
Fachtagung am 21. November 2005

Monitoring der Umweltwirkungen von gentechnisch veränderten Organismen

Abschlussseminar zu den bayerischen Projekten



Bayerisches Landesamt
für Umwelt

Augsburg, 2005 – ISBN 3-936385-82-3

Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umwelt
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160, 86179 Augsburg
Tel.: (0821) 90 71 - 0
Fax: (0821) 90 71 - 55 56
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: <http://www.bayern.de/lfu>

Zitiervorschlag:

Bayer. Landesamt für Umwelt (Veranst.):

Monitoring der Umweltwirkungen von gentechnisch veränderten Organismen – Abschlussseminar zu den bayerischen Projekten (Augsburg 21.11.2005), Augsburg, 2005

Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) gehört zum Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV).

© Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg, 2005

Gedruckt auf Recyclingpapier

Inhaltsverzeichnis

Einführung	2
Dr. Dieter Heublein, Bayer. Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV)	
Entwicklung einer fallspezifischen und allgemeinen Beobachtung ökologischer Folgen bei Anbau von gentechnisch verändertem Raps	6
Dr. Ludwig Peichl, LfU	
Persistenz und Ausbreitung von transgenem Raps unter praxisnahen Bedingungen	11
Tristan Funk, Technische Universität München, Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung	
Untersuchungen zur Ausbreitung von Raps- und Maispollen auf Landschaftsebene für ein Langzeitmonitoring gentechnisch veränderter Pflanzen (GVP)	13
Martin Kuhlmann, Technische Universität München, Lehrstuhl für Vegetationsökologie, Freising-Weihenstephan	
Persistenz von transgenen Rapssamen in Ackerböden	20
Dr. Harald Albrecht, Technische Universität München, Lehrstuhl für Vegetationsökologie, Freising-Weihenstephan	
Effekte von Bt-Mais auf Nichtzielorganismen	27
Dr. Andreas Lang, Bayer. Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising	
Sicherheitsforschung bei transgenen Reben: Physiologischer Nachweis und Verbleib der Transgene	29
Dr. Angelika Schartl, Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Würzburg, Universität für Bodenkultur, Wien	
Untersuchungen zu Pollenflug und Auskreuzung mit gentechnisch veränderten Weinreben	30
Dr. Margit Harst, BAZ-Institut für Rebenzüchtung	
Tagungsleitung / Referenten	31

Einführung

Dr. Dieter Heublein, Bayer. Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV)

Der Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen (GVP) ist weltweit betrachtet eine Realität mit nach wie vor beachtlichen Wachstumsraten. So stieg der Anbau von GVP im letzten Jahr auf rund 81 Mio. Hektar, das ist mehr als die doppelte Fläche Deutschlands; in diesem Jahr ist mit einem weiteren Anstieg zu rechnen. 85 % des Sojaanbaus in den USA erfolgt mit gentechnisch veränderten Sorten, in Argentinien sind es sogar 98 %. Bei der Baumwolle sind es in den USA 76 %, in China 66 %, beim Raps in den USA 76 %, in Kanada 74 %, und auch beim Mais ist in den USA rund die Hälfte inzwischen gentechnisch verändert. Weltweit nutzen derzeit 17 Länder transgene Sorten, in sechs Ländern werden mehr als 1 Mio. Hektar damit bebaut. Die Grüne Gentechnik beschränkt sich dabei nicht auf die hoch entwickelten Industrienationen; auffällig ist vielmehr das rasante Wachstum gerade in Schwellenländern wie China, Indien, Paraguay oder Süd-Afrika. Experten rechnen mit einer Verdoppelung der weltweiten Anbaufläche bis zum Jahr 2015. Diese nun schon seit vielen Jahren anhaltende Entwicklung ist ohne offensichtliche Vorteile gentechnisch veränderter Pflanzen nicht zu erklären.

Der Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen kann inzwischen auf die wissenschaftlichen Erfahrungen von mehr als 15 Jahren zurückblicken. Schädigungen der menschlichen Gesundheit oder der Umwelt sind bisher nicht bekannt geworden. Obwohl die Europäische Union auf diesem Gebiet über die weltweit schärfsten Sicherheitsanforderungen verfügt, ist hier jedoch die landwirtschaftliche Nutzung der Grünen Gentechnik in den Anfängen stecken geblieben: Auf lediglich etwa 50.000 Hektar Ackerfläche wurden in diesem Jahr EU-weit transgene Pflanzen angebaut, der größte Teil davon in Spanien, in Deutschland nur einige Hundert Hektar.

Die Vorteile der Gen- und Biotechnologie für eine nachhaltige Entwicklung wurden schon im Jahr 1992 auf der UN-Konferenz von Rio de Janeiro erkannt. Auch die Welternährungsorganisation (FAO) weist immer wieder darauf hin, dass die Sicherung der Nahrungsgrundlagen einer weiter wachsenden Weltbevölkerung ohne die Grüne Gentechnik nicht zu leisten ist. Erst jüngst hat die Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften betont, dass der Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen gegenüber der konventionellen Landwirtschaft zur Ressourcen- und Umweltschonung beiträgt. Sie forderte die Politik auf, das Know-how zur Grünen Gentechnik als Motor zukünftiger Innovationen langfristig zu sichern.

Die Bayerische Staatsregierung hat von Anfang an die Innovationspotenziale der Gen- und Biotechnologie erkannt und sich stets für eine verantwortungsbewusste Nutzung dieser neuen Schlüsseltechnologie eingesetzt. Vor zwei Jahren wurden auf dem Gebiet der Grünen Gentechnik folgende politische Eckpunkte beschlossen:

- Beim Umgang mit der Grünen Gentechnik hat die Sicherheit von Mensch, Tier und Umwelt oberste Priorität. Die Risiken der Grünen Gentechnik müssen gegen die Risiken anderer Formen der Landbewirtschaftung und der Lebensmittelerzeugung abgewogen werden.
- Politische und rechtliche Entscheidungen müssen sich am Stand der Wissenschaft und den in der Praxis gewonnenen Erfahrungen orientieren.

- Landwirte und Verbraucher müssen die Wahlfreiheit haben zu entscheiden, ob sie gentechnisch veränderte Produkte haben wollen oder nicht.
- Die Koexistenz der verschiedenen landwirtschaftlichen Anbauformen mit und ohne Gentechnik muss gewährleistet sein.
- In der Rechtsetzung sind Rahmenbedingungen zu schaffen, die es Bayern, Deutschland und der EU ermöglichen, den Anschluss an die Weltspitze auf dem Gebiet der Grünen Gentechnik zu gewinnen.
- Die mittelständischen Pflanzenzüchtungsunternehmen in Bayern werden vom Freistaat aktiv unterstützt, um zu verhindern, dass wenige multinationale Konzerne den Markt für GVP unter sich aufteilen.
- Die weit verbreiteten Vorbehalte und Ängste in der Bevölkerung werden ernst genommen. Die Öffentlichkeitsarbeit zur Aufklärung über die Chancen und Risiken der Grünen Gentechnik ist deshalb weiter zu intensivieren.
- Wohlstand und Arbeit können nur gesichert werden, wenn Deutschland als rohstoffarmes Land ein führender Wissenschafts- und Technologiestandort bleibt. Daher sind insbesondere auch die Anstrengungen in der Grünen Gentechnik zu verstärken, um im Wettbewerb um Innovationen und Spitzenforschung bestehen zu können.

Neben dieser Politik einer gezielten Förderung der Gentechnologie wurde stets auch den Sicherheitsfragen große Aufmerksamkeit geschenkt. So hat der Freistaat Bayern als bundesweit erstes Land schon im Jahr 1982 ein gentechnisches Überwachungslabor am damaligen Landesamt für Umweltschutz eingerichtet. Im Rahmen der Verwaltungsreform wurde es jetzt mit den Einrichtungen zur Lebensmittelüberwachung am Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit zusammengelegt. Neben der behördlichen Überwachung wurden Schwerpunkte in der Sicherheitsforschung gesetzt: Hier sind die Forschungsverbände FORBIOSICH und FORGEN ebenso zu nennen wie die vor allem vom Umweltministerium finanzierte Ressortforschung, für die mehrere Millionen Euro ausgegeben wurden. Seit dem letzten Jahr beteiligt sich die Staatsregierung mit ihren Versuchsgütern auch an dem in mehreren Bundesländern laufenden Erprobungsanbau von gentechnisch verändertem Mais: Dabei sollen in der landwirtschaftlichen Praxis Erfahrungen gesammelt werden, unter welchen Voraussetzungen die Koexistenz der verschiedenen Anbauformen mit und ohne Gentechnik gewährleistet werden kann.

Ein Schwerpunkt der High-Tech-Offensive Bayern war es, Methoden zu entwickeln und Erfahrungen zu sammeln, um mögliche langfristige Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen zu erfassen. Mit insgesamt 2,3 Mio. Euro wurden über einen Zeitraum von mehr als vier Jahren verschiedene Forschungsvorhaben finanziert, über deren Ergebnisse heute zusammenfassend berichtet wird. Bayern hat damit einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung der diesbezüglichen Anforderungen der EU-Freisetzungsrichtlinie geleistet. Eingebettet waren diese Aktivitäten in eine bundesweite Abstimmung unter der Federführung zunächst des Umweltbundesamtes, später dann des Bundesamts für Naturschutz.

Die neue Freisetzungsrichtlinie fordert u. a. die Aufstellung eines Überwachungsplans im Zusammenhang mit der Anmeldung einer Freisetzung oder des Inverkehrbringens eines Produktes, das GVO enthält oder aus solchen besteht. Ziel des Überwachungsplans ist einerseits die Bestätigung von Annahmen über mögliche Auswirkungen des GVO, andererseits der Nachweis von schädlichen Wirkungen, die in der Sicherheitsbewertung im Rahmen des Genehmigungsverfahrens nicht vorhergesehen wurden.

Der Überwachungsplan sollte

- auf jeden Einzelfall zugeschnitten sein,
- den Merkmalen des GVO und seiner Verwendung sowie den Umweltbedingungen, in die der GVO gelangt, Rechnung tragen,
- eine fallspezifische und eine allgemeine, überwachende Beobachtung vorsehen und
- festlegen, wer für die Aufstellung und Durchführung des Überwachungsplans verantwortlich ist und wie mit den Ergebnissen der Überwachung zu verfahren ist.

Die fallspezifische Überwachung soll über einen ausreichend langen Zeitraum hinweg erfolgen, damit sofortige und spätere, direkte und indirekte Auswirkungen, für die sich bereits bei der Sicherheitsbewertung im Rahmen des Genehmigungsverfahrens Hinweise ergeben haben, erfasst werden können. Die überwachende Beobachtung soll die Erfassung von Effekten ermöglichen, die u. U. erst langfristig sichtbar werden und nicht bereits beim Anmeldeverfahren auf Grund wissenschaftlicher Daten abgeleitet werden konnten. Dabei soll von bereits etablierten Überwachungsprogrammen, beispielsweise im Rahmen des landwirtschaftlichen Versuchsanbaus, Gebrauch gemacht werden. Letztlich sollen die zuständige Behörde und der Genehmigungsinhaber in die Lage versetzt werden, ggf. die zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt notwendigen Maßnahmen zu ergreifen.

Die Grüne Gentechnik ist weltweit eine Realität, die auch in Deutschland Fuß fassen wird. Bei der neuen Bundesregierung zeichnet sich ein pragmatischer Kurs ab, der die Bedeutung dieser innovativen Schlüsseltechnologie ebenso anerkennt wie die Berechtigung des Gedankens der Gefahrenvorsorge. Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass der Grünen Gentechnik Chancengleichheit gegenüber anderen Formen der Landbewirtschaftung eingeräumt und die weitere Entwicklung letztlich den Kräften des Marktes überlassen wird.

Als vordringliche Aufgabe kommt auf die neue Bundesregierung die Novellierung des Gentechnikrechts zu. Leider ist die Freisetzungsrichtlinie aus dem Jahr 2001 noch immer nicht vollständig in nationales Recht umgesetzt. In Kraft getreten sind bisher nur jene, die Koexistenz betreffenden Teile des Gesetzes, die nicht der Zustimmung des Bundesrates bedurften. Die zustimmungspflichtigen Regelungen konnten im Vermittlungsausschuss nicht mehr abschließend behandelt werden und unterfielen wegen der vorgezogenen Neuwahlen der Diskontinuität. Eine Arbeitsgruppe der Länder Bayern, Baden-Württemberg und Sachsen-Anhalt hat jedoch bereits einen Vorschlag zur Neufassung des Gentechnikgesetzes erarbeitet, der hoffentlich bald in die parlamentarischen Beratungen eingehen kann. Die wichtigsten Änderungsvorschläge sind:

- Bei den Haftungsregelungen soll stärker als bisher auf die diesbezüglichen Regelungen im BGB zurückgegriffen werden. Ansonsten gilt das Verursacherprinzip. Für Fälle, wo es trotz Einhaltung der Grundsätze der guten fachlichen Praxis zu Ausgleichsforderungen kommt, soll ein auf zunächst fünf Jahre befristeter Fonds geschaffen werden, der von den GVP anbauenden Landwirten zu finanzieren ist. Die Anschubfinanzierung soll die Bundesregierung übernehmen. Längerfristig wird eine Versicherungslösung angestrebt.
- Die Anforderungen an die gute fachliche Praxis beim Umgang mit GVO werden praxisgerecht ausgestaltet. Anstelle einer relativ unflexiblen Verordnung sollen die beim Umgang mit GVO zu beachtenden Grundsätze etwa in Form technischer Regeln festgelegt und im Bundesanzeiger veröffentlicht werden.
- Transgene Gehalte in herkömmlichen Ernteprodukten, die auf eine in der Nachbarschaft durchgeführte, genehmigte Freisetzung zurückzuführen sind, bedingen für das Erntegut keine Inverkehrbringensgenehmigung.

- Die in § 34a BNatSchG verankerte gesonderte Prüfpflicht beim Anbau von transgenen Pflanzen in Schutzgebieten soll aufgehoben werden, da es sich dabei um eine unzulässige Mischverwaltung handelt.

Wegen des bereits laufenden Vertragsverletzungsverfahrens ist zu hoffen, dass diese Änderungen möglichst bald in Kraft treten. Damit wäre dann auch Rechtssicherheit für die Anwender der Grünen Gentechnik gegeben.

Auch auf EU-Ebene gibt es Ansätze zu einer pragmatischeren Haltung gegenüber der Grünen Gentechnik. So wird der Rat der Umweltminister auf seiner Sitzung am 2. Dezember 2005 einen dänischen Antrag behandeln. Darin wird die EU aufgefordert, sich aktiv auf diesem Gebiet zu engagieren und den Nutzen gentechnisch veränderter Organismen für die Gesellschaft, einschließlich der Entwicklungsländer, herauszustellen. Dänemark stellt nüchtern fest: „GMOs are here to stay.“ Es bestehe die Chance, mit der modernen Biotechnologie das Wirtschaftswachstum von nachteiligen Umweltwirkungen abzukoppeln, die landwirtschaftliche Produktivität in der Dritten Welt zu steigern, die Ernährung und die Lebensmittelsicherheit zu verbessern sowie die nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen zu fördern. Die EU-Kommission wird aufgefordert, eine Strategie für einen europäischen Ansatz zum Umgang mit gentechnisch veränderten Organismen zum breiten Nutzen der Öffentlichkeit zu entwickeln.

Damit ist vor dem Hintergrund eines zunehmenden Anbaus gentechnisch veränderter Pflanzen der langfristigen Erfassung möglicher Umweltwirkungen in Form von Monitoringprogrammen wachsende Bedeutung beizumessen. Bayern hat hierzu einen nicht unerheblichen Beitrag geleistet. Die Ergebnisse der nun abgeschlossenen Forschungsvorhaben werden im Anschluss vorgestellt. Es ist zu hoffen, dass diese Veranstaltung dazu beiträgt, das „rechte Maß“ beim Umgang mit gentechnisch veränderten Pflanzen zu finden. So werden von den heutigen Beiträgen nicht nur all jene Stellen in der Industrie und der Verwaltung profitieren, die mit der Aufstellung von Überwachungsplänen zu tun haben, sondern auch die Forschung wird neue Anregungen für die Bearbeitung noch offener Fragen gewinnen. Allen Anwesenden sei insofern ein gewinnbringender Verlauf der Veranstaltung gewünscht!

Entwicklung einer fallspezifischen und allgemeinen Beobachtung ökologischer Folgen bei Anbau von gentechnisch verändertem Raps

Dr. Ludwig Peichl, Dr. Anne Theenhaus, Dr. Reinhard Zeitler, Helmut-Julius Botsch, LfU

In zwei Projekten wurden Monitoringmethoden zur Ermittlung möglicher Wirkungen von gentechnisch verändertem herbizidtoleranten Raps (HR-Raps) auf die Zusammensetzung der einheimischen Flora erarbeitet.

Als mögliche primäre Wirkung wurden in beiden Projekten mögliche Diversitätsveränderungen der wild wachsenden Kreuzblütler vorkommen (*Brassicaceae*) angenommen, bedingt durch Veränderungen ihrer ökologischen Eigenschaften durch Kreuzung mit HR-Raps.

In **Projekt 1** „*Monitoring möglicher Auswirkungen von gentechnisch verändertem herbizidtoleranten Raps auf die einheimische Flora*“ sollten primär die Grundlagen geschaffen werden, in einem ausgedehnten Gebiet von mehr als 5.000 ha möglichst flächendeckend die *Brassicaceen*-Vorkommen auffinden, ansprechen und mit einem Geoinformationssystem deren genaue Lage und Ausdehnung erfassen zu können.

In **Projekt 2** „*Entwicklung eines Konzepts für die Untersuchung des Einflusses von GVP auf die Zusammensetzung der Pflanzengemeinschaft in naturnahen Lebensräumen*“ wurde der Untersuchungsschwerpunkt auf die mögliche Veränderung der Diversität der Farn- und Blütenpflanzen als Folgewirkung einer Einkreuzung von Fremdgenen in wild wachsende *Brassicaceen* gelegt.

Als Untersuchungsgebiet wurde ein Areal der Größe 5.700 ha ausgewählt, das sich in Niederbayern, zwischen Neustadt an der Donau und Kelheim, befindet. Das Untersuchungsgebiet ist vielfältig strukturiert. Intensiv bewirtschaftete Äcker liegen in unmittelbarer Nähe zu geschützten Biotopen, wie Trockenrasen und Flussauen. Es konnte davon ausgegangen werden, dass sich keine Fremdgene aus HR-Raps im Untersuchungsgebiet befanden, denn in der Nähe oder innerhalb des Gebietes gab es weder aktuelle noch ehemalige Freisetzungsfelder von gentechnisch veränderten Pflanzen. Um die Kartierungen und deren Auswertung besser strukturieren zu können, wurde das Untersuchungsgebiet in 57 Rasterfelder der Größe von je 1 km² aufgeteilt.

Die gewonnenen Daten sollen den Ist-Zustand (baseline) des Untersuchungsgebiets vor Inverkehrbringen von HR-Raps beschreiben. Zur Absicherung, dass keine Fremdgene aus HR-Raps im Untersuchungsgebiet vorhanden sind, wurde von Imkern, die innerhalb des Untersuchungsgebiets Bienenstände unterhielten, jährlich (Jahre 2000 – 2003) Rapshonig gekauft. Aus dem Honig wurde der Rapspollen extrahiert und molekulargenetisch hinsichtlich des Gehalts an Fremdgenen aus HR-Raps analysiert.

Projekt 1 „*Monitoring möglicher Auswirkungen von gentechnisch verändertem herbizidtoleranten Raps auf die einheimische Flora*“

Ausgangspunkt für das Erkennen von Veränderungen ist die Erhebung des Ist-Zustands (baseline) von Vorkommen und Verbreitung der Kreuzblütler vor einem möglichen Inverkehrbringen von gentechnisch verändertem Raps. Dafür müssen die räumliche Verteilung und die Größe der

Vorkommen aller im Gebiet auftretenden Kreuzblütlerarten und die zeitliche Variationsbreite dieser Parameter bekannt sein. Wenn dieser Ist-Zustand dokumentiert wurde, können Veränderungen erkannt und bewertet werden.

Es wurde ein Konzept erarbeitet, mit dem das Vorkommen und die Verbreitung von Raps und seinen möglichen Kreuzungspartnern innerhalb des Untersuchungsgebiets flächendeckend dokumentiert werden kann. In den Jahren 2000 bis 2003 wurden mit Hilfe des Konzepts insgesamt sechs Gesamtkartierungen des Untersuchungsgebiets durchgeführt, vier im Frühjahr (Jahre 2000 bis 2003) und zwei im Sommer (Jahr 2001 und 2003). Die Parameter, die im Rahmen der Kartierungen erhoben wurden, sind im Verlauf der Fortentwicklung des Projekts stetig verbessert worden. Im Jahr 2002 und 2003 wurden pro Rasterfeld für jede Kreuzblütlerart erhoben:

- die Anzahl der Vorkommen pro Rasterfeld,
- die Lage und die Grenzen jedes Vorkommens und
- die Zahl der Individuen pro Vorkommen. Dafür wurde eine logarithmische Skala verwendet (1, >1 bis ≤10, >10 bis ≤100, >100 bis ≤1000, >1.000 bis ≤10.000, >10.000 Individuen).

Vorkommen von Kulturarten wurden unterteilt in die Kategorien „Anbau“ und „spontan auftretend“. Die Ergebnisse der Kartierungen wurden mit dem Programm ArcView 2002 (Version 8.2) ausgewertet.

Ein Ziel des Vergleichs zweier Kartierungsergebnisse eines selben Jahres (Frühjahrs- und Sommerkartierung) war, herauszufinden, welcher Anteil der Vorkommen, die im Frühjahr auftraten, im Sommer desselben Jahres wieder gefunden werden. Anhand der Ergebnisse konnte beurteilt werden, wie viele zusätzliche Informationen eine Sommerkartierung zur Frühjahrskartierung liefert.

Mit dem Vergleich der Kartierungsergebnisse zweier unterschiedlicher Jahre (z. B. Frühjahr 2001 und 2002 oder Sommer 2002 und 2003) sollte die Stetigkeit des Auftretens von Vorkommen ermittelt werden. Es wurde jeweils der Turnover pro Art berechnet, dieser beschreibt den Anteil der Vorkommen, der sich pro Zeiteinheit verändert hat.

Ein wesentlicher Baustein des Monitorings ist der molekularbiologische Nachweis, ob Fremdgene nach dem Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen in Nichtzielbiotope eingewandert sind. Zunächst wurde anhand von "Artproben" die Labormethodik dafür entwickelt. Ziel war es, alle 59 im Untersuchungsgebiet vorhandenen Kreuzblütlerarten hinsichtlich des Gehalts an Fremdgenen aus HR-Raps analysieren zu können.

Weiterhin wurde ein Konzept entwickelt, mit dem flächendeckend und mit vertretbarem Aufwand „Routineproben“ für die Analyse aus dem Untersuchungsgebiet entnommen werden können. Von den 59 im Untersuchungsgebiet auftretenden Kreuzblütlerarten wurden, neben Raps, die Arten (acht) zur jährlichen Beprobung ausgewählt, bei denen eine Hybridisierung mit Raps möglich erscheint. Alle diese Pflanzenarten stehen auf der OECD-Liste der möglichen Kreuzungspartner für Raps (OECD 1997). Es wurden jeweils im Frühjahr 2002 und Frühjahr und Sommer 2003 „Routineproben“ entnommen wurden. Mit dem Probenahmeschema konnte jährlich weit über die Hälfte der vorhandenen Vorkommen der neun ausgewählten Kreuzblütlerarten beprobt werden.

Die PCR-Analysen wurden für drei verschiedene Herbizidresistenzgene durchgeführt, das bar-, das pat- und das eps-Gen. Mit der Analyse dieser drei Gene können alle acht transgenen Rapslinien nachgewiesen werden, für die bisher ein Antrag auf Inverkehrbringen in der EU gestellt wurde bzw. der Anbau außerhalb Europas in größerem Umfang bekannt ist. Für die drei Gene wurde

jeweils eine „TaqMan-PCR“ entwickelt. In keiner der „Art-„ und „Routineproben“ waren gentechnische Veränderungen aus HR-Raps (eps-, pat-, oder bar-Gen) enthalten. Auch in den Honigproben aus dem Untersuchungsgebiet Kelheim wurde kein transgener Rapspollen nachgewiesen. In Rapshonig aus Kanada wurde als Positivkontrolle Pollen nachgewiesen, der das eps- bzw. pat-Gen enthielt.

Die Kartierungsergebnisse zeigten, dass die Populationsdynamik der meisten Kreuzblütlerarten zwischen den Jahren 2001 und 2003 groß war. Da sehr viele Kreuzblütlerarten im Sommer andere Vorkommen entwickelten als im Frühjahr und viele Arten ihren Verbreitungsschwerpunkt im Sommer hatten, ist eine Sommerkartierung zusätzlich zur Frühjahrskartierung von HR-Raps notwendig.

Der Turnover vieler Kreuzblütlerarten war sehr hoch. Beim Vergleich der Frühjahrskartierungen unterschiedlicher Jahre betrug bei der Hälfte (52 %) der Arten der Turnover „1“, d. h. von diesen gab es kein einziges gemeinsames Vorkommen in den verglichenen Jahren. Beim Vergleich der Sommerkartierungen war der Anteil der Arten mit einem Turnover von „1“ mit 83 % noch höher. Einige Arten hatten je nach Jahresvergleich sowohl hohe wie auch geringere Turnover: *Sisymbrium austriacum* (0,8-0,8-0-1), *Cardaria draba* (0-0-0-1), *Cardaminopsis arenosa* (0,9-0,5-0,7-0,4). Von spontan auftretenden Rapsvorkommen wurden in Folgejahren weniger als 10 % wiedergefunden. Diese hohen Variationsbreiten müssen berücksichtigt werden, wenn im Rahmen eines Langzeitmonitorings beurteilt werden soll, ob ungewöhnliche Veränderungen im Auftreten von Kreuzblütler-vorkommen stattgefunden haben. Ein hoher Turnover kann allerdings auch methodische Ursachen haben, denn durch eine Ungenauigkeiten zwischen Kartierung und Digitalisierung wird der Turnover oftmals höher angegeben, als er tatsächlich ist. Dieser Fehler könnte durch die Verwendung eines geeigneten global-positioning system (GPS) verringert werden.

Die in der vorliegenden Untersuchung gewonnenen Daten bilden einen ersten Ansatz zur Beschreibung des Ist-Zustands des Untersuchungsgebiets vor einem Inverkehrbringen von HR-Raps. Die Datenbasis ist für eine aussagekräftige baseline-Erhebung noch unzureichend, da Daten von nur drei Jahren vorliegen und dieser Zeitraum nicht ausreicht, um die Variationsbreite im Auftreten von Kreuzblütler-vorkommen darzustellen.

Projekt 2 „Entwicklung eines Konzepts für die Untersuchung des Einflusses von GVP auf die Zusammensetzung der Pflanzengemeinschaft in naturnahen Lebensräumen“

In Projekt 2 wurden Methoden für eine allgemeine Beobachtung in naturnahen Biotopen entwickelt, die es ermöglichen sollen, Diversitätsveränderungen der Farn- und Blütenpflanzen zu erkennen und nicht-GVO-bedingte Faktoren, die ebenfalls solche Veränderungen bewirken könnten, für eine spätere Kausalitätsprüfung zu beschreiben.

Innerhalb des Untersuchungsgebietes von Projekt 1 wurden zwei Auwiesen und zwei Halbtrockenrasen ausgewählt. Zur Beschreibung des Ist-Zustands der Biotope sollte die Schwankungsbreite ausgewählter Parameter im Zeitverlauf dokumentiert werden (baseline-Erhebung). Die erhobenen Daten dienen als Grundlage, um im Rahmen eines Langzeitmonitorings Veränderungen im jeweiligen Ökosystem zu erkennen, die über die normale Schwankungsbreite hinaus gehen. Das entwickelte Monitoring ist offen für „unerwartete“ Veränderungen, und je nach Veränderung können flexibel Hypothesen erarbeitet werden, die dann in weiteren Versuchen im Freiland oder Labor getestet werden müssen.

Insgesamt wurden 10 Dauerbeobachtungspartzen (je 2 x 2 m) auf den Auwiesen angelegt, fünf davon jeweils innerhalb eines von einem Landwirt genutzten Abschnitts. Weiterhin wurden je fünf Dauerbeobachtungspartzen auf zwei Halbtrockenrasen („Höllenberg“ und „Halmsburg“) einge-messen. Die Dauerbeobachtungspartzen wurden im Jahr 2001 und 2003 im Frühjahr und Som-mer hinsichtlich Farn- und Blütenpflanzen pflanzensoziologisch erfasst. Als nicht-GVO-bedingte Faktoren wurden Bodenparameter erhoben und die klimatischen Bedingungen beschrieben. Die Bodenprobenahmen fanden im Juli 2001 und August 2003 statt. Es wurde ein Probenahmeschema ausgearbeitet, mit dem die Bodendaten der Untersuchungsflächen repräsentativ erfasst werden können, ohne die Flächen zu zerstören. Analysiert wurden:

- pH-Wert (CaCl_2),
- effektive Kationenaustauschkapazität (Perkolation mit Bariumacetat-Lösung),
- die Elemente in der Austauschlösung: Kalzium, Magnesium, Aluminium, Kalium,
- Nitrat- und Ammonium-Stickstoff, Sulfat-Schwefel (jeweils ionenchromatographisch),
- pflanzenverfügbares Phosphat (CAL-Methode),
- gesamt-Kohlenstoff,
- gesamt-Stickstoff,
- Kalzium-Karbonat, jeweils nach ISO 10694,
- Mangan, Bor, Kupfer, Zink, jeweils Ammoniumnitrat-Extrakt.

Die Pflanzen- und Bodendaten wurden mit der Kanonischen Korrespondenzanalyse (CCA) mitein-ander in Beziehung gebracht. Nach Durchführung der CCA wurden Ordinationsdiagramme erstellt. Diese verbildlichen die Beziehungen der erhobenen Daten und der dazugehörigen Aufnahme-flächen zueinander. Durch die bildliche Darstellung in Form von Ordinationsdiagrammen können Strukturen und Veränderungen erkannt werden. Zudem wurde die Diversität nach dem Shannon-Wiener-Index (Hs) und die Evenness (E) des Pflanzenbestands berechnet.

Bei den **Auwiesen** war die Schwankungsbreite der Zusammensetzung des Pflanzenbestands groß. Am größten war die Schwankungsbreite von *Alopecurus pratensis*, während diese Art im Frühjahr 2001 nicht auftrat, hatte sie im Frühjahr 2003 eine durchschnittliche Deckung von 44 %. Der Shannon-Wiener-Index schwankte stark zwischen den einzelnen Kartierungen, er lag zwischen 1,22 und 1,75. Zwischen den Kartierungen des Jahres 2001 und 2003 nahm auf den Partzen von Landwirt 2 der Diversitätsindex sowohl im Frühjahr (von 1,22 nach 1,75) als auch im Sommer (von 1,29 nach 1,54) zu. In den Partzen von Landwirt 1 war dies nicht der Fall (Frühjahr 1,40 und 1,38, Sommer 1,45 und 1,56).

Ein starker Zusammenhang bestand in den Auwiesen zwischen der Artenzusammensetzung der Partzen und der relativen Höhe der Fläche, außerdem mit dem Gehalt an Sulfat, Mangan, Was-sergehalt und pH-Wert der Bodenschicht 0 – 10 cm. Wurden die Analysenergebnisse der Boden-schicht 10 – 30 cm als Datengrundlage verwendet, so bestand ein starker Zusammenhang zwi-schen der Artenzusammensetzung der Partzen und dem Gehalt an Sulfat, Mangan, Magnesium und Gesamt-Stickstoff.

Auf dem **Halbtrockenrasen** Höllenberg traten 10 Arten und auf dem Halbtrockenrasen Halms-burg sieben Arten auf, die in der Roten Liste Deutschland stehen. Zwischen dem Jahr 2001 und 2003 waren keine Veränderungen bezüglich der Anzahl und Deckung der Rote Liste-Arten von Deutschland auf den Halbtrockenrasen zu erkennen.

Der Shannon-Wiener-Index lag über die gesamte Untersuchungszeit auf beiden Halbtrockenrasen zwischen 2,23 und 2,58. Dieser relativ hohe Wert ist typisch für Halbtrockenrasen.

Ein starker Zusammenhang bestand bei den Halbtrockenrasen 2001 (Frühjahr und Sommer) zwischen der Artenzusammensetzung und den Boden-Parametern (nur Mischprobe aus 0 – 10 cm Tiefe) pH-Wert, Gehalt an Kalzium, Magnesium, Nitrat, Sulfat und Mangan, dem Wassergehalt und der Schichtdicke des A-Horizontes. Im Jahr 2003 (Frühjahrs und Sommer) bestand ein starker Zusammenhang zwischen der Artenzusammensetzung und, abgesehen vom Kalzium- und Nitratgehalt, den gleichen Boden-Parametern. Die Ordinationsdiagramme der Pflanzenarten und der Umweltvariablen zeigten eine Trennung zwischen dem Standort Höllenberg und dem Standort Halmsburg. Wichtige Ursachen dafür waren, dass auf dem Höllenberg insgesamt der pH-Wert höher, der A-Horizont mächtiger und der Wassergehalt geringer war als am Standort Halmsburg.

In der vorliegenden Untersuchung wurde eine *allgemeine Beobachtung* entwickelt und erprobt, mit der ausgewählte naturnahe Biotope über einen langen Zeitraum hinweg detailliert dargestellt werden können. Die detaillierte Datenerhebung und -auswertung ist die Grundlage dafür, dass Veränderungen, die über die normale ökologische Schwankungsbreite hinaus gehen, erkannt werden und Hypothesen über deren Ursachen aufgestellt werden können. Treten Veränderungen in den untersuchten Biotopen ein, fließt der Anbau von GVP mit seinen möglichen direkten und indirekten Wirkungen auf Ökosysteme in die Hypothesenbildung ein. Eine derart offene Herangehensweise ist nötig, da es die Aufgabe der allgemeinen Beobachtung ist, „unerwartete Effekte“ des Anbaus von GVP zu untersuchen. Die hier entwickelte Methode ist für viele Hypothesen offen und berücksichtigt, dass neben GVP viele andere Faktoren Umweltveränderungen auslösen können.

Beide Projekte wurden vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, Bundesamt für Naturschutz und Umweltbundesamt finanziert.

Persistenz und Ausbreitung von transgenem Raps unter praxisnahen Bedingungen

Teilprojekt:

“Bestimmung der Halbwertszeiten transgener Kulturpflanzen in der Umwelt“

Tristan Funk, Technische Universität München, Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung

Im Rahmen eines 3-jährigen Freisetzungsversuchs auf der TUM Versuchsstation Roggenstein wurde das Potenzial von transgenem, herbizidresistentem Raps zur Persistenz und Ausbreitung unter landwirtschaftlichen Praxisbedingungen untersucht.

Das Versuchsfeld enthielt neben den jährlich rotierenden Fruchtfolgegliedern Winterweizen und -gerste Parzellen mit Rübsen und Stilllegung. Zur Ermittlung der Auskreuzungsraten wurden Parzellen mit unterschiedlichen Anteilen der transgenen Rapssorte 'Falcon GS40/90' (100 %, 1,0 % und 0,1 %) sowie jeweils acht umgebende Parzellen mit der nicht-transgenen Ausgangssorte 'Falcon' angelegt (Parzellengröße 6 x 6 m). Mit Hilfe eines Biotests wurden die an definierten Punkten gezogenen Stichproben von insgesamt 630.000 Samen auf die Übertragung des *pat*-Gens untersucht. Die durchschnittlichen Auskreuzungsraten aus den 100 % transgenen Parzellen betragen 0,29 %, während die 1,0 % und 0,1 % transgenen Parzellen, die eine Verunreinigung mit transgenem Saatgut simulierten, nur zu Auskreuzungen im Promillebereich führten. Die Verifizierung der transgenen Hybriden erfolgte mittels qualitativer PCR. Die Verteilung der Auskreuzungsereignisse war unabhängig von der Windrichtung und punktuell. Dies zeigt den bedeutenden Einfluss blütenbesuchender Insekten. Der Zusammenhang zwischen dem Rückgang der Auskreuzungsereignisse und der Distanz zur Pollenquelle konnte mit einer Regressionsgleichung ($R^2 = 0,66$) beschrieben werden.

Die Untersuchung des Hybridisierungspotenzials mit kreuzungskompatiblen Kulturpflanzen ergab nur im ersten Versuchsjahr eine Auskreuzung des *pat*-Gens in Sommerrübsen in Höhe von 0,19 %. Mit Hilfe getopfter Rübsenpflanzen, die zur Rapsblüte neben den 100 % transgenen Parzellen aufgestellt wurden, konnte ein theoretisches Hybridisierungspotential in Höhe von 0,13 – 6,84 % gemessen werden. In Bezug auf Habitus und Kornansatz zeigten die Artbastarde deutliche morphologische Unterschiede gegenüber dem Elter Raps. Hybridisierungen zwischen transgenem Raps und den Wildpflanzen Hirtentäschel und Hederich konnten nicht beobachtet werden.

Die Pollenverbreitung wurde während der gesamten Rapsblüte mit Hilfe stationärer Pollenfallen mit Vaseline-bestrichenen Objektträgern im Abstand von 0 m, 50 m, 100 m, 150 m, 200 m und 250 m sowie in 1 m, 2 m, 3 m und 4 m Höhe untersucht. Mit zunehmender Entfernung verringerte sich die Pollenzahl deutlich und erreichte zwischen 150 m und 250 m ein relativ konstantes Niveau von ca. 4 %. Die Pollenverteilung in unterschiedlichen Fanghöhen war über die untersuchte Distanz sehr inhomogen. Dies deutet auf den Einfluss von Verwirbelungseffekten hin, die den Pollen in höhere Luftschichten verfrachten und größere Entfernungen überwinden lassen. Der Zeitraum der Blühperiode sowie die Anzahl freigesetzter Pollen wiesen erhebliche Jahrgangsunterschiede auf, wobei der Hauptpollenflug immer auf wenige Tage beschränkt war.

Bei der Ernte kam es zum Eintrag von bis zu 14.146 Samen/m² in den Boden. Die Entnahme und Untersuchung von Bodenproben in den Transgen-Parzellen bis in einer Tiefe von 30 cm ergab, dass es durch die flache Bodenbearbeitung mit dem Grubber bereits im ersten Jahr nach der Ernte zu einer Reduktion der keimfähigen Samen in Höhe von 99,7 % – 100 % gekommen war. Während des gesamten Untersuchungszeitraums konnten bereits zwei Jahre nach der Ernte keine keimfähigen Samen mehr nachgewiesen werden. Auch in den Folgekulturen der Transgenparzellen wurde nach spätestens zwei Jahren kein Durchwuchsrap mehr in den Winterweizen und -gerstebeständen gefunden. Das Überdauerungspotenzial von Raps auf Ruderalstandorten wurde durch die Untersuchung des Brachstreifens um das Versuchsfeld ermittelt. Während die absolute Anzahl an Rapspflanzen dort zunahm, ging der relative Transgenanteil zurück.

Als Instrument zur Überwachung des Pollenflugs transgener Pflanzen wurde der Einsatz einer mobilen Pollenfalle eingeführt. Entsprechende Optimierungen bei der DNA-Aufbereitung führten zu qualitativ hochwertiger Pollen-DNA für die PCR-Analyse. Die Eignung der Methode zum Monitoring großflächiger Anbauggebiete konnte gezeigt werden.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie belegen, daß eine gewisse Auskreuzung von transgenem Raps in benachbarte Rapsbestände zwar unvermeidbar ist, der gesetzliche Schwellenwert von 0,9 % jedoch selbst in unmittelbar benachbarten Feldern auch ohne umständliche und kostspielige Abstandsregelungen eingehalten werden kann. Da auch die Maßnahmen der üblichen 'guten landwirtschaftlichen Praxis' die Persistenz von transgenem Raps deutlich reduzieren können, ist die Koexistenz verschiedener Formen der Landwirtschaft mit und ohne Gentechnik bei Raps möglich.

Untersuchungen zur Ausbreitung von Raps- und Maispollen auf Landschaftsebene für ein Langzeitmonitoring gentechnisch veränderter Pflanzen (GVP)

Projekt:

„Raumrepräsentativität technischer Pollensammler für ein Langzeitmonitoring von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP)“

Martin Kuhlmann, Heike Beismann, Jörg Pfadenhauer, **Technische Universität München, Lehrstuhl für Vegetationsökologie, Freising-Weihenstephan**

1 Hintergrund

Gemäß der EU-Freisetzung-Richtlinie 2001/18/EG besteht beim Inverkehrbringen gentechnisch veränderter (transgener) Kulturpflanzen die gesetzliche Verpflichtung zu einem Langzeit-Monitoring. Da Pollen transgener Kulturpflanzen ein Agens des möglichen Gentransfers und der Verbreitung in die Umwelt sind, kommt der Untersuchung der Exposition von Pollen im Rahmen eines Langzeit-Monitoring von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP-Monitoring) eine erhebliche Bedeutung zu (Züghart & Breckling 2003). Die Fragestellung umfasst nicht nur die Koexistenz von konventioneller Landwirtschaft, ökologischem Landbau und Landwirtschaft, die GVP nutzt, sondern auch die möglichen Wirkungen auf Nicht-Zielorganismen, die den Pollen aufnehmen oder Mikroorganismen, die den Pollen zersetzen. Den Kulturpflanzen Raps (*Brassica napus L.*) und Mais (*Zea mays L.*) wird eine hohe Priorität für ein Monitoring aufgrund des Potenzials für ökologische Wirkungen und der wirtschaftlichen Bedeutung zugesprochen (Bund/Länder-AG 2001).

Seit langem ist bekannt, dass luftgetragener Pollen in großen Mengen über weite Entfernungen befördert wird und es dazu keiner außergewöhnlichen Wetterereignisse bedarf, wie Rempe (1937) auf Helgoland und Tyldesley (1973) auf den Shetland Inseln feststellten. Im Kontext von Untersuchungen über GVP wird der Ausbreitung von Pollen – abgesehen von Untersuchungen im Nahbereich eines Versuchsfeldes – wenig Beachtung geschenkt. Für Rapspollen gibt es Hinweise auf Ferntransport über mehrere Kilometer wie Rieger et al. (2002) und Ramsay et al. (2003) zeigten. Dem Maispollen wird trotz seiner Größe ein ähnliches Potenzial für den Ferntransport zugeschrieben (Treu & Emberlin 2000, Feil & Schmid 2001). Das Fehlen empirischer Daten zu Pollenemission und -deposition auf mesoskaliger Ebene erweist sich insbesondere für die Modellierung und Vorhersage der Ausbreitung von (GV)-Pollen als Problem (VDI & KRdL 2005).

2 Methodik

Ein wesentlicher Ansatz des Projekts beruhte darauf, die Untersuchungen von einer mikroskaligen Betrachtungsebene zu lösen und für einen größeren Landschaftsausschnitt ein Pollenmonitoring mit standardisierten Messgeräten und Verfahren zu etablieren (Up-Scaling). Das Ziel bestand darin, innerhalb eines 256 km² großen Gebietes (16 x 16 km) den Expositionsgrad transgener und nicht-transgener luftgetragener Raps- und Maispollen (im weiteren Text als „Zielpollen“ bezeichnet) mit 50 technischen Pollensammlern für den landwirtschaftlich genutzten Raum repräsentativ zu erfassen. Es sollte geprüft werden, ob ein raumrepräsentatives Pollen-Monitoring transgener

Kulturpflanzen umsetzbar ist. Die verwendeten technischen Pollensammler brauchen keinen Strom, sind sehr kostengünstig und robust in der Datenlieferung, allerdings ließen die Sammler keine Untersuchung der Lebensfähigkeit der Pollen zu.

Um Messstandorte auszuwählen, die für das Untersuchungsgebiet repräsentativ sind, wurde nicht wie ursprünglich vorgesehen der Repräsentanzindex (RI) nach Vetter & Maas (1994) verwendet (Beismann et al. 2003), da dem RI eine von der Zielstellung dieses Projekts abweichende Definition der Raumrepräsentativität zu Grunde liegt (Beismann & Kuhlmann 2005). Statt dessen wurde das Prinzip der proportional geschichteten Stichprobe angewendet (Bortz & Döring 2002). Bei dieser Methode wird ein Untersuchungsgebiet in Schichten (Strata) unterteilt (stratifiziert), und die Stichprobe proportional auf die Strata aufgeteilt. Je stärker die Beziehung zwischen einem Stratum (Schicht) und dem untersuchungsrelevanten Merkmal – in diesem Fall der Pollendeposition – ausgeprägt ist, desto „repräsentativer“ für das Untersuchungsgebiet sind die auf einer geschichteten Stichprobe beruhenden Standorte. Folglich wurden in diesem Projekt Strata verwendet, die das Vorkommen von luftgetragenen Pollen in vielerlei Hinsicht (Quelle, Freisetzung, Ausbreitung und Deposition) maßgeblich beeinflussen. Auf mesoskaliger Ebene waren dies die Strata Naturraum (naturräumliche Haupteinheiten), Höhenlage (Orografie) und Landnutzung (landwirtschaftliche Nutzungstypen). Die Variabilität der standörtlichen Bedingungen im Untersuchungsgebiet wird durch die Strata abgebildet, so dass die proportional auf die Strata verteilten Standorte das Untersuchungsgebiet repräsentieren. Durch diese Auswahl ist die Voraussetzung gegeben, die im Untersuchungsgebiet auftretende Pollendeposition in ihrer Häufigkeitsverteilung messtechnisch zu erfassen.

Vom 25. April bis 23. Mai (Rapsversuch) und vom 4. bis 31. Juli 2003 (Maisversuch) wurde jeweils an 50 Messstandorten im 256 km² großen Untersuchungsgebiet im Raum Fürstenfeldbruck die Pollendeposition gemessen. Jeder Standort wurde mit zwei Typen technischer Passiv-Pollensammler (Sigma-2, Pollenmassenfilter) bestückt und die Messstandorte wurden per GPS verortet. Die Expositionsdauer der Sigma-2-Proben betrug 1 Woche, der Pollenmassenfilter (PMF) verblieb während der ganzen Versuchsdauer am Standort. Die Proben des Sigma-2-Sammlers wurden mittels (halb-)automatischer Bildanalyse qualitativ und quantitativ auf Pollen von Ziel- und Nicht-Zielarten untersucht. Die Proben des Pollenmassenfilters (PMF) wurden mittels molekulargenetischer Analyse (PCR) qualitativ auf transgene und nicht transgene Zielpollen überprüft. Zusätzlich wurden die Proben des Pollenmassenfilters lichtmikroskopisch qualitativ und quantitativ auf Pollen von Ziel- und Nicht-Zielarten ausgewertet. Während des Feldversuchs lieferten drei agrarmeteorologische Messstationen der Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) und eine Messstation des Deutschen Wetterdienstes (DWD) meteorologische Daten für das Untersuchungsgebiet.

Die räumliche Verteilung der Raps- und Maisfelder in der Umgebung der Pollensammler ist für die Auswertung der Messdaten der Pollendeposition unerlässlich. Deshalb wurden zeitgleich mit den Feldversuchen die Raps- und Maisfelder im gesamten Untersuchungsgebiet kartiert und in ein geografisches Informationssystem (GIS) überführt. Die Rapskartierung wurde an Hand von zwei Satellitenbildern (LANDSAT-7, IKONOS) verifiziert und es wurde im Hinblick auf Standardisierung und Automatisierung des Pollenmonitorings untersucht inwiefern die Fernerkundung die Feldkartierung ersetzen kann.

3 Ergebnisse und Diskussion

Im Untersuchungsgebiet lagen einheitliche Wetterverhältnisse und damit einheitliche Bedingungen für den Pollenflug vor, wie der Vergleich der meteorologischen Stationen ergab. Eine hohe Korrelation zwischen den Stationen ist für die meteorologischen Messgrößen (Lufttemperatur, Luftfeuchte, Globalstrahlung und Windgeschwindigkeit) während des Raps- ($r > 0,96^{**}$) und Mais-

versuchs ($r > 0,93^{**}$) festzustellen. Beim Niederschlag lag der Rangkorrelationskoeffizient etwas niedriger ($r_s > 0,79^{**}$ bzw. $r_s > 0,85^{**}$).

Durch die Feldkartierung wurden ca. 350 Raps- und ca. 800 Maisfelder auf den 256 km² des Untersuchungsgebietes nachgewiesen. In Abhängigkeit von Kulturpflanze und Naturraum waren Anzahl, Größe und Form der Felder unterschiedlich. Der Abstand der Pollensammler zum nächsten Rapsfeld betrug zwischen 1 und 1.510 m (Median: 256 m) und zum nächsten Maisfeld zwischen 0 und 1.190 m (Median: 55 m).

Die Auswertung der Satellitenbilder machte deutlich, dass trotz moderner Fernerkundungstechnik die Kartierung von Feldern unverzichtbar bleibt. Die Fernerkundung kann die Feldkartierung ergänzen, aber nicht ersetzen. Selbst unter optimalen Bedingungen werden weniger als 90 % aller „Rapsfelder“ identifiziert, wie Laue (2004) für Norddeutschland zeigte. Multispektrale hochaufgelöste (≤ 30 m) Satellitendaten für das Gebiet Fürstfeldbruck und für den Zeitraum des Rapsfeldversuchs waren nicht erhältlich. Als Alternative kamen zwei Satellitenbilder (LANDSAT-7, IKONOS) in Betracht. Der Aufnahmezeitpunkt der LANDSAT-7-Szene (1. April 2003) erwies sich für die Klassifizierung des Raps als zu früh. Die IKONOS-Szene eignete sich aufgrund des späteren Aufnahmezeitpunkts (10. Juni 2003) besser, deckte allerdings nur die Hälfte des Untersuchungsgebietes ab. Im IKONOS-Datensatz konnten mit Hilfe des Mahalanobis Distance Classifier (Richards 1999) 78 % der kartierten Rapsfelder identifiziert werden. Dadurch war es möglich die Position von drei Feldern und die Geometrie von 22 Feldern zu korrigiert, zudem wurden zwei Felder neu entdeckt.

Entsprechend der unterschiedlichen Standortbedingungen der Messorte erbrachten beide Pollensammler in beiden Feldversuchen eine große Bandbreite an Messwerten der Deposition der Zielpollen. Durch die geschichtete Stichprobenahme bzw. die daraus resultierenden Messstandorte konnte der im Untersuchungsgebiet vorhandene Gradient der Pollendeposition abgedeckt werden. Die Expositionsdauer der Sigma-2-Proben von einer Woche erwies sich als zu kurz, da die Belegung mit Zielpollen nicht immer ausreichend war. Rapspollen wurden an 15 (Sigma-2) bzw. 44 (PMF) von 50 Standorten gefunden. Die durchschnittliche Rapspollendeposition (Sigma-2) betrug 4.300 Pollen m⁻² d⁻¹ und der durchschnittliche Rapspollenfluss (PMF) lag bei 14.000 Pollen m⁻² d⁻¹. Maispollen wurden an 26 (Sigma-2) bzw. allen (49 auswertbare PMF) Standorten gefunden. Die durchschnittliche Maispollendeposition (Sigma-2) betrug 5.700 Pollen m⁻² d⁻¹ und der durchschnittliche Maispollenfluss (PMF) lag bei 25.000 Pollen m⁻² d⁻¹. Trotz der hohen Sinkgeschwindigkeit der Maispollen (Aylor 2002) und gegenteiliger Erfahrung aus einem Vorversuch auf mikroskaliger Ebene, kamen Maispollen an allen Messorten im PMF vor. Selbst die Tatsache, dass der Flächenanteil der Maisfelder zweimal so groß war wie der Anteil der Rapsfelder, und die Pollensammler durchschnittlich näher an den Maisfeldern als an den Rapsfeldern standen, erklären diese weiträumige Ausbreitung der Maispollen nicht vollständig. Eventuell begünstigen thermische Aufstiege und Turbulenzen, die im Sommer verstärkt auftreten (Tyldesley 1967, Mason 1979), die Ausbreitung der Maispollen.

Die molekulargenetische Analyse der Proben auf DNA der Zielarten Raps und Mais sowie transgene Gensequenzen ergab in Einzelfällen positive Ergebnisse. Zum einen wurde die PCR inhibiert, zum anderen war die Anzahl der Pollen in der PCR-Probe zu gering. Dies beruht zum Teil auf der Verdünnung der Ausgangsprobe während der Aufbereitung und Extraktion, zum Teil auf der zu niedrigen Fangzahl von Pollen an bestimmten Messstandorten. An der Verbesserung des Aufbereitungsverfahrens der PMF-Proben wird gearbeitet, und erste Ergebnisse sind vielversprechend.

Eine Interpolation der Punktdaten der Pollendeposition in die Fläche wurde durch eine GIS-gestützte Regionalisierung der Messwerte auf Grundlage der Feldkartierung vorgenommen. Dazu

wurde ein einfaches zweidimensionales Ausbreitungsmodell, der Pollendepositionsindex (PDI), entwickelt (Beismann & Kuhlmann 2005). Für einen oder mehrere Standorte wird ein Wert der Pollendeposition berechnet, der die Fläche, Distanz und Himmelsrichtung benachbarter Felder bis 1 km Entfernung berücksichtigt. Auf mesoskaliger Ebene wurde mit dem PDI die gleiche Genauigkeit bei der Vorhersage der Pollendeposition wie mit dem komplexen 3D-Ausbreitungsmodell AUSTAL2000 (Janicke 2002), ein Partikelmodell nach VDI 3945 Blatt 3 (2000) und TA Luft (2002), erreicht. Geostatistische Verfahren wie Kriging konnten nicht angewendet werden, da die Messwerte der Pollendeposition keine räumliche Korrelation aufwiesen und sich aus diesem Grund nicht tolerierbare Fehler ergaben (Heinrich 1994).

Die Raumrepräsentativität der 50 Pollensammler-Standorte (Stichprobe) wurde anhand des Vergleichs mit einer sehr großen Anzahl von zufällig gewählten Punkten des Untersuchungsgebietes („Grundgesamtheit“) beurteilt. Für die Variable „Abstand zum nächsten Rapsfeld“ stimmt die Verteilung von Stichprobe und „Grundgesamtheit“ in Lage und Verteilungsform sehr gut überein. Bei der Variable „Abstand zum nächsten Maisfeld“ gibt es eine geringfügige Abweichung in der Lage der beiden Verteilungen. Übereinstimmende Verteilungen ergaben sich auch für die Variable „Pollendepositionsindex“. Die Raumrepräsentativität der Pollensammler-Standorte wird somit als gegeben betrachtet.

4 Schlussfolgerungen

Mit dem Projekt wurde gezeigt, dass ein GVP-Pollenmonitoring auf mesoskaliger Ebene mit standardisierten Messgeräten und Verfahren durchführbar ist und zu repräsentativen Ergebnissen führt. Ein Routine-Betrieb ist damit möglich.

Von Vorteil für die Messplanung ist das Vorwissen über das Untersuchungsgebiet, damit Pollensammler möglichst effizient hinsichtlich der zu erwartenden Ergebnisse, der Betriebs- und Personalkosten aufgestellt werden können. Auf mesoskaliger Betrachtungsebene kann diesem Vorwissen durch eine proportional geschichtete Zufallsstichprobe zur Auswahl der Pollensammlerstandorte Rechnung getragen werden. Als Strata werden Naturraum, Orografie (z. B. 20 m-Klassen), Landnutzung (Ackerland, Grünland) und Pollendepositionsindex (falls die Anbauverhältnisse im Vorfeld bekannt sind) empfohlen. Die Pollendeposition wird durch die ersten drei Strata maßgeblich beeinflusst und durch das vierte Stratum abgeschätzt: (1) Die naturräumlichen Haupteinheiten, die durch die Nutzungsstruktur und Anbaubedingungen Anzahl, Größe und Form der Felder beeinflussen, (2) die Orografie, die im hohen Maße die Windverhältnisse beeinflusst, (3) die Art der landwirtschaftlichen Nutzung und (4) der PDI, der Gebiete unterschiedlicher Pollendeposition klassifiziert und abgrenzt. Die zur Planung eines GVP-Pollenmonitorings notwendigen Datenbestände liegen größtenteils bei den Vermessungs- und Umweltämtern der Länder vor (Naturräumliche Gliederung, DGM 25, ATKIS), nur der Pollendepositionsindex (PDI) muss zusätzlich berechnet werden.

Eine Anzahl von 30 Sammlerstandorten ist für ein Untersuchungsgebiet der Größe von 16 x 16 km nicht zu unterschreiten, damit die Strata durch Sammlerstandorte abgedeckt werden und die Grundgesamtheit der Pollendeposition durch die Messergebnisse annähernd abgebildet wird. Um vergleichbare Verhältnisse an den Sammler-Standorten zu gewährleisten, sind u. a. definierte Abstände zu anderen Landnutzungen (z. B. Siedlung, Wald oder Verkehrsflächen) einzuhalten. Befindet sich der zufällig gewählte Standorte innerhalb eines Feldes, ist der Standort in kürzester Entfernung an den Rand des nächstgelegenen Feldwegs zu verschieben (Erreichbarkeit des Standorts und Akzeptanz des Standorts durch den Eigentümer/Pächter). Auf Kosten der zeitlichen Auflösung

der Messwerte der Pollendeposition ist eine Expositionsdauer von zwei Wochen für Sigma-2-Proben zu empfehlen.

Berechnungen zur Pollenausbreitung sind nur auf der Grundlage präziser und verlässlicher Daten der Anbauverhältnisse von Kulturpflanzen sinnvoll. Solange ein schlaggenaues und bundesweites Anbaukataster von transgenen und konventionellen Kulturpflanzen nicht existiert, muss diese Information aus verschiedenen Datensätzen generiert werden (Feldkartierung, Fernerkundung, Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem (InVeKoS), GVP-Anbauregister). Ein derartig erstellter Datensatz steht vermutlich nicht im Vorfeld von Feldversuchen zur Messplanung zu Verfügung.

Die Übertragbarkeit des Monitorings auf andere Gebiete Deutschlands ist gegeben, da standardisierte Verfahren bei der Messung und Auswertung der Pollenproben zur Anwendung kamen, bundesweit erhobene Daten die Grundlage der Messplanung des Monitorings bilden und der Pollen in der Transportphase den gleichen physikalischen und chemischen Gesetzmäßigkeiten unterworfen ist. Eine Ausnahme stellen Gebiete mit stark ausgeprägten Höhenunterschieden (Mittel- und Hochgebirgslandschaften) dar. Die lokalen Windsysteme dieser Gebiete können die Sammelleistung der Pollensammler stark beeinflussen und die Auswertung der Messwerte erschweren.

Die in diesem Projekt entwickelten Methoden zur Probennahme und Probenanalysen sind für ein zukünftiges GVP-Monitoring – mit Ausnahme der molekulargenetischen Analyse – unmittelbar einsetzbar.

5 Dank

Dieses Projekt wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) und dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz (BfN) finanziert (Az. 76a-8793-2001/12 bzw. FKZ: 202 67 430 / 33).

Dank gebührt auch den Projektpartnern Aldar Dugarjapov (Universität Freiburg), Frieder Hofmann (Ökologie Büro Hofmann, Bremen), Steffen Rogg (Fachhochschule Weihenstephan), Eckart Schultz (Deutscher Wetterdienst, Freiburg) und Reinhard Zeitler (Landesamt für Umweltschutz, Augsburg).

6 Literatur

- Anonymus (2001): Richtlinie 2001/18/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. März 2001 über die absichtliche Freisetzung genetisch veränderter Organismen in die Umwelt und zur Aufhebung der Richtlinie 90/220/EWG des Rates. ABl. EG L 106 vom 17.4.2001, S. 1-38
- Aylor D. E. (2002): Settling speed of corn (*Zea mays*) pollen. *J. Aerosol Science*, 33, S. 1601-1607
- Beismann H., Kuhlmann M., Pfadenhauer J. (2003): Methodenentwicklung für ein Monitoring transgener Pollen. In: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): Monitoring der Umweltwirkung von gentechnisch veränderten Organismen – Statusseminar zu den bayerischen Projekten, Augsburg 13.02.2003, S. 11-13
- Beismann H., Kuhlmann M. (2005): Raumrepräsentativität technischer Pollensammler für ein Langzeitmonitoring von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP). BfN-Skripten
- Bortz J., Döring N. (2002): Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler. Springer: Berlin

- Bund/Länder-AG „Monitoring der Umweltwirkungen von GVP“ (2001): Monitoring von gentechnisch veränderten Pflanzen – Prioritätensetzung. In: Umweltbundesamt (Hrsg.): Stand der Entwicklung des Monitoring von gentechnisch veränderten Organismen (GVO), Berlin: UBA-Texte Nr. 60/01, S. 34-55
- Feil B., Schmid J. E. (2001): Pollenflug bei Mais, Weizen und Roggen. Ein Beitrag zur Frage der beim Anbau von transgenen Kulturpflanzen erforderlichen Isolierabstände. Aachen: Shaker
- Heinrich U. (1994): Flächenschätzung mit geostatistischen Verfahren – Variogrammanalyse und Kriging. In: Schröder W., Vetter L., Fränzle O. (Hrsg.): Neuere statistische Verfahren und Modellbildung in der Geoökologie. Braunschweig: Vieweg, S. 145-164
- Janicke, Ing.-Büro (2002): AUSTAL2000 [<http://www.austal2000.de/>]
- Laue H. O. A. (2004): Automated Detection of Canola/Rapeseed Cultivation from Space. Application of new Algorithms for Identification of Agricultural Plants with Multispectral Satellite Data on the Example of Canola Cultivation. Dissertation, Universität Bremen
- Mason C. J. (1979): Principles of atmospheric transport. In: Edmonds R. L. (Hrsg.): Aerobiology. The Ecological Systems Approach. Stroudsburg: Dowden, Hutchinson & Ross
- Ramsay G., Thompson C., Squire G. (2003): Quantifying landscape-scale gene flow in oilseed rape. Final Report of DEFRA Project RG0216: An experimental and mathematical study of the local and regional scale movement of an oilseed rape transgene. [http://www.defra.gov.uk/environment/gm/research/pdf/epg_rg0216.pdf]
- Rempe H. (1937): Untersuchungen über die Verbreitung des Blütenstaubes durch die Luftströmungen. *Planta*, 27, S. 93-147
- Richards J. A. (1999): Remote Sensing Digital Image Analysis. Berlin: Springer
- Rieger M. A., Lamond M., Preston C., Powles S. B., Roush R. T. (2002): Pollen-Mediated Movement of Herbicide Resistance Between Commercial Canola Fields. *Science*, 296, S. 2386-2388
- TA Luft (2002): Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft). Vom 24. Juli 2002. GMBI. vom 20.7.2002, Heft 25 – 29, S. 511-605
- Treu R., Emberlin J. (2000): Pollen dispersal in the crops Maize (*Zea mays*), Oil seed rape (*Brassica napus ssp. oleifera*), Potatoes (*Solanum tuberosum*), Sugar beet (*Beta vulgaris ssp. vulgaris*) and Wheat (*Triticum aestivum*). Evidence from publications. Bristol: Soil Association (Hrsg.) [<http://www.soilassociation.org/> → Library → GMO]
- Tyldesley J. B. (1967): Movement of particles in the lower atmosphere. In: Society for General Microbiology (Hrsg.): Airborne microbes. Cambridge: Cambridge University Press, S. 18-30
- Tyldesley J. B. (1973): Long range transmission of tree pollen to Shetland. *New Phytologist*, 72, S. 175-181
- VDI 3945 Blatt 3 (2000): Umweltmeteorologie. Atmosphärische Ausbreitungsmodelle. Partikelmodell. Berlin: Beuth
- VDI (VDI-Kompetenzfeld Biotechnologie), KRdL (Kommission Reinhaltung der Luft in VDI und DIN) (2005): Probenahmedesigns für ein Pollen-Monitoring von gentechnisch veränderten Pflanzen – Entwicklungs- und Standardisierungsbedarf [http://www.vdi.de/vdi/organisation/schnellauswahl/fgkf/krdl/index.php?cms_id=114]
- Vetter L., Maass R. (1994): Nachbarschaftsanalytische Verfahren. In: Schröder W., Vetter L., Fränzle O. (Hrsg.): Neuere statistische Verfahren und Modellbildung in der Geoökologie. Braunschweig: Vieweg, S. 103-107
- Züghart W., Breckling B. (2003): Konzeptionelle Entwicklung eines Monitoring von Umweltwirkungen transgener Kulturpflanzen, Teil 1 + Teil 2. Berlin: Umweltbundesamt (Hrsg.), UBA-Texte 50/03

Veröffentlichungen aus dem Projekt:

- Beismann H. (2002): Temporal and spatial distribution of pollen from transgenic maize and oilseed rape fields. In: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Gießen, Band 32, S. 423.
- Beismann H., Kuhlmann M., Pfadenhauer J. (2003): Prüfung der Raumrepräsentativität von Pollensammlern für ein Langzeitmonitoring von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP). In Umweltbundesamt (Hrsg.): Symposium „Monitoring von gentechnisch veränderter Pflanzen: Instrument einer vorsorgenden Umweltpolitik“. UBA-Texte Nr. 23/03, Berlin, S. 81-82.
- Beismann H., Kuhlmann M., Pfadenhauer J. (2003): Methodenentwicklung für ein Monitoring transgener Pollen. In: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): Monitoring der Umweltwirkung von gentechnisch veränderten Organismen – Statusseminar zu den bayerischen Projekten, Augsburg 13.02.2003, S. 11-13.
- Beismann H., Kuhlmann M., Pfadenhauer J. (2003): Methodenentwicklung für ein Monitoring. Prüfung der Raumrepräsentanz von Pollensammlern für ein Langzeitmonitoring von gentechnisch veränderten Pflanzen GVP. In Umweltbundesamt (Hrsg.): Monitoring von Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Organismen. UBA-Texte Nr. 53/03, Berlin, S. 57-70.
- Beismann H., Kuhlmann M. (2005): Raumrepräsentativität technischer Pollensammler für ein Langzeitmonitoring von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP). BfN-Skripten.
- Kuhlmann M. (2006): Untersuchungen zur Ausbreitung von luftgetragenen Raps- und Maispollen auf mesoskaliger Ebene für ein Langzeitmonitoring von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP), Diss. TU München (in Vorbereitung).
- Kuhlmann M., Beismann H. (2004): Raumrepräsentativität technischer Pollensammler für ein Monitoring von transgenen Pollen auf regionaler Ebene. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, 64, Nr. 1/2, S. 7-12.
- Kuhlmann M., Beismann H. (2004): The pollen deposition index (PDI) as a measure for the amount of airborne pollen at specific sites. In: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Gießen, Band 34, S. 278.
- Kuhlmann M., Beismann H. (2005): Measuring the deposition of oilseed rape (*Brassica napus* L.) pollen on landscape level – from point measurement to interpolated surface area. *Allergo Journal*, 14, Nr. 4, 281-282.
- Rogg S., Kuhlmann M. (2005): Geostatistische Untersuchung der Raumrepräsentativität von Pollensammlern. Symposium und Fachmesse für Angewandte Geoinformatik, AGIT, Salzburg, 06.-08.07.2005.

Persistenz von transgenen Rapssamen in Ackerböden

Projekt:

„Begleitforschung und Überwachung in Verkehr gebrachter gentechnisch veränderter Organismen“

Teilprojekt:

„Persistenz und Ausbreitung gentechnisch veränderter Kulturpflanzen und potenziell kreuzungskompatibler Wildpflanzen“

Harald Albrecht, Albrecht Roller, Heike Beismann, Jörg Pfadenhauer, **Lehrstuhl für Vegetationsökologie, Technische Universität München Freising-Weihenstephan**

1 Stand der Forschung

Es ist allgemein bekannt, dass Rapssamen über lange Zeit im Diasporenvorrat des Bodens überdauern können. Obwohl sie nur eine geringe angeborene Dormanz aufweisen und in der Regel bald nach dem Samenfall keimen (Lutman, 1993), können sie unter bestimmten Bedingungen eine ausgeprägte sekundäre Dormanz entwickeln und langfristig im Boden überleben ohne zu keimen. So fanden Pekrun & Lutman (1998), dass Samen, die sofort nach der Ernte vergraben wurden, drei Monate später noch zu 20 % keimfähig waren. Wurden sie erst zwei Wochen nach der Ernte eingearbeitet, waren nur noch 0,4 % in der Lage zu keimen. Die Autoren schließen daraus, dass Lichtabschluss ein Schlüsselfaktor für die Induktion sekundärer Dormanz ist. Dass Rapssamen unter solchen Umständen bis zu 10 Jahren lebensfähig im Boden überdauern können, lassen die Untersuchungen von Sauermann (1993), Kohout & Soukup (1996) und Schlink (1998) vermuten. Diese Ergebnisse zeigen, dass der Zeitpunkt der Bodenbearbeitung entscheidenden Einfluss auf die Entwicklung einer persistenten Diasporenbank hat. Welche Bedeutung der Art der Bodenbearbeitung zukommt, zeigten Gruber et al. (2005). Während bei Pflugbodenbearbeitung ein halbes Jahr nach der Ernte zwischen 8 und 29 % der Samen wiedergefunden wurden, waren es bei Striegelbearbeitung 4 – 14 % und ohne jede Bodenbearbeitung nur 0 – 3 %. Ein weiterer Faktor, der die Samenbank beeinflussen kann, ist die Wahl der angebauten Sorte. So fanden Momoh et al. (2002) und Gruber et al. (2003) bei verschiedenen Genotypen große Unterschiede hinsichtlich ihrer Dormanzneigung.

Voraussetzung für die Entstehung großer und dauerhafter Samenbanken ist, dass entsprechende Samenmengen überhaupt erst in den Boden gelangen. Unter regulären Erntebedingungen fanden Gruber et al. (2005) mittlere Samenverluste von 1320 Körnern / m², was etwa 1,5 % der Erntemenge entspricht. Unter ungünstigen Verhältnissen kann dieser Wert aber auch 10.000 Samen / m² übersteigen (Lutman, 1993; Price et al., 1996; Gulden et al., 2003). Dies geschieht vor allem bei Lagerbildung oder ungünstigen Witterungsbedingungen bei der Ernte. Dass aus diesem Samenvorrat wieder Rapspflanzen auflaufen und die Folgekulturen verunkrauten können, gewinnt vor dem Hintergrund einer unkontrollierten Ausbreitung gentechnisch veränderter Organismen derzeit besondere Bedeutung.

2 Durchgeführte Untersuchungen

Bei der vorliegenden Arbeit sollte deshalb untersucht werden, inwieweit auch beim Anbau von gentechnisch verändertem, herbizidtolerantem Raps mit der Bildung persistenter Samenbanken gerechnet werden muss. Besonderer Wert wurde dabei auf eine praxisübliche Bodenbearbeitung gelegt. Vergleichbare Untersuchungen wurden nämlich wegen des hohen Analyseaufwandes bisher auch bei konventionellen Rapsorten entweder im Gewächshaus oder mit in ungestörtem Boden vergrabenen Säckchen durchgeführt. In beiden Fällen erhalten die Samen weder die bei regulärer Bewirtschaftung üblichen Keimreize noch haben die im Ackerboden lebenden Prädatoren die Möglichkeit die Samen zu fressen. Solche Daten sind deshalb nur sehr bedingt repräsentativ.

Die durchgeführten Untersuchungen umfassen zwei Teile. Zum einen wurde auf dem Versuchsgut Roggenstein bei Fürstenfeldbruck ein Parzellenversuch eingerichtet, in dessen Mittelpunkt der Einfluss verschiedener Bodenbearbeitungsverfahren und Sorten auf den Samenvorrat und die Etablierung der Rapspopulationen stand. Im zweiten Teil der Untersuchungen wurde an 10 ehemaligen Freisetzungstandorten in Süddeutschland geprüft, inwieweit sich mehrere Jahre nach dem Anbau transgener Linien noch entsprechende Samen im Boden befinden. Detaillierte Informationen zur Methodik enthält die Arbeit Roller (2005) und weitere, im Anhang zitierten Quellen.

3 Ergebnisse und Diskussion

Einfluss von Bodenbearbeitung und Sorte

Tabelle 1a zeigt die Entwicklung der Samenbanken auf den Parzellenversuchflächen des Versuchsgutes Roggenstein bei den transgenen Sorten Modul^{LL} und Lilly^{LL} in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung. In allen drei Bearbeitungsvarianten Striegel, Grubber und Pflug kam es zu einer raschen Abnahme der eingebrachten Samenmengen. Nach 25 Monaten wurden nur noch in den Parzellen, die gepflügt und mit der Sorte Lilly^{LL} bestellt worden waren, 0,3 % der ausgebrachten Samen wiedergefunden. Bei allen anderen Varianten lag der Samenvorrat unter den Nachweisgrenze von 7 Samen / m². Dieses Ergebnis bestätigt Gruber et al. (2004), die in konventionellen Rapsorten bei Pflugbodenbearbeitung ebenfalls einen stärkeren Rückgang der Samenvorräte beobachteten als bei nicht wendender Bearbeitung. Ursache ist ein Vergraben der Samen in tiefere Bodenschichten, wo die Samen in weit geringerem Umfang zur Keimung stimuliert werden und eher zur Dormanz neigen (Gruber et al., 2005).

Von den gesäten Samen liefen bei Striegelbearbeitung 56 – 57 % auf, beim Grubbern waren es 30 – 34 % und beim Pflügen nur 1 % (Tab. 1b). Vergleichbare Werte erzielten Pekrun et al. (1998) auch bei konventionellen Sorten wo in unbehandelten Parzellen 52 – 57 % und bei Pflugbearbeitung nur 2,5 – 3,8 % der Samen Pflanzen bildeten. Zwischen den Sorten konnten bei der vorliegenden Studie weder bei der Entwicklung der Samenbank noch bei der Auflauftrate ein signifikanter Unterschied beobachtet werden.

Tab. 1: Entwicklung des Bodensamenvorrates (a) und der Auflafrate (b) der transgenen Rapsorten Modul^{LL} und Lilly^{LL} 27 Monate nach Aussaat von je 5.000 Samen / m² im August 2001 in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung. Die Bodenbearbeitung erfolgte kurz nach der Saat und wurde zweimal jährlich wiederholt. Der Vorrat an lebensfähigen Samen wurde durch Bodenauswaschung mit anschließendem Keimtest bestimmt, die Auflafraten wurden im Bestand ausgezählt.

a. Samenbank (% der gesäten Samen)	Datum	Striegel		Grubber		Pflug	
		Modul ^{LL}	Lilly ^{LL}	Modul ^{LL}	Lilly ^{LL}	Modul ^{LL}	Lilly ^{LL}
Start	08-2001	100	100	100	100	100	100
nach 1. Bearbeitung	02-2002	0,3	0,3	1,7	1,0	1,0	1,7
nach 2. Bearbeitung	09-2002	n.n.	0,3	n.n.	n.n.	n.n.	0,3
nach 3. Bearbeitung	03-2003	0,2	0,1	0,1	0,1	n.n.	0,5
nach 4. Bearbeitung	09-2003	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,3
b. Auflafrate							
nach 1. Bearbeitung	09-2001	55,7	56,6	34,0	30,1	1,2	0,7
nach 2. Bearbeitung	09-2002	0,02	0,1	0,03	0,1	0,1	0,1
nach 3. Bearbeitung	11-2002	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
nach 4. Bearbeitung	09-2003	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
nach 5. Bearbeitung	11-2003	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,01

Entwicklung des Bodensamenvorrates in 10 ehemaligen Freisetzungsf lächen

Tabelle 2 zeigt die Entwicklung der Samenbanken auf ehemaligen Freisetzungsf lächen von gentechnisch veränderten, herbizidtoleranten Rapsamen auf insgesamt 10 Versuchsp arzellen der Firma Bayer-Crop-Science in Süddeutschland. Die Standorte dienten zwischen 1994 und 2000 zur Sortenprüfung von transgenem, glufosinattolerantem Winterraps. Die Sorten Modul^{LL} (Liberty Link) und Avalon^{LL} stammen aus der Transformation GS 40/90, die experimentelle Hybridsorte Ms8/Rf3 besitzt keine Sortenbezeichnung. Die je 0,4 ha großen Parzellen waren mit einer Mantel Saat aus konventionellem Raps umgeben. Um den ausgefallenen Rapsamen günstige Keim- und Auflaufbedingungen zu gewähren, wurden alle Parzellen frühestens drei Wochen nach der Ernte mit einem Grubber bearbeitet. Anschließend wurden die aufgelaufenen Pflanzen in den Boden eingearbeitet. Trotz der Wartezeit kam es bei den MS8/RS3-Hybriden am Standort Osterhofen (Fläche 8) und bei der Sorte Avalon^{LL} bei Orbis (Fläche 10) zur Bildung einer großen und persistenten Samenbank. Am ersten Standort verursachte eine längere Regenperiode, am zweiten Hagelschlag vor der Ernte große Samenverluste. Dass bei der Sorte Modul^{LL} keine transgenen Rapsamen mehr nachgewiesen werden konnten, bestätigt deren Einstufung als Sorte mit geringem Dormanzpotenzial (Gruber et al., 2001). Dass die Autoren der Sorte Avalon^{LL} ebenfalls nur geringe Überdauerungsraten bescheinigen, überrascht vor dem Hintergrund der eigenen Ergebnisse. Der vorliegenden Befund lässt vermuten, dass auch Sorten, die unter ‚normalen‘ Bewirtschaftungsbedingungen nur eine geringe Dormanzneigung aufweisen, unter Extrembedingungen durchaus persistente Samenbanken aufbauen können.

Tab. 2: Entwicklung des Bodensamevorrates an 10 ehemaligen Freisetzungstandorten von transgenen Raps-sorten in Süddeutschland. Der Vorrat an lebensfähigen Samen wurde durch Bodenauswaschung mit anschließendem Keimtest ermittelt, der Anteil an transgenem Material wurde mit der TaqMan-PCR-Methode ermittelt (vgl. Beismann, Roller & Zeitler, 2004).

Standort	Sorte	Erntejahr					Lebensfähige Samen / m ²			
		1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Wörrstadt ¹⁾	Modul ^{LL}	*						0		
	Modul ^{LL}		*					0		
Gersthofen ²⁾	Modul ^{LL}	*						0		
	Modul ^{LL}		*					0		
	Modul ^{LL}			*				0		
Bütthard ²⁾	MS8/RF3-Hybride					*		191	42	24
	MS8/RF3-Hybride						*	74	17	0
Osterhofen ²⁾	MS8/RF3-Hybride					* ³⁾		839	304	416
	MS8/RF3-Hybride						*	114	92	42
Orbis ¹⁾	Avalon ^{LL}						* ⁴⁾	2939	1914	662

¹⁾ Standorte in Rheinland-Pfalz, ²⁾ Standorte in Bayern, ³⁾ Durch schlechtes Wetter verzögerte Ernte, ⁴⁾ Hagelschlag zur Erntezeit

Abbildung 1 zeigt die Ergebnisse eines Experimentes, bei dem die Auflafraten von vorgekeimten Samen der transgenen Sorte Avalon^{LL} aus verschiedenen Bodentiefen untersucht wurden. Von der Bodenoberfläche bis in 8 cm Bodentiefe war ein deutlicher Rückgang der Auflafrate zu beobachten, aus noch größerer Bodentiefe erreichten keine Keimpflanzen mehr die Bodenoberfläche.

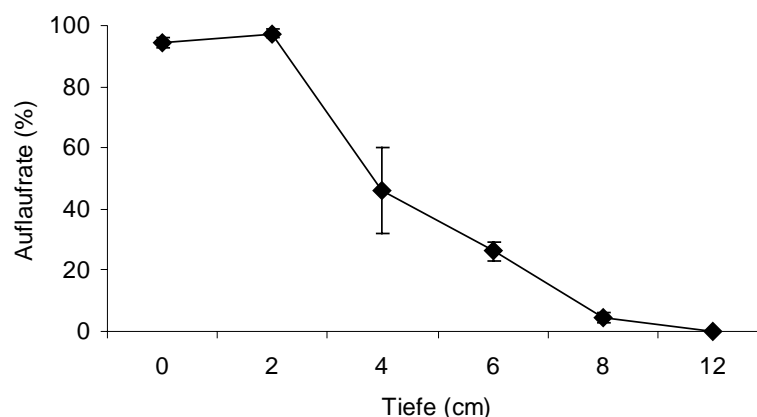


Abb. 1: Auflafraten von Samen der transgenen Rapsorte Avalon^{LL} aus verschiedenen Bodentiefen. Die Samen wurden vorgekeimt und in Tiefen von 0, 2, 4, 6, 8 und 12 cm in mit steriler Ackererde befüllte Plastiktöpfe eingebracht (Methode nach Grundy et al., 2003). Die auflaufenden Pflanzen wurden über drei Wochen hinweg erfasst (I: Standardfehler des Mittelwertes).

4 Schlussfolgerungen

Die vorliegenden Untersuchungen haben gezeigt, dass bei transgenen Rapsorten unter normalen Anbaubedingungen ähnlich wie bei konventionellen Linien mit einem raschen Rückgang der Samenvorräte im Boden gerechnet werden kann. Eine flachgründige, nicht wendende Bodenbearbeitung scheint sich besonders dazu zu eignen, die Keimung der ausgefallenen Körner zu fördern und die Entstehung großer Samenvorräte im Boden zu verhindern.

Die Untersuchungen haben aber auch gezeigt, dass transgene Rapsorten genauso wie konventionelle Herkünfte bei ungünstigen Witterungsbedingungen zur Erntezeit durchaus große und persistente Samenbanken aufbauen können. So wurde im Boden eines der 10 ehemaligen Freisetzungsfelder drei Jahre nach dem Anbau immer noch 662 keimfähige Samen nachgewiesen. Nimmt man an, dass die Pflugtiefe dort 26 cm beträgt, dass die Samen während der drei Jahre durch die Bodenbearbeitung gleichmäßig im Ap-Horizont verteilt wurden und dass die Keimlinge so wie im Tiefenablageversuch in Abbildung 1 auflaufen, ist mit einer Etablierung von bis zu 135 transgenen Rapspflanzen / m² aus dem Bodensamenvorrat zu rechnen. Bei praxisüblichen Saatstärken von 50 bis 70 Rapskörnern / m² wird hier der von der EU vorgeschlagene Grenzwert von 0,9 % transgenem Erntegut mit großer Wahrscheinlichkeit überschritten.

Dieses Ergebnis verdeutlicht, dass es nicht der ‚normale‘ Anbau von transgenem Raps ist, der im Hinblick auf die EU-Richtlinien Schwierigkeiten bereitet. Es sind viel mehr die stochastisch auftretenden, nicht vorhersehbaren Schlechtwetterereignisse zur Zeit der Ernte, die zu einer Überschreitung der gegebenen Schwellenwerte führen können. Eine weitere Ursache kann Lagerbildung sein, die nicht unbedingt durch schlechtes Wetter verursacht sein muss, nach Bowerman (1984) aber ebenfalls zu starkem Sameneintrag führt. Da vor allem beim Nachbau von konventionellem Raps der Durchwuchs transgener Linien nicht erkannt und bekämpft werden kann, ist dort mit Auskreuzungen und erheblicher Verunreinigung des Erntegutes zu rechnen. Zusätzliche Kontroll- und Unkrautbekämpfungsmaßnahmen sowie lange Karenzzeiten für den Nachbau wären die Folge. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen weiterhin, dass auch der Anbau von Sorten mit normalerweise geringer Dormanzneigung keine Gewähr gegen die Bildung persistenter Samenbanken bietet. Hier könnte allenfalls eine noch effizientere Züchtung auf ausfallresistentere Schoten weitere Fortschritte bringen.

5 Dank

Dieses Projekt wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) aus Mitteln der High-Tech-Offensive Bayern finanziert (Az. 76a-8793-1999/15). Die Leonhard-Lorenz-Stiftung der Technischen Universität München hat einen Zuschuss zu Teilfragen gewährt. Dankbar sind wir für die Bereitstellung und Bewirtschaftung von Untersuchungsflächen durch das Versuchsgut Roggenstein (Versuchsstation für Pflanzenproduktion und Tierzucht der TUM). Weiterhin möchten wir der Firma Bayer CropScience für die Bereitstellung ihrer früheren Freisetzungsfelder für unsere Untersuchungen danken. Dank gebührt auch den Firmen DSV und NPZ, die das Saatgut für Versuchszwecke zur Verfügung gestellt haben. Ebenfalls möchten wir der Bundesanstalt für Züchtungsforschung, insbesondere E. Rudloff, für die gaschromatografischen Analysen von Rapsamen danken. Dankbar sind wir auch für die molekulargenetischen Untersuchungen einiger Samenbankproben durch R. Zeitler am Bayerischen Landesamt für Umweltschutz.

6 Literatur

- Anonymus (2003): Regulation EC No. 1830/2003 of the European Parliament and the Council of 22 September 2003 concerning the traceability and labeling of genetically modified organisms and the traceability of food and feed products produced from genetically modified organisms and amending Directive 2001/18/EC. Official Journal of the European Union (46): 24-28.
- Bowerman, P. (1984): Comparison of harvesting methods of oilseed rape. Aspects of Applied Biology 6: 157-165.
- Gruber, S., Pekrun, C. & Claupein, W. (2001): Genotypische Variation der Entwicklung sekundärer Dormanz bei Raps. Tagungsband der 44. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 13: 250-251.
- Gruber, S., Pekrun, C. & Claupein, W. (2003): Seed persistence of genetically modified and conventionally bred oilseed rape in laboratory and burial experiments. In: Proceedings 2003 11th International Rapeseed Congress, Copenhagen, Denmark: 876-878.
- Gruber S., Pekrun C. & Claupein W. (2004): Population dynamics of volunteer oilseed rape (*Brassica napus*) affected by tillage. European Journal of Agronomy 20: 351-361.
- Gruber, S., Pekrun, C. & Claupein, W. (2005): Life cycle and potential gene flow of volunteer oilseed rape in different tillage systems. Weed Research 45: 83-93.
- Gulden R.H., Shirliffe S.J. et al. (2003): Harvest losses of canola (*Brassica napus*) cause large seed-bank inputs. Weed Science 51(1): 83-86.
- Kohout, V. & Soukup, J. (1996): Problematik von winterraps (*Brassica napus* L.) als Unkrautpflanze und einige Möglichkeiten ihrer Lösung. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XV: 291-293.
- Lutman P.J.W. (1993): The occurrence and persistence of volunteer oilseed rape. Aspects of Applied Biology 35: 29-36.
- Momoh E., Zhou W. & Kristiansson B. (2002): Variation in the development of secondary dormancy in oilseed rape genotypes under conditions of stress. Weed Research 42: 446-455.
- Pekrun C. & Lutman P. (1998): The influence of post-harvest cultivation on the persistence of volunteer oilseed rape. Aspects of Applied Biology 51: 113-118.
- Pekrun, C. (2003): Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Überdauerung von Samen und andere pflanzenbauliche Parameter unter besonderer Berücksichtigung der Populationsdynamik von ausfallraps. Cuviller Verlag, Göttingen, 161 S.
- Pekrun, C., Hewitt, J.D.J. & Lutman, P.J.W. (1998): Cultural control of volunteer oilseed rape (*Brassica napus*). Journal of Agricultural Science 130: 155-163.
- Price J., Hobson R., Neale M. & Bruce D. (1996): Seed loss in commercial harvesting of oilseed rape. Journal of Agricultural Engineering Research 65: 183-191.
- Sauermann, W. (1993): Einflüsse auf den Glucosinolatgehalt. – Ergebnisse zweijähriger Untersuchungen aus den Landessortenversuchen. Raps 11: 82-86.
- Schlink S. (1998): 10 years survival of rape seed (*Brassica napus* L.) in soil. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVI, 169-172.

Weitere Veröffentlichungen aus dem Teilprojekt:

- Beismann H. (2002): Temporal and spatial distribution of pollen from transgenic maize and oilseed rape fields. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie Band 32: 423.
- Beismann H. (2003): Morphological variation between *Capsella bursa-pastoris* (L.) Med. plants from differently managed oilseed rape fields. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Band 33: 268.
- Beismann H. (2004): Diversity of shepherd's purse populations from oilseed rape fields. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XIX: 41-48.

- Beismann H., Albrecht H. & Pfadenhauer J. (2000): Persistenz und Ausbreitung gentechnisch veränderter Kulturpflanzen und potentiell kreuzungskompatibler Wildpflanzen. Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung. Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie 12 (5): 257.
- Beismann H. & Kuhlmann M. (2005): Raumrepräsentativität technischer Pollensammler für ein Langzeitmonitoring von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP). BfN-Skriptenreihe, Schlussbericht des Projektes Az. 76a-8793-2001/12 und BfN-FKZ: 202 67 430 / 33.
- Beismann H., Kuhlmann M. & Pfadenhauer J. (2003): Methodenentwicklung für ein Monitoring transgener Pollen. In: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): Monitoring der Umweltwirkung gentechnischer Organismen – Statusseminar zu den bayerischen Projekten, Augsburg 13.02.2003: 11-13.
- Beismann H., Neuffer B. & Grupe R. (2004): Morphological and genetic diversity of *Capsella bursa-pastoris* populations from fields and ruderal sites. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie 34: 240.
- Beismann H., Roller A. & Pfadenhauer J. (2003): Erfassung möglicher Umweltauswirkungen durch den Anbau von transgenem Raps. In: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): Monitoring der Umweltwirkung gentechnisch veränderter Organismen – Statusseminar zu den bayerischen Projekten, Augsburg 13.02.2003: 29-32.
- Beismann H., Roller A. & Zeitler R. (2003): Assessing the number of transgenic oilseed rape seeds in the soil seedbank of former release sites. Aspects of Applied Biology 69: 209-216.
- Beismann H., Roller A. & Zeitler R. (2004). Assessing the number of transgenic oilseed rape seeds in the soil with quantitative PCR. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XIX: 879-886.
- Kuhlmann, M. & Beismann, H. (2005): Untersuchungen zur Ausbreitung von Raps- und Maispollen auf Landschaftsebene für ein Langzeitmonitoring gentechnisch veränderter Pflanzen (GVP). In: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): Monitoring der Umweltwirkung von gentechnisch veränderten Organismen – Statusseminar zu den bayerischen Projekten, Augsburg 21.11.2005.
- Roller, A. (2005): Persistenz und Auflauf von gentechnisch veränderten und konventionellen Rapsorten sowie ertragsrelevanter Wildpflanzen unter dem Einfluss der Bodenbearbeitung. Diss. TU München-Weihenstephan. 132 S.
- Roller A., Beismann H. & Albrecht H. (2001): Monitoring of the persistence of GM oilseed rape seeds in field trials. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie 31: 250.
- Roller A., Beismann H. & Albrecht H. (2002): Persistence of genetically modified, herbicide-tolerant oilseed rape - first observations under practically relevant conditions in South Germany. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVIII, 255-260.
- Roller A., Beismann H. & Albrecht H. (2003): The influence of soil cultivation on the seedbank of GM-herbicide tolerant and conventional oilseed rape. Aspects of Applied Biology 69: 131-135.
- Roller, A., Beismann, H., Albrecht, H. (2004): Persistence of genetically modified, herbicide-tolerant oilseed rape in soils of former release sites in South Germany. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. Sonderheft XIX: 847-852.

Effekte von Bt-Mais auf Nichtzielorganismen

Dr. Andreas Lang, Michael Arndt, Dr. Johannes Bauchhenß, Dr. Robert Beck, **Bayer. Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising**

Im Rahmen des vom Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) geförderten Forschungsprogramms „Begleitforschung und Überwachung in Verkehr gebrachter gentechnisch veränderter Organismen“ hat die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) das Teilprojekt „Monitoring der Umweltwirkungen des Bt-Gens“ übernommen.

Während vierjähriger Feld- und Laborversuche (2000-2003) wurde untersucht, ob durch den Anbau von Bt-Mais, der durch ein insektizidwirksames Protein (Cry1Ab) aus dem Bakterium *Bacillus thuringiensis* vor einem Befall durch den Maiszünsler geschützt ist, Auswirkungen auf Nichtzielorganismen gegeben sind. Neben der Erforschung eventueller Effekte auf ausgewählte Insektengruppen im Maisbestand und am Maisfeldrand wurden zusätzlich bodenmikrobiologische Parameter und Gruppen der Bodenfauna berücksichtigt, da über Ernterückstände und Wurzelauausscheidungen Bt-Toxine auch in den Boden gelangen.

Die Untersuchungen erfolgten auf fünf staatlichen Versuchsgütern (Grub, Puch, Baumannshof, Neuhof, Schwarzenau) auf stationären Versuchspartellen durch einen vergleichenden Anbau von Bt-Mais (Bt-176 'Navares' und MON810 'Novelis') und den konventionellen isogenen Sorten ('Antares' und 'Nobilis'). Der Umfang des Bt-Maises im Daueranbau betrug je Standort 0,6 ha. Um mögliche Umweltwirkungen von Bt-Mais mit praxisüblichen Spritzmaßnahmen vergleichen zu können, wurde jeweils eine Hälfte dieser Versuchsanlage mit einem Insektizid (Baythroid) zur Maiszünslerbekämpfung behandelt. Zusätzlich standen für Untersuchungen jährlich weitere Bt-Maisflächen mit ca. 2 ha auf wechselnden Schlägen der Staatsbetriebe und Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) in Praxisbetrieben zur Verfügung.

Zusammenfassend ergaben sich aus dem sehr umfangreichen Datenmaterial folgende Ergebnisse:

Die untersuchten Parameter zur Bodenmikrobiologie (mikrobielle Biomasse, Enzymaktivität) zeigten bei Bt-Mais keine Veränderungen gegenüber dem konventionellen Maisanbau.

Für die Indikatororganismen der bodenzoologischen Untersuchungen (Regenwürmer, Springschwänze, Nematoden) waren keine signifikanten Einflüsse von Bt-Mais nachzuweisen.

Bei vielen der im Bt-Mais und den Kontrollflächen erfassten Nicht-Zielorganismen ergaben sich keine oder nur geringe Effekte von Bt-Mais. Allerdings zeigten die wichtigen Nützlingsgruppen Spinnen, räuberische Wanzen und adulte Fliegen in manchen Jahren eine signifikante Reduktion in Bt-Maisbeständen. Bei Insektizidanwendung war bei den meisten Tiergruppen eine deutlich reduzierte Populationsdichte feststellbar.

Fütterungsversuche im Labor mit Pollen von Bt-Mais (Bt176) und Schmetterlingsraupen zeigten deutlich negative Effekte auf die Raupen des Schwalbenschwanzes (*Papilio machaon*).

Abschließend ist festzustellen, dass bei den meisten aufgenommenen Parametern keine Unterschiede zwischen Bt-Maisanbau und konventionellem Maisanbau gefunden wurden. Aufgrund der festgestellten Bt-Mais-Effekte auf wichtige Nützlingsgruppen sowie auf Schmetterlingslarven wird jedoch eine Langzeituntersuchung und eine umfassende Risikoanalyse vor einem großflächigen Bt-Maisanbau angeraten.

Im Hinblick auf eine gute fachliche Praxis im Pflanzenschutz, nach der Pflanzenschutzmaßnahmen nur gezielt, d. h. orientiert am Schaderregerauftreten durchzuführen sind, sollte Bt-Mais als „Versicherungsmaßnahme“ allerdings nur für bekannte Befallslagen in Betracht kommen. Mit Bt-Sorten wird praktisch vorbeugend über die gesamte Vegetationsperiode ein Insektizid angewandt, wodurch nicht zuletzt eine Selektion resistenzbrechender Zünsler gefördert werden kann.

Sicherheitsforschung bei transgenen Reben: Physiologischer Nachweis und Verbleib der Transgene

Angelika Schartl^{1,2}, Stefan Leopold^{1,2}, Katharina Bienert¹, Margit Laimer da Camara Machado²

¹ Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Würzburg,

² Universität für Bodenkultur, Wien

Die Umweltwirkungen transgener Gehölzpflanzen sind aufgrund der langen Standzeit nicht vergleichbar mit denen von einjährigen Kulturen. So beträgt bei Reben die durchschnittliche Kultivierung in einem Weinberg ca. 25 Jahre. Ziel des Forschungsprojektes war es, bestimmte Einflüsse der im Freisetzungsversuch an der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau 1999 und 2000 ausgepflanzten transgenen Rieslingreben auf die Umwelt zu untersuchen und geeignete Methoden für ein Monitoring transgener Reben zu entwickeln. Das übertragene Konstrukt enthielt neben den Nutzgenen Chitinase und Ribosomen-inhibierendes-Protein aus der Gerste, die eine Pilzresistenz vermitteln sollen, ein Kanamycinresistenzgen als Selektionsmarker.

Da es nicht möglich war anhand herkömmlicher molekularbiologischer Verfahren wie PCR oder Southern Blots die übertragenen Gene in den Pflanzen der Freisetzungsfäche zu detektieren, wurde nach Möglichkeiten gesucht, die übertragenen Eigenschaften in einem Bioassay zu überprüfen. Hierzu erschien die Antibiotikaresistenz am besten geeignet. Dabei zeigte sich, dass die Bewurzelung von Holzstecklingen sowie das Austreiben von grünen Blättern in kanamycinhaltigem Wasser nur möglich ist, wenn die Ausgangspflanzen das Kanamycinresistenzgen besitzen. Ebenso ist das Keimen und die Entwicklung von grünen Sämlingen auf kanamycinhaltigem Agar aus Kernen an das Vorhandensein des Resistenzgens gebunden. Die entwickelten Verfahren sind einfach durchzuführen und ein geeignetes Bioassay, um die Anwesenheit einer Kanamycinresistenz zu testen. Durch die Keimversuche mit Kernen ist es darüber hinaus möglich, die Vererbung der übertragenen Eigenschaften an die Nachkommen zu testen. Durch den Anbaustop von Pflanzen mit Antibiotikaresistenzgenen wird dieses Bioassay allerdings nur für Laborzwecke einsetzbar sein.

Eine weitere Fragestellung des Forschungsvorhabens war, ob Gene, die eine Pilzwiderstandsfähigkeit vermitteln, den Vorgang der Kompostierung beeinträchtigen. Um dies unter Laborbedingungen im kleinen Maßstab untersuchen zu können, wurde eine geeignete Kompostierungsmethode entwickelt. Da in den Pflanzen der Freisetzungsfäche keine transgenen Sequenzen nachgewiesen werden konnten, wurde mit transgenen virusresistenten Rebepflanzen eine Kompostierung durchgeführt. Hierbei zeigte sich, dass für diese Pflanzen in der Kompostierungsgeschwindigkeit kein Unterschied zu nicht transgenen Pflanzen bestand. Während des Kompostierungsvorganges fand eine schnelle Degradierung der Reben-DNA statt. Das entwickelte Verfahren ist sehr gut dazu geeignet, im Labor kleine Mengen von Pflanzenmaterial zu kompostieren.

Untersuchungen zu Pollenflug und Auskreuzung mit gentechnisch veränderten Weinreben

Dr. Margit Harst, BAZ-Institut für Rebenzüchtung

In den vergangenen Jahren wurden weltweit zahlreiche Freilandversuche mit transgenen Reben unternommen, um wissenschaftliche und anwendungsorientierte Fragen wie beispielsweise eine Resistenz gegen Schaderreger oder aber Aspekte der Sicherheitsforschung zu untersuchen. Der erste Freisetzungsversuch mit transgenen Weinreben wurde in Deutschland 1999 mit (a) dem Ziel der Überprüfung von eingebrachten Fremdgenen für eine Verbesserung der Pilzwiderstandsfähigkeit anfälliger Rebsorten und (b) zur Beantwortung von Fragen im Rahmen der Sicherheitsbegleitforschung angelegt. Nachdem zu (a) keine Unterschiede zu nicht-transgenen Reben festgestellt werden konnte, wurde im Januar 2005 die Anlage entsprechend der üblichen Weinbaupraxis gerodet. Teil (b) des Versuches diente der Untersuchung von Pollenflug und Auskreuzung mit Modellgenen, um vor dem Hintergrund eines künftig denkbaren Anbaus von GV-Reben zuverlässige Daten für das Ausmaß der Auskreuzung zu erhalten.

Unsere heutigen zwittrigen Kulturreben, die auf zweihäusige, vorwiegend windbestäubende Wildreben zurückgehen, sind Selbstbefruchter, von denen aber bislang weltweit keine quantitativen Daten zu Pollenflug und Auskreuzung vorliegen. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens, das durch das BMVEL und die Stiftung Rheinland-Pfalz für Innovation gefördert wurde, sollte das Ausmaß der Pollenverbreitung bei Reben und der Auskreuzung durch den Nachweis transgener Pollen bzw. Samen in Empfängerpflanzen bestimmt werden. Dazu wurde ein Nachweisverfahren auf der Basis von GV-Reben verwendet, deren Pollen und Samen blau angefärbt werden können. Die Ausbreitung von Pollen transgener Freilandreben wurde mit Hilfe von Reben der Sorte Dornfelder, die das über Blaufärbung nachweisbare b-Glucuronidase-(GUS)-Gen enthalten, untersucht. Radial wurden um 36 Dornfelder-GUS-Pflanzen (Spenderpflanzen) Pollenfallen in unterschiedlichen Abständen (5 – 150 m) und in zwei Höhen angebracht, um die Pollenausbreitung umfassend ermitteln zu können. Die Fallen wurden täglich gewechselt und Pollen anschließend angefärbt: Zuerst wurde der GUS-Test zur Unterscheidung transgener von nicht transgenen Pollen und dann eine Kontrastfärbung zur Unterscheidung der einzelnen Pollentypen durchgeführt. Anschließend wurden die Dauerpräparate mikroskopisch ausgewertet. Eine Ausbreitung transgener Pollen wurde bis zu einer Entfernung von 100 m zu den Pollenspenderpflanzen festgestellt. Innerhalb der untersuchten Radien bis 50 m lag die Menge an transgenen Pollen durchschnittlich bei etwa 1 %.

Parallel dazu wurde die Auskreuzung am Beispiel transgener Reben untersucht. Die Samen der auf den Radien 5 m und 10 m sowie sektoral in 20 m Distanz zu den Pollenspenderpflanzen stehenden Empfängerpflanzen wurden geerntet und anschließend zur Keimung gebracht. Unter den Sämlingen wurden diejenigen als Ergebnis einer Auskreuzung identifiziert, die sich nach einer Farbreaktion (GUS-Test) blau färbten. Die Auswertung von nahezu 200.000 Sämlingen über insgesamt drei Versuchsjahre zeigte, dass Auskreuzung auftritt, dies jedoch nur in einem sehr geringen Umfang von durchschnittlich 2 – 3 % innerhalb der gemessenen Distanzen.

Der Freilandversuch mit GV-Reben beinhaltet ein für den Weinbau international einmaliges Modellsystem zur Erfassung der bislang nicht vorliegenden Daten zu Pollenflug und Auskreuzung. Nach diesen Daten ist eine Koexistenz von GV-Reben mit traditionellen und ökologischen Anbausystemen prinzipiell möglich. Die Frage eventuell notwendiger Abstände bleiben weiteren Untersuchungen unter Praxisbedingungen vorbehalten.

Tagungsleitung / Referenten

Prof. Dr.-Ing. Albert Göttle
Präsident
Bayer. Landesamt für Umwelt
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg

Tel.: (0821) 90 71 – 50 01
Fax: (0821) 90 71 – 50 09
E-Mail: albert.goettle@lfu.bayern.de

Dr. Ludwig Peichl
Bayer. Landesamt für Umwelt
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg

Tel.: (0821) 90 71 – 52 90
Fax: (0821) 90 71 – 50 09
E-Mail: ludwig.peichl@lfu.bayern.de

Dr. Dieter Heublein
Bayer. Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit
und Verbraucherschutz
Rosenkavalierplatz 2
81925 München

Tel.: (089) 92 14 – 33 06
Fax: (089) 92 14 – 24 51
E-Mail: dieter.heublein@stmugv.bayern.de

Prof. Dr. Jörg Pfadenhauer
Technische Universität München
Lehrstuhl für Vegetationsökologie
Am Hochnager 6
85350 Freising-Weißenstephan

Tel.: (08161) 71 – 41 44
Fax: (08161) 71 – 41 43
E-Mail: chtork@wzw.tum.de

Prof. Dr. Gerhard Wenzel
Technische Universität München
Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung
Am Hochanger 2
85350 Freising-Weißenstephan

Tel.: (08161) 71 – 34 22
Fax: (08161) 71 – 45 11
E-Mail: gwenzel@wzw.tum.de

Dr. Harald Albrecht
Technische Universität München
Lehrstuhl für Vegetationsökologie
Am Hochanger 6
85350 Freising-Weißenstephan

Tel.: (08161) 71 – 37 17
Fax: (08161) 71 – 41 43
E-Mail: albrecht@wzw.tum.de

Dr. Annette Block
Technische Universität München
Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung
Am Hochanger 2
85350 Freising-Weißenstephan

Tel.: (08161) 71 – 31 83
Fax: (08161) 71 – 51 73
E-Mail: annette.block@wzw.tum.de

Tristan Funk
Technische Universität München
Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung
Am Hochanger 2
85350 Freising-Weißenstephan

Tel.: (08161) 71 – 34 22
Fax: (08161) 71 – 45 11
E-Mail: bork@wzw.tum.de

Dr. Margit Harst
BAZ-Institut für Rebenzüchtung
Geilweilerhof
76833 Siebeldingen / Pfalz

Tel.: (06345) 4 11 25
Fax: (06345) 91 90 50
E-Mail: m.harst@bafz.de

Martin Kuhlmann
Technische Universität München
Lehrstuhl für Vegetationsökologie
Am Hochanger 6
85350 Freising-Weihenstephan

Tel.: (08161) 71 – 50 90
Fax: (08161) 71 – 41 43
E-Mail: kuhlmann@wzw.tum.de

Dr. Andreas Lang
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Institut für Pflanzenschutz
Lange Point 10
85354 Freising

Tel.: (08161) 71 – 57 22
Fax: (08161) 71 – 57 53
E-Mail: andreas.lang@lfl.bayern.de

Dr. Angelika Scharl
Bayerische Landesanstalt für Weinbau und
Gartenbau
An der Steige 15
97209 Veitshöchheim

Tel.: (0931) 98 01 – 3 70
Fax: (0931) 98 01 – 1 00
E-Mail: angelika.scharl@lwg.bayern.de