde im Rahmen von Feldprüfungen auch in der verwendeten weißkörnigen Rezipientensorte beobachtet.
- ²¹⁾ Auskreuzung der zu 87,5 % entfärbten Donor-Linie „7054“.