

Bernd Hommel

Rückblick auf die mehrjährigen Feldversuche in Dahnsdorf (Land Brandenburg) zur Bewertung gentechnisch veränderter Kulturpflanzen für die Ziele des integrierten Pflanzenschutzes und der Koexistenz

Review of the field experiments in Dahnsdorf (German state Brandenburg) aiming at evaluation of genetically modified crops for the goals of integrated plant protection and for coexistence

341

Zusammenfassung

Der Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen erreichte 2009 weltweit über 130 Millionen ha. In Deutschland, wo seit 2008 kein Anbau mehr stattfindet, wird über die Vor- und Nachteile dieser Sorten heftig gestritten. Das Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (JKI) trägt von Beginn an mit wissenschaftlichen Untersuchungen und Stellungnahmen zur Versachlichung dieser Diskussion bei. Auf dem Versuchsfeld des JKI in Dahnsdorf, Land Brandenburg, fanden von 1996 bis 2009 Versuche mit gentechnisch verändertem Winterraps, Mais und Kartoffeln sowie Versuche zur Koexistenz von Mais statt. Im Mittelpunkt standen dabei die Herbizidresistenz für Glufosinat bei Winterraps und Mais sowie die Fruktanbildung bei Kartoffeln. Die gentechnisch veränderten Sorten und Linien erfüllten im Vergleich mit den konventionellen Vergleichssorten alle relevanten Anforderungen für die biologische Sicherheit. Die Auskreuzung bei Raps und Mais in benachbarte konventionelle Bestände findet statt, kann aber über Isolationsabstände und ackerbauliche Maßnahmen während der Ernte niedrig gehalten werden. Die beobachteten ackerbaulichen Vor- und Nachteile beim Anbau von glufosinatreisistenten Kulturpflanzen müssen gut bedacht werden, um integrierte Pflanzenschutz- und Bodenbearbeitungssysteme nachhaltig gestalten zu können. Die gentechnische Modifikation der Fruktankartoffel führte

zu unerwarteten Veränderungen bei weiteren Merkmalen wie der Länge des Haupttriebes oder der Anfälligkeit für Schadorganismen. Für den Anbau der Fruktankartoffel sollten sich daraus allerdings keine höheren Intensitäten für den Pflanzenschutz ergeben. Der Beitrag stellt in einer Rückschau die wichtigsten Ergebnisse der Versuche in Dahnsdorf dar und berücksichtigt dabei neue Erfahrungen aus dem Anbau und der biologischen Sicherheitsforschung.

Stichwörter: Raps, Mais, Kartoffeln, gentechnisch veränderte Pflanzen, GVO, Pflanzenschutz, Leistungsfähigkeit, Glufosinat, Herbizidresistenz, Fruktan, integrierter Pflanzenschutz

Abstract

Worldwide cultivation of genetically modified crops has reached more than 130 million ha in 2009. In Germany, where the cultivation has been stopped since 2008, the risks and benefits of these cultivars are intensely discussed. From the beginning the Julius Kühn-Institut (JKI) has contributed objectively with scientific investigations and statements to the context of this discussion. From 1996 to 2009, field experiments with genetically modified winter oilseed rape, maize and potatoes and experiments on the coexistence of maize were conducted at the

Institut

Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung im Pflanzenschutz, Kleinmachnow

Kontaktanschrift

Dr. Bernd Hommel, Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung im Pflanzenschutz, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow, Germany, E-Mail: bernd.hommel@jki.bund.de

Zur Veröffentlichung angenommen

März 2010

experimental field station of the JKI in Dahnsdorf, German state Brandenburg. The traits used were herbicide resistance to glufosinate in oilseed rape and maize, and fructan synthesizing in potatoes. In comparison with the conventionally bred counterparts the genetically modified cultivars and lines met all relevant biosafety requirements. Out-crossing of transgenic oilseed rape and maize into conventional cultivars were observed, but can be kept low by isolation distances or agronomic measures during harvest. The distinct observed agronomic advantages and disadvantages of glufosinate resistant crops have to be considered cautiously in order to design sustainably integrated plant protection and soil management systems. The genetic modification of the fructan potato led unexpectedly to further changes such as the length of the main shoot and susceptibility for pests and diseases. However, these side effects are not expected to cause higher intensities in plant protection or increased risks for the environment. The review summarizes main results of the long term experiments in Dahnsdorf, and considers new results of growing genetically modified crops and biosafety research.

Key words: Oilseed rape, maize, potato, genetically modified crops, GMO, plant protection, performance, glufosinate, herbicide resistance, fructan, integrated plant protection

Einleitung

Mais, Raps und Kartoffeln gehören zu den profitabelsten Kulturpflanzen, die weltweit als Nahrungs- und Futterpflanzen sowie zunehmend als nachwachsende Rohstoffe angebaut werden. Deshalb werden sie auch in der Züchtung intensiv gentechnisch bearbeitet. Der seit 1996 steigende Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen hat sich weltweit – außer in Europa – fortgesetzt (JAMES, 2009). Im Jahr 2009 wurden in über 25 Ländern auf 134 Millionen Hektar gentechnisch veränderte Sorten vor allem bei Soja, Baumwolle, Mais und Raps angebaut. Bei der Anzahl zugelassener transgener Linien (*events*) liegt der Mais mit 49 vor Baumwolle (29), Raps (15), Kartoffel (10) und Sojabohne (9). BROOKES und BARFOOT (2009) haben den Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen von 1996 bis 2007 analysiert und unter anderem hervorgehoben, dass dadurch Produktionshemmnisse für viele Landwirte überwunden wurden, die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln zurückging und das Einkommen der Landwirte anstieg. BENBROOK (2009) zeichnet hingegen ein differenziertes und vor allem kritisches Bild für die USA. Der Verbrauch an Pflanzenschutzmitteln soll seit 1996 durch den Anbau herbizidresistenter Kulturpflanzen für Herbizide stark angestiegen sein, wohingegen durch den Anbau insektenresistenter Kulturpflanzen die Insektizidanwendungen verringert werden konnten, ohne allerdings den Anstieg bei den Herbiziden auch nur annähernd kompensieren zu können. Ein wichtiger Grund für den Anstieg bei den Herbiziden soll die

Zunahme resistenter Unkräuter verbunden mit deutlich höheren Aufwandmengen (für Glyphosat) sein.

Obwohl in Deutschland seit 2008 der Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen ruht und die Anzahl der Freisetzungsrückläufig ist, betonen führende wissenschaftliche Institutionen, wie die Deutsche Forschungsgemeinschaft, das große Potential der biotechnologischen Pflanzenzüchtung für die nachhaltige Entwicklung in der Landwirtschaft. Mit gentechnisch veränderten Pflanzen speziell verbundene Risiken, wie die unkontrollierte Ausbreitung dieser Pflanzen oder die natürliche Übertragung der neu eingeführten Gene auf andere Organismen im Lebensraum, sind mit entsprechenden Maßnahmen und Sicherheitsstandards beherrschbar: „Die Furcht vor unabsehbaren Folgen gentechnischer Veränderungen an Pflanzen hat sich als überzogen erwiesen“ (DFG, 2010).

Für die Reduzierung sowohl der Risiken und der Auswirkungen, die von der Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel ausgehen, als auch der Abhängigkeit des Pflanzenschutzes von chemischen Pflanzenschutzmitteln kommen den Sortenmerkmalen im Rahmen der vorbeugenden Maßnahmen Bedeutung zu. Neue Sorten – unabhängig davon, ob klassisch oder gentechnisch gezüchtet – sollten vor allem resistent oder nur wenig anfällig für wichtige Schadorganismen sein; zumindest sollten sie aber die übliche Intensität der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Kultur und die damit verbundenen Risiken nicht weiter verstärken. Im Nationalen Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln Deutschlands wird die Resistenzforschung und Praxiseinführung resistenter Sorten als wichtige Maßnahme herausgestellt (BMELV, 2008). Ausführliche Informationen zum Nationalen Aktionsplan sind zu finden unter: <http://nap.jki.bund.de>.

Das Versuchskonzept und der Beginn der Freilandversuche mit transgenen Pflanzen in Dahnsdorf im Jahr 1996 standen noch unter dem Eindruck, dass auch für Deutschland der großflächige Anbau gentechnisch veränderter Kulturpflanzen nicht auf sich warten lassen wird. Daher wurden praktische Fragestellungen zur relativen Vorzüglichkeit der neuen Systeme aus der Sicht des integrierten Pflanzenschutzes vorrangig berücksichtigt. Durch die Forcierung der vor allem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) getragenen biologischen Sicherheitsforschung bei gentechnisch veränderten Pflanzen wurden die Versuche in Dahnsdorf ab 1998 zunehmend auch Grundlage für Untersuchungen zur biologischen Sicherheit durch Arbeitsgruppen innerhalb und außerhalb des Julius Kühn-Instituts (JKI; ehemals Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, BBA). Aufgabe der anwendungsorientierten Untersuchungen war es herauszufinden, ob die gentechnisch veränderten Pflanzen (Mais, Raps) und die mit dem neuen Merkmal (Herbizidresistenz) möglichen Pflanzenschutzstrategien die Ziele des integrierten Pflanzenschutzes befördern und die Koexistenz mit konventionellen Landwirtschaftsbetrieben ermöglichen. Dazu gehören vor allem eine Reduzierung der Abhängigkeit von chemischen Pflanzenschutzmitteln und geringe Aus-

wirkungen der Sorten selbst oder der mit ihnen verbundenen Strategien auf den Naturhaushalt.

Die gentechnisch veränderte Fruktankartoffel war 2001 noch am Anfang ihrer Entwicklung. Heute spielt sie allerdings keine Rolle mehr. Die Fruktankartoffel sollte daher als Modell für Modifikationen im Kohlenhydratstoffwechsel verstanden werden. Die Untersuchungen waren auf die relative Performance der gentechnisch veränderten Linien im Vergleich mit der Ausgangssorte 'Désirée' und weiteren konventionellen Sorten ausgerichtet.

Nachfolgend werden die von 1996 bis 2009 auf dem Versuchsfeld des JKI in Dahnsdorf zusammengetragenen und in vielen Fällen schon veröffentlichten Ergebnisse und Schlussfolgerungen komprimiert dargestellt und unter Beachtung neuer Entwicklungen diskutiert. Die langjährigen Untersuchungen in Dahnsdorf mit Raps, Mais und Kartoffeln waren eingebunden in die Förderung der biologischen Sicherheitsforschung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Ausführliche Informationen zu allen in Dahnsdorf durchgeführten Projekten mit gentechnisch veränderten Pflanzen sind zu finden unter: www.biosicherheit.de.

Material und Methoden

Auf dem Versuchsfeld des Julius Kühn-Instituts (JKI) in Dahnsdorf, Land Brandenburg, wurden von 1996 bis 2004 in einer randomisierten Blockanlage mit vier Wiederholungen und der Fruchtfolge Raps-Winterroggen-Mais-Winterweizen drei Herbizidstrategien in gentechnisch verändertem und konventionellem Raps und Mais geprüft (Abb. 1). Die Freisetzungen des gentechnisch veränderten Winterrapses (Sorte 'Falcon', ab 1999 'Avalon') basierten auf dem Genehmigungsbescheid 6786-01-51 vom 13.08.1996 und erreichten jährlich einen Umfang von 960 m² mit etwa 40 Pflanzen pro m². Parallel zum Anbau des transgenen Rapses wurde auf etwa 500 m² konventioneller Raps der isogenen Sorte ('Falcon', ab 1999 'Artus') angebaut. Das Saatgut des transgenen Rapses der Ausgangslinie GS40/90 mit Resistenz gegenüber dem herbiziden Wirkstoff Glufosinat (Phosphinothricin) wurde von den Firmen AGREVO (heute Bayer Crop Science) und später der Norddeutschen Pflanzenzucht Hans-Georg Lembke KG (NPZ) zur Verfügung gestellt.

Mehrjährige begleitende Untersuchungen bei Raps betrafen das Vorkommen von Bienen und Wildbienen während der Blüte der Rapsbestände, die Auskreuzung der gentechnisch veränderten Pflanzen in den konventionellen Raps der benachbarten Versuchspartellen und der Mantelsaat sowie in die verwandten Arten Sarepta oder Braunsenf (*Brassica juncea*), Schwarzer Senf (*Brassica nigra*) und Hederich (*Raphanus raphanistrum*). Die Versuchsanordnung und Methoden wurden von SAURE et al. (2003) umfassend dargestellt.

Eine 7,5 m breite Rapsmantelsaat umgab die Freisetzungsfäche vollständig (etwa 4000 m²), wobei der

Abstand zur Freisetzungsfäche in Abhängigkeit von der Fruchtfolge zwischen 15 m bei innerer, etwa 23 m bei mittlerer und etwa 31 m bei äußerer Lage betrug. Das Flächenverhältnis von gentechnisch verändertem zu konventionellem Raps erreichte damit etwa 1:5. In den Jahren 1998, 1999, 2001 und 2004 wurden für spätere Untersuchungen zur Auskreuzung der Herbizidresistenz aus den Erntepartien Proben entnommen.

Der gentechnisch veränderte Mais der Ausgangslinie T25 war ebenfalls gekennzeichnet durch Resistenz für den herbiziden Wirkstoff Glufosinat (Phosphinothricin). Der T25-Mais wurde 1997 und 1998 auf der Grundlage des Genehmigungsbescheids 6786-01-62 vom 28.04.1997 freigesetzt und ab 1999 auf der Grundlage der 1998 erteilten Genehmigung zum Inverkehrbringen (98/293/EC vom 22.04.1998) angebaut. Die angebauten Sorten waren von 1997 bis 1999 'Anjou 285 LL' und von 2000 bis 2004 'Chardon LL'.

Für Untersuchungen zur Koexistenz beim Anbau von gentechnisch verändertem Mais wurden auf dem Versuchsfeld in Dahnsdorf in den Jahren 2005 bis 2009 auf etwa 2,5 ha zwei konventionelle Maissorten mit unterschiedlicher Körnerfarbe angebaut (Abb. 2). Die gelbkörnige Maissorte 'Delitop' diente als Pollenspender (Donor) und eine wenig durchgezüchtete weißkörnige Sorte als Pollenempfänger (Rezipient). Die Auswertung umfasste das Zählen der gelben Körner aus einer repräsentativen Anzahl von Kolben des Weißmaises. Die Versuche waren Teil des Forschungsprogrammes Koexistenz des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV). Das aufwendige Programm berücksichtigt neben den Farbmaisvarianten auch gentechnisch veränderten Mais (BT-Mais) und wird an mehreren Standorten in Deutschland durchgeführt. Das Programm wird vom Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde in Braunschweig koordiniert (LANGHOF et al., 2008).

Die gentechnisch im Kohlenhydratmetabolismus veränderten Kartoffeln (Fruktankartoffel) wurden am Max-Planck-Institut für Molekulare Pflanzenphysiologie in Potsdam auf der Grundlage der Sorte 'Désirée' entwickelt und der genetische Hintergrund und die Eigenschaften umfassend von HELLWEGE et al. (2000) beschrieben. Die Bildung von Fruktan des Inulintyps in der Kartoffel geht auf zwei Gene aus der Artischocke (*Cynara scolymus*) zurück. Die Freisetzungen von 2000 bis 2005 umfassten maximal sechs Linien, davon waren drei Linien (Einfachtransformanten) mit dem Gen *sst* für das Enzym 1-SST (*Saccharose-Saccharose-Fruktosyltransferase*) und weitere drei Linien (Doppeltransformanten) mit den Genen *sst* und *fft*, für das Enzym 1-FFT (*Fruktan:Fruktan-Fruktosyltransferase*), ausgestattet. Die für die drei Doppeltransformanten SST/FFT#22/19, SST/FFT#22/30 und SST/FFT#22/34 verwendete Einfachtransformante stand allerdings für die Untersuchungen nicht zur Verfügung. Nur die drei Doppeltransformanten sind in der Lage Fruktan zu produzieren, während die Einfachtransformanten lediglich die dafür notwendigen Vorstufen liefern. Die sechs transgenen Linien wurden durch das



Abb. 1. Blockanlage mit gentechnisch veränderten Winterraps und Mais in Fruchtfolge mit Winterweizen und Winterroggen, umgeben von einer 7,5 m breiten Mantelsaat (Abstand zu den Rapsproduktionsflächen > 200 m; Aufnahme JKI/H. BAIER, Mai 2003).



Abb. 2. Versuchsdesign für die Untersuchungen zur Koexistenz von Mais: Innen der Block mit dem Gelbmais als Pollenspender umgeben vom Weißmais als Pollenempfänger. Beide Anlagen unterscheiden sich durch eine Gerstenstoppel (unten) bzw. ein Klee-Grasgemisch zwischen Gelb- und Weißmais (Aufnahme JKI/H. BAIER, August 2007).

JKI auf der Grundlage der Genehmigungsbescheide 6786-01-122 vom 03.05.2000 und 6786-01-136 vom 03.05.2002 freigesetzt. Der Flächenumfang betrug etwa 700 m² im Jahr. Pro m² kamen 4 Knollen zur Ablage. Pflanzgut der transgenen Linien und der isogenen Ausgangssorte 'Désirée' wurden am MPI für Molekulare Pflanzenphysiologie in Potsdam über die Gewebekultur (*tissue culture*, TC) im Gewächshaus produziert. Für den Vergleich dieser Linien und der isogenen Sorte wurden Pflanzknollen der mittelfrühen Sorten 'Désirée', 'Granola', 'Agria', 'Linda' und 'Solara' über den Handel bezogen. Das Prüfsortiment umfasste somit 12 Linien und Sorten. Die dargestellten statistischen Signifikanzen basieren auf dem Vergleich der transgenen Linien mit ihrer isogenen Sorte 'Désirée' aus der Gewebekultur (TC).

Im Jahr 2002 wurden sowohl der Raps- als auch der Kartoffelversuch von radikalen Gentechnikgegnern fast völlig zerstört, so dass im Kartoffelversuch der Vergleich von Freilanddaten nur auf zwei Versuchsjahren (2001 und 2003) basiert.

Ergebnisse und Diskussion

Herbizidstrategien in Raps und Mais

Der Vergleich von standortüblichen konventionellen Herbizidanwendungen in Winterraps und Mais mit den durch die Herbizidresistenz möglichen Strategien hat gezeigt, dass beide über Vor- und Nachteile verfügen. Wobei die beobachteten Ertragsunterschiede bei den einzelnen Fruchtfolgekulturen Winterraps, Mais, Winterweizen und Winterroggen statistisch nicht gesichert werden konnten (HOMMEL et al., 2006). Die Nachteile in den Varianten mit gentechnisch veränderten Sorten resultierten vor allem daraus, dass Raps und Mais mit der gleichen Resistenz für Glufosinat gemeinsam über 8 Jahre in einer 4-feldrigen Fruchtfolge standen. Im herbizidresistenten Raps konnte während der gesamten Versuchs-

dauer auf zusätzliche Herbizide zum Glufosinat verzichtet werden, während im Mais ab der zweiten Fruchtfolgerotation zur Kontrolle von glufosinatresistentem Durchwuchsrap in zwei von vier Jahren zusätzliche Herbizide notwendig waren. In beiden herbizidresistenten Kulturen konnten aber durch die Anwendung des Breitbandherbizids Glufosinat im 8-jährigen Mittel die Anzahl der Wirkstoffe, die Anzahl der Mittel und die Mittelmenge pro Hektar reduziert werden (Tab. 1). Diese Effekte waren im Mais stärker als im Raps ausgeprägt. Dennoch war ab der zweiten Fruchtfolgerotation im Mais aufgrund der fehlenden Residualwirkung von Glufosinat und des damit verbundenen zweiten Termins für eine Bekämpfung von Weißem Gänsefuß (*Chenopodium album*) und Knöterich-Arten (*Polygonum* spp.) sowie der Bekämpfung von Durchwuchsrap der Behandlungsindex (BI) angestiegen ($R^2 = 0,273$). Wesentlich für die Reduktion des Behandlungsindex bei Raps war der Verzicht auf eine Maßnahme gegen Getreidedurchwuchs, da Glufosinat ein breiteres Wirkungsspektrum hat und später eingesetzt werden konnte als die konventionellen Rapsherbizide (HOMMEL et al., 2006). FERNANDEZ-CORNEJO et al. (2009) haben für die USA die aktuelle Entwicklung bei der Anwendung von Herbiziden unter besonderer Berücksichtigung des Anbaus glyphosatresistenter Soja-, Baumwoll- und Maissorten bewertet. Von 1996 bis 2007 hat sich demnach die Anwendung von Glyphosat im Sojaanbau annähernd versechsfacht, im Maisanbau sogar versiebzehnfacht und im Baumwollanbau hat sich der Glyphosatverbrauch um die Hälfte erhöht. Über alle drei Kulturen ergibt sich damit eine Steigerung um 540% (von 11340 t im Jahr 1996 auf 61235 t im Jahr 2007). Auch in Deutschland hat die Zunahme der pfluglosen Bodenbearbeitung in den letzten 10 bis 15 Jahren zu einem Anstieg des Glyphosatabsatzes und damit der Herbizidanwendungen insgesamt geführt (BVL, unveröffentlicht). FERNANDEZ-CORNEJO et al. (2009) kommen zu dem Schluss, dass diese Dominanz von Glyphosat mög-

Tab. 1. Intensität der chemischen Unkrautbekämpfung (Mittelwert [MW] ± Standardabweichung [SD]) in der konventionellen (KON) und der intensivsten herbizidresistenten (HR) Variante von Winterraps und Mais (HOMMEL et al., 2006)

Kultur	Variante	Anzahl der Wirkstoffe		Anzahl der Mittel		Behandlungsindex	
		MW	SD	MW	SD	MW	SD
Mais	KON	2,4	0,52	1,4	0,52	0,9	0,16
	HR	1,3	0,46	1,3	0,46	1,2	0,33
Raps	KON	2,1	1,36	1,6	0,74	1,3	0,48
	HR	1,0	0,00	1,0	0,00	0,9	0,23

Tab. 2. Reduzierung des terrestrischen und aquatischen Risikos (Mittelwert von 1996 bis 2004) in den intensiven Herbizidresistenzvarianten bei Mais und Winterraps bezogen auf die konventionelle Herbizidstrategie (HOMMEL et al., 2006)

Kultur	akutes Risiko [%]				chronisch-biologisches Risiko [%]			
	Regenwurm	Daphnia	Fisch	Alge	Regenwurm	Daphnia	Fisch	Alge
Mais	73,6	97,0	99,5	100	97,0	98,9	99,8	100
Raps	35,6	97,3	98,8	100	87,0	98,1	99,3	100

licherweise positive Auswirkungen auf die Umwelt hatte, da ökologisch ungünstigere Herbizide durch das Glyphosat ersetzt werden konnten, aber sehr stark – wie auch BENBROOK (2009) und SANDERMANN (2006) feststellen – die Selektion resistenter Unkrautarten beschleunigt hat. Herbizidstrategien mit Wirkstoffwechsel als Schlüsselinstrument zur Resistenzvermeidung scheinen bisher weniger eine Rolle zu spielen. Kurzfristige Vorteilswirkungen werden zu Ungunsten nachhaltiger Strategien bevorzugt!

Die Substitution der konventionellen Herbizide, wie S-Metolachlor, Terbutylazine in Mais oder Metazachlor und Quinmerac in Raps, durch das ökotoxikologisch günstigere Glufosinat und die unterschiedlichen Termine für die Anwendung der Herbizide verringerten in beiden Kulturen die ökotoxikologischen Risiken für aquatische und terrestrische Organismen deutlich (Tab. 2). Die gegenüber den herkömmlich eingesetzten Herbiziden guten Eigenschaften des Glufosinat für aquatische Organismen kam durch eine besonders starke Minderung des Risikoindicators (Modell SYNOPS) zum Tragen. Eine weitere ökologische Vorteilswirkung resultierte aus der fehlenden Residualwirkung von Glufosinat gegenüber den Herbiziden in den konventionellen Varianten. Das erneute Auflaufen der Ackerbegleitflora nach der letzten Anwendung fand oft im bereits konkurrenzstarken Bestand statt und blieb dann ohne Effekt auf Höhe und Qualität der Erträge.

Die bevorzugte Anwendung des Herbizids Glufosinat veränderte ab der zweiten Fruchtfolgerotation die Abundanzen wichtiger Arten der Ackerbegleitflora; Wirkungen auf die Artenzusammensetzung wurden hingegen nicht beobachtet (HOMMEL und PALLUTT, 2003). Positiv für

die Biodiversität im Feld war die geringe Wirkung von Glufosinat gegen das konkurrenzschwache Ackerstiefmütterchen (*Viola arvensis*; Abb. 3). Problematisch dagegen zeigte sich in den herbizidresistenten Varianten als Folge von geringen Bekämpfungserfolgen und des Neuaufbaus das verstärkte Auftreten des konkurrenzstarken Weißen Gänsefußes (*Chenopodium album*) und von Knöterich-Arten (*Polygonum* spp., Abb. 3). Jede einseitige Anwendung eines Herbizids wie z.B. Glyphosat in pfluglosen Anbausystemen mit und ohne glyphosatresistenten Kulturen verändert die Unkrautarten-Zusammensetzung oder die Populationsdichten (JOHNSON et al., 2009).

HOMMEL und PALLUTT (2004) haben das Problem des Durchwuchsrapses in Mais umfassend dargestellt und sind zu dem Schluss gekommen, dass es zur guten fachlichen Praxis gehören sollte, beim Anbau von glufosinatresistenten Rapssorten besser auf weitere glufosinatresistente Kulturpflanzen – wie den Mais – in der Fruchtfolge zu verzichten. Obwohl die Anwendung eines zusätzlichen Herbizids als Einzelmaßnahme oder in Mischung mit Glufosinat das Problem gut lösen kann (Abb. 4), werden dadurch Vorteilswirkungen der Strategie wie niedrige Behandlungsindizes oder geringe ökotoxikologische Risiken teilweise aufgehoben. Damit soll aber auch erreicht werden, dass technisch unvermeidbarer Ausfallraps von gentechnisch veränderten Sorten im Rahmen der Unkrautkontrollen in den nachfolgenden Kulturen effektiv bekämpft wird und es nicht zur Blüte oder Anreicherung im Bodensamenvorrat durch Vermehrung kommen kann. Die Nachkontrollen zum Auftreten von Durchwuchsraps in Dahnsdorf konnten fünf Jahre nach der letzten Ernte (Juli 2004) beendet werden. Die letzten Durchwuchsrapspflanzen wurden bereits 2007 gefunden!

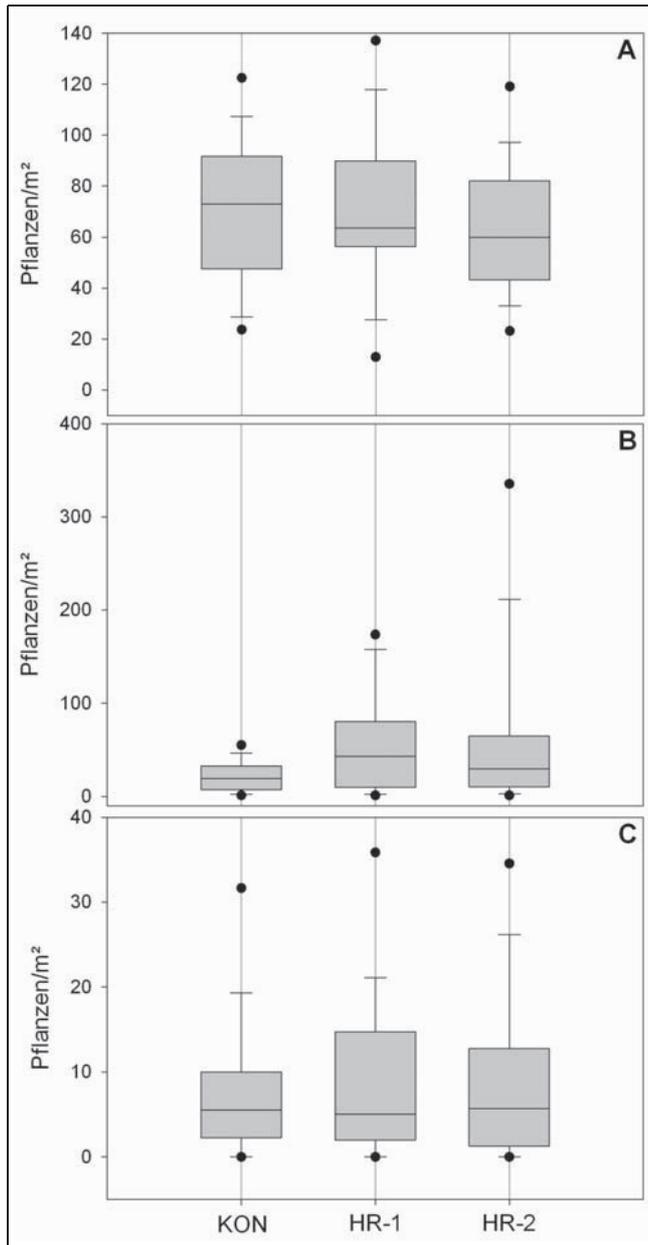


Abb. 3. Populationsdichte der drei Leitunkrautarten (A) *Viola arvensis*, (B) *Chenopodium album* und (C) *Polygonum* spp. unmittelbar vor der ersten Herbizidmaßnahme in den Maisvarianten „konventionell“ (KON), „Glufosinat 1“ (HR-1) und „Glufosinat 2“ (HR-2) von 1997 bis 2004 (Box-Whisker-Plot mit Median und 5./95. Perzentil).

PCR-Analysen haben gezeigt, dass etwa zwei Drittel der Pflanzen das *pat*-Gen trugen. Damit wird das Anbauverhältnis von 1:2 in den Versuchspartellen sehr gut widerspiegelt. Im Allgemeinen muss davon ausgegangen werden, dass Raps länger als drei Jahre im Boden persistieren kann. Entscheidend für die kurze Periode in Dahnsdorf sollten die lange Ruhephase von der Rapsernte bis zur Wiederbestellung, die Nachkontrollen, die nachfolgende Maismonokultur von zwei Jahren und die damit verbundenen Herbizidanwendungen gewesen sein. BECKIE und WARWICK (2009) führen längere Zeiträume auf die Auffrischung der Samenbank durch die generative Entwicklung des Ruderalrapses zurück. GRUBER (2004)

sieht vor allem in der von der Bodenbearbeitung unmittelbar nach der Ernte verursachten sekundären Dormanz des Rapses Gründe für eine mehrjährige Überdauerung im Boden.

Eine deutliche Reduzierung des Behandlungsindex in glufosinatresistenten Kulturen wird eine Ausnahme bleiben, da die fehlende Residualwirkung und bekannten Wirkungslücken von Glufosinat oft weitere oder zusätzliche Anwendungen erfordern. Die Vorteile des Systems liegen in der Erweiterung des Wirkstoffportfolios in Raps und Mais und tragen damit zur Optimierung der Unkrautkontrolle und zur Anwendung von Resistenzvermeidungsstrategien bei. Das funktioniert aber nur, wenn die Anwendung des Komplementärherbizids im Rahmen von Resistenzvermeidungsstrategien im Wechsel mit anderen Herbiziden erfolgt. Aufgrund der guten Stoffeigenschaften und der Anwendungsbedingungen von Glufosinat können ökologische Verbesserungen beim Anbau von glufosinatresistentem Raps und Mais erwartet werden. Die Reduzierung der Dominanz eines Herbizids in der Fruchtfolge gelingt über Anbaupausen, mehrgliedrige Fruchtfolgen, Wirkstoffwechsel oder die Kombination von Kulturpflanzen mit verschiedenen Herbizidresistenzen (Glyphosat, Glufosinat). Damit würden die Vorzüge der Breitbandherbizide für die Förderung und Stabilisierung pflugloser Anbauverfahren genutzt und die Risiken der Selektion resistenter Unkrautarten gemindert.

Auskreuzung von transgenem Raps in konventionellen Raps

Die Nachbarschaft des transgenen Raps zur Mantelsaat führte an den Probepunkten in den Untersuchungsjahren 1998, 1999, 2001 und 2004 zu Auskreuzungsrate von unter 0,2%. Das mit Abstand während der Blüte wärmste Versuchsjahr 2001 zeigt am besten die Verteilung der Auskreuzungsereignisse in Abhängigkeit von der Windrichtung an, ohne jedoch auf die Höhe der Auskreuzung Einfluss ausgeübt zu haben. In den direkt dem transgenen Raps angrenzenden konventionellen Rapsparzellen lag der Anteil an herbizidresistenten Bastarden mit 1% bis 2,6% wie erwartet über den Werten aus der Mantelsaat. Der Effekt der Hauptwindrichtung auf die Pollendrift war hier deutlich auszumachen. Es scheint so zu sein, dass mit größerer Entfernung der Einfluss des Windes auf die Auskreuzung zu Gunsten der Pollenübertragung durch Blütenbesucher abnimmt. Mantelsaaten und Isolationsabstände stellen wirkungsvolle präventive Maßnahmen dar, um benachbarte konventionelle Rapsfelder vor hohen Einkreuzungen zu bewahren (HOMMEL und TIRKOT, 2005).

Vorkommen blütenbesuchender Insekten in Raps und Auskreuzung in verwandte Arten

Während der Rapsblüte wurde in den Versuchsjahren 1998 und 1999 eine große Diversität an Wildbienen- und Schwebfliegenarten (94 bzw. 48 Arten) in den Beständen nachgewiesen. Die Artenidentität erreichte unter den Kreuzblütlern mit 65% einen hohen Wert, wobei der



Abb. 4. Glufosinat-resistenter Durchwuchsrap als Unkraut im ebenfalls Glufosinat-resistenten Mais im Anbaujahr 2002. Linkes Bild 2 Tage vor, rechtes Bild 12 Tage nach der Behandlung mit einem selektiven Herbizid (Rimsulfuron) am 30. Mai (Pflügen und Saatsbettbereitung am 12. April, Maisaussaat am 30. April, Glufosinat mit 4l Liberty®/ha am 23. Mai).

Grad an Übereinstimmung in den Rapsparzellen mit 69% am höchsten war. Damit kommen viele Arten für die Übertragung von transgenen Rapspollen auf andere Kreuzblütler in Frage. Eine Ausnahme ist dabei die Honigbiene, da aufgrund ihrer Blütenstetigkeit ein Besuch auf Blüten anderer Arten eher die Ausnahme darstellt (SAURE et al., 2003).

In den Jahren 2001 bis 2004 dienten die Rapsfreisetzen für begleitende Untersuchungen zum Sammeln von Rapspollen durch Honigbienen, Erdhummeln und Mauerbienen für die Fütterung ihrer Brut. Ziel war es zu zeigen, ob eine Mantelsaat mit konventionellem Raps den Austrag von transgenen Pollen durch Blütenbesucher eindämmen kann. Es konnte gezeigt werden, dass die Barrierefunktion der Mantelsaat nicht ausreicht, um eine Pollenausbreitung durch Insekten in angrenzende Kulturflächen zu verhindern; auch in einer Entfernung von 100 m enthalten über 30% der Brutzellen der Mauerbiene transgenen Rapspollen. Der Anteil am Larvenfutter erreichte in 25 m Entfernung 1,6% und in 100 m noch 0,8% (SICK et al., 2003).

Eine nur bedingt erfolgreiche Übertragung der Herbizidresistenz vom transgenen Raps auf verwandte Arten durch Blütenbesucher oder Wind wurde in den Habitatparzellen nahe des gentechnisch veränderten Rapses nur bei Sareptasenf (*Brassica juncea*) nachgewiesen. Nachkommen von Hederich (*Raphanus raphanistrum*) und Schwarzsens (*Brassica nigra*) überlebten die Anwendung von Glufosinat nicht. Bei allen 64 herbizidresistenten Nachkommen des Sareptasens wurde das *pat* Gen mittels Polymerase Kettenreaktion (PCR) identifiziert. Die cytologischen Untersuchungen der Bastarde ergaben den erwarteten Chromosomensatz von $2n = 37$ (AABC). Im Habitus der Blätter zeigten die Bastarde eine intermediäre Ausprägung. Von den 64 Bastarden entwickelte schließlich nur eine Pflanze 43 teils deformierte Samen. Aus diesem Pool wurden die 19 kräftigsten Samen im

Gewächshaus ausgelegt. Unter den 6 Nachkommen der F2-Generation war dann nur bei zwei Individuen das Herbizidresistenzgen nachweisbar (SAURE et al., 2003). Da Sareptasenf normalerweise nicht zur Ackerbegleitflora des Rapses gehört, werden die Risiken für die Ausbreitung der Herbizidresistenz über diesen Pfad für gering eingeschätzt.

Auskreuzung von transgenem Mais in konventionellen Mais

Das Versuchsfeld des JKI in Dahnsdorf war von 2005 bis 2009 Teil der Ringversuche im BMELV-Projekt „Sicherung der Koexistenz“. Die Versuche in Dahnsdorf wurden mit konventionellen Farbmalsvarianten durchgeführt. Es konnte gezeigt werden, dass die Auskreuzung von der Windrichtung und dem Abstand abhängig ist. Unterschiedliche Bepflanzungen zwischen dem Donor- und Rezipientenmais (Sonnenblumen vs. Gerste und Gerstestoppel vs. gemähten Klee-Grasbestand) zeigten keine gesicherten Effekte auf die Höhe der Auskreuzung. Maßnahmen zur Sicherung des vorgegeben Grenzwertes von 0,9% für technisch unvermeidbare Auskreuzungen umfassen Isolationsabstände und spezielle Erntebestände in den dem Donormais am nächsten liegenden Bereichen im Rezipientenmaisfeld (LANGHOF et al., 2008).

Fazit zur Herbizidresistenz

Die mittels gentechnischer Verfahren gezüchtete Resistenz von Kulturpflanzenarten gegenüber Breitbandherbiziden wie Glufosinat oder Glyphosat festigt einerseits die Abhängigkeit der Unkrautbekämpfung von chemischen Pflanzenschutzmitteln; alternative nicht-chemische Verfahren werden über die Sortenwahl von vornherein ausgeschlossen. Resistenzvermeidungsstrategien, wie der Wirkstoffwechsel, werden erschwert, insbesondere wenn diese Sorten in der Fruchtfolge dominieren. Wirkungs-

lücken infolge von Resistenzen oder Durchwuchs werden durch die Zugabe weiterer Herbizide oder durch höhere Aufwandmengen ausgeglichen. Andererseits erweitern diese Sorten das Wirkstoffportfolio für Nachauflaufferbizide. Durch die Breitenwirkung kann die Intensität der Herbizidanwendung reduziert werden. Für Resistenzvermeidungsstrategien stehen weitere Wirkstoffgruppen zur Verfügung. Schwer mit herkömmlichen Strategien bekämpfbare Unkrautarten wie die Kreuzblütler in Rapsbeständen können wirkungsvoll bekämpft werden. Die Anwendung von Bodenherbiziden in Mais und Raps kann eingeschränkt werden. Nach der letzten Herbizidanwendung neu auflaufende Unkrautarten verbessern die Biodiversität im Feld. Die Nutzung von Schadensschwellen und weiteren Entscheidungshilfen wird erleichtert. Das Zeitfenster für die Unkrautbekämpfung wird größer. Verfahren des Bodenschutzes, wie Untersaaten, konservierende Bodenbearbeitung und Direktsaaten, können mit herbizidresistenten Sorten wesentlich besser als bisher umgesetzt werden. Eine überlegte Nutzung der Vorteile dieser neuen Sorten in die Pflanzenschutz- und Bodenbearbeitungsstrategien kann signifikant zur Nachhaltigkeit von Landwirtschaftsbetrieben beitragen!

Morphologie und Ertrag der Fruktankartoffeln

Die gentechnischen Veränderungen bei den Fruktankartoffeln führten bei einer Reihe von Nichtziel-Merkmalen zu teilweise signifikanten Veränderungen im Vergleich zur isogenen Ausgangssorte 'Désirée' (ROPPEL, 2007). Eine eindeutige Zuordnung dieser Variabilität zum neuen Inhaltsstoff Fruktan oder zu veränderten Zuckerzusammensetzungen war allerdings nicht in jedem Fall möglich. Die drei Fruktankartoffellinien (SST/FFT-Linien) waren gegenüber der Ausgangssorte 'Désirée' durch einen verzögerten Feldaufgang, eine spätere Knospen- und Blütenbildung, eine verringerte Anzahl der Einzelblüten an der Infloreszenz 1. Ordnung und eine in zwei von drei Jahren signifikant verkürzte Haupttrieblänge bei stärkerer Verzweigung charakterisiert (Abb. 5). Der Bestandesschluss blieb infolge des verkürzten Haupttriebes über die gesamte Vegetationsperiode aus. Ein kurzfristiger Einfluss der Pflanzknollengröße auf die Haupttrieblänge konnte ausgeschlossen werden. Der offene Bestand schwächt wo möglich einerseits die Konkurrenzkraft der Kartoffel gegenüber Unkräutern, aber andererseits trocknen die Bestände frühmorgens schneller ab und das verbessert die Konkurrenzkraft gegenüber der Krautfäule (*Phytophthora infestans*). Den exakt umgekehrten Effekt einer gentechnischen Veränderung auf die Länge des Haupttriebes konnten MI SUN KIM et al. (2007) für transgene Kartoffellinien mit Antisense für das Enzym Cu,Zn-Superoxis-Dismutase (SOD) zeigen. Als Ursache wiesen sie Wirkungen auf den physiologischen Status der Gibberelline (GAs) in den Pflanzen nach. Es kann deshalb angenommen werden, dass auch bei den Fruktankartoffeln vorrangig Wirkungen auf die Phytohormone zu den beschriebenen morphologischen Änderungen geführt haben.

Die Blattbehaarung der Unterseite war bei vier der sechs gentechnisch veränderten Linien signifikant dichter als bei der Ausgangssorte 'Désirée'.

Die genetischen Veränderungen des Phänotyps blieben ohne Auswirkung auf den Ertrag (Abb. 6) und die Knollengrößensortierung.

In Abhängigkeit vom Anbaujahr betrug die Reduktion des Stärkegehaltes bei den Fruktankartoffellinien 2–3% (Abb. 7). Der um wenige Prozentpunkte reduzierte Stärkegehalt der gentechnisch veränderten Linien gegenüber der Ausgangssorte zeigt, dass die Bildung von Fruktan die Sinkkapazität für Kohlenhydrate in den gentechnisch veränderten Knollen nicht erhöht (HELLWEGE et al., 2000).

KNIPP (2004) und KNIPP und HONERMEIER (2005) wiesen in Gewächshausuntersuchungen an der Universität Gießen in den Jahren 2002 und 2003 nach, dass sich bei den Fruktankartoffeln im Vergleich zur Ausgangssorte die Photosynthese-Leistung (CO₂-Gas-Austauschrate) verändert hatte, der Prolingehalt in den Blättern bei Trockenstress niedriger, bei Kaliummangel der Gehalt an löslichen Zuckern in den Blättern erhöht, die Keimfähigkeit unverändert geblieben war und schließlich keine veränderte Frosttoleranz und damit kein höheres Risiko für Durchwuchskartoffeln im Folgejahr auftraten. Während der Versuche in Dahnsdorf traten weder konventionelle noch transgene Durchwuchskartoffeln auf.

Substantielle Äquivalenz der Fruktankartoffeln

Bei gentechnisch veränderten Kartoffeln ist von herausragender Bedeutung, dass neben den erwarteten Merkmalen keine weiteren metabolischen Veränderungen (z.B. im Glykoalkaloidgehalt) im Vergleich zur unveränderten Ausgangslinie auftreten. Diesem „substantielle Äquivalenz“ genannten Indikator für die biologische Sicherheit wurde am Max Planck-Institut für Molekulare Pflanzenphysiologie in Potsdam in Zusammenarbeit mit internationalen Partnern für die Fruktankartoffel nachgegangen (CATCHPOLE et al., 2005). Mit Kartoffelknollen aus den Ernten 2001 und 2003 wurden alle gentechnisch veränderten Linien, die Ausgangssorte 'Désirée' und die Vergleichssorten mittels kombinierter Massenspektroskopie-Gaschromatographie mit dem Ergebnis getestet, dass die gentechnisch veränderten Linien sich nur in den erwarteten Merkmalen signifikant unterscheiden. Besonders herausgestellt wurde von den Autoren der Vergleich der gentechnisch veränderten Linien mit einem erweiterten Set an konventionellen Kartoffelsorten, um die große Heterogenität zwischen konventionellen Sorten als Ergebnis der klassischen Züchtung bei der Bewertung der substantiellen Äquivalenz von gentechnisch veränderten Linien/Sorten berücksichtigen zu können. Es konnte nämlich gezeigt werden, dass die bei den gentechnisch veränderten Linien erwartete Grundform von Fruktan, das Trisaccharid 1-Kestose, erwartungsgemäß nicht in der Ausgangslinie 'Désirée', dafür aber in den Vergleichssorten 'Linda' und 'Solara' anzutreffen war.

BÖHME et al. (2005) führten Fütterungsstudien an Schweinen mit silierten Knollen der Fruktankartoffeln

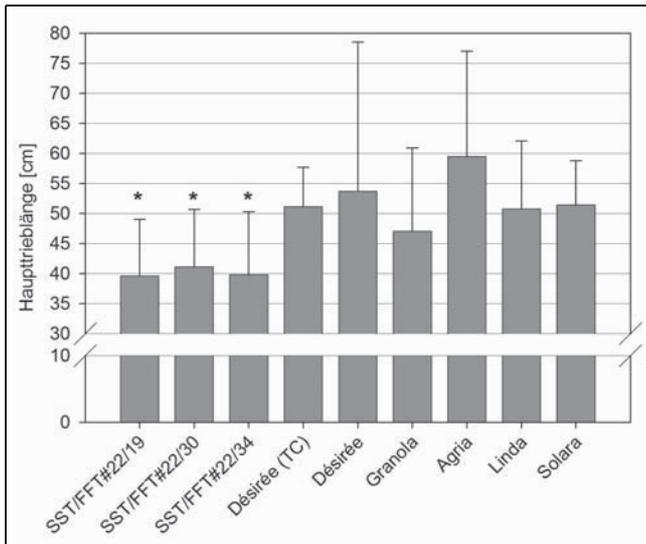


Abb. 5. Haupttrieblänge (Mittelwert \pm Standardabweichung) der Fruktankartoffeln im Vergleich mit der Ausgangssorte aus der Gewebekultur (TC) und weiteren mittelfrühen Sorten (* symbolisiert statistische Unterschiede zwischen den Fruktanlinien und ihrer isogenen Sorte 'Désirée' [TC] mit $p < 0,05$; ROPPEL, 2007).

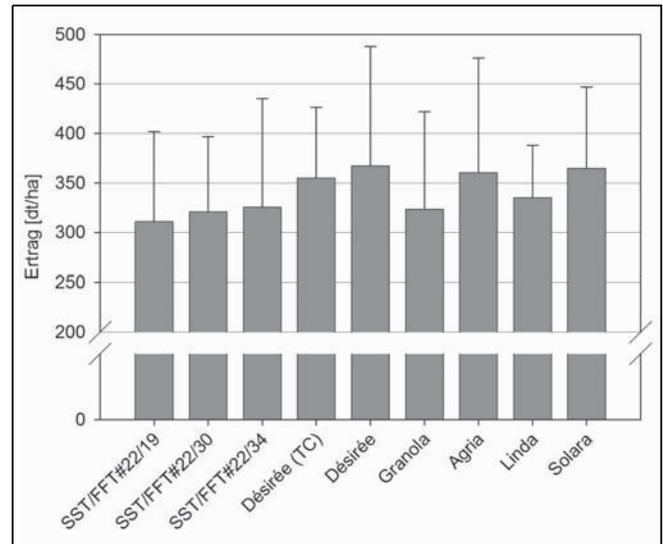


Abb. 6. Erträge (Mittelwert \pm Standardabweichung) der drei Fruktankartoffellinien, ihrer isogenen Sorte 'Désirée' (TC) und der Vergleichssorten (ROPPEL, 2007).

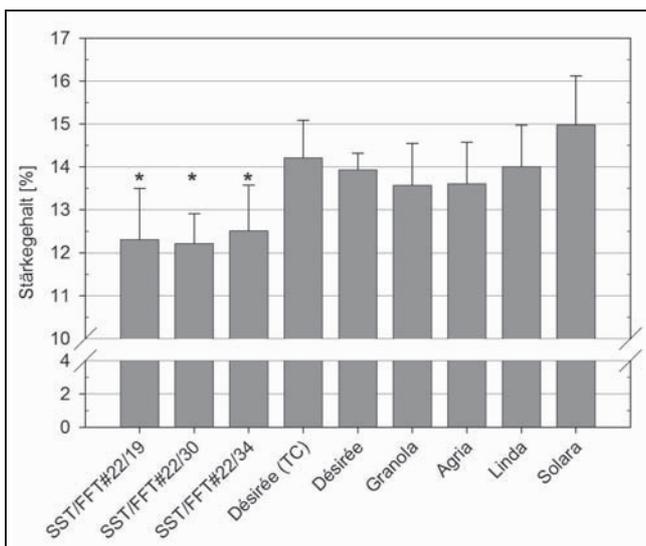


Abb. 7. Stärkegehalt (Mittelwert \pm Standardabweichung) der drei Fruktankartoffellinien, ihrer isogenen Sorte 'Désirée' (TC) und der Vergleichssorten (* symbolisiert statistische Unterschiede zwischen den Fruktanlinien und ihrer isogenen Sorte 'Désirée' [TC] mit $p < 0,05$; ROPPEL, 2007).

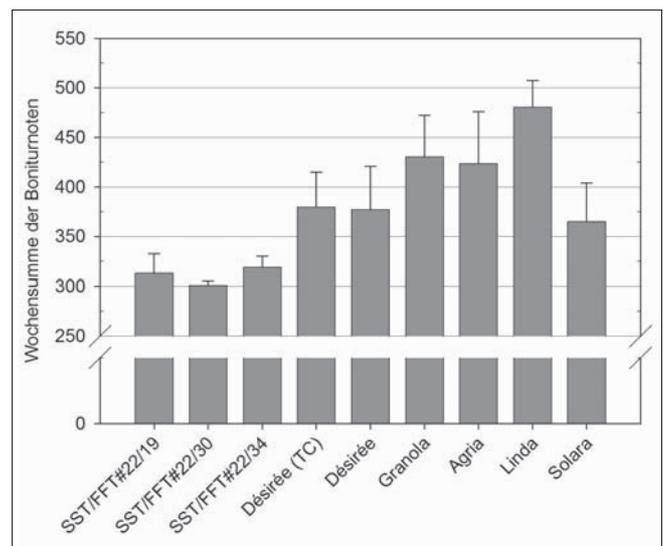


Abb. 8. Anfälligkeit der Fruktankartoffellinien, ihrer isogenen Ausgangssorte 'Désirée' und der Vergleichssorten für die Knollenfäule, *Phytophthora infestans* (Mittelwert \pm Standardabweichung; ROPPEL, 2007).

und der Ausgangssorte 'Désirée' aus dem Erntejahr 2003 durch. Die vorgeschalteten Analysen zur substantiellen Äquivalenz haben gezeigt, dass die gentechnisch veränderten Linien in noch nicht silierten Knollen einen um 25% höheren Glykoalkaloidgehalt aufwiesen, ohne jedoch den Grenzwert von 1 g pro kg Trockenmasse zu überschreiten. Als Ursache werden die extrem trockenen Bedingungen während der Monate Mai bis August 2003 mit nur 130 mm Niederschlag angegeben. Trockenstress wird als Auslöser für höhere Glykoalkaloidgehalte angesehen. Die unterschiedlichen Rationen führten zu keinen signifikanten Unterschieden zwischen den Tiergruppen.

Anfälligkeit der Fruktankartoffeln für Schaderreger
In vitro Untersuchungen mit Pflanzenteilen aus dem Feld (Blätter, Knollen) haben gezeigt, dass bei allen gentechnisch veränderten Linien die Blattanfälligkeit gegenüber der Krautfäule (*Phytophthora infestans*) unverändert geblieben war. Die Anfälligkeit der Knollen für diesen Pilz hingegen war bei den Fruktanlinien in einem von drei Jahren signifikant reduziert (Abb. 8). Über Analysen der Knollen und einen Labortest zur Vermehrung des Pilzes in der Flüssigkultur unter steigendem Zusatz von Fruktan (Inulin) konnten signifikante Hinweise gefunden werden, dass zwischen dem Fruktangehalt in den

Knollen und dem Myzelwachstum des Pilzes ein negativer Zusammenhang besteht ($R^2 = 0,92$), das heißt, je mehr Inulin, desto geringer war die Wochensumme der Boniturnoten bzw. das Myceltrockengewicht (ROPPEL, 2007).

Die mehrjährigen Tests gegenüber den Schadorganismen Kartoffelkrebs (*Synchytrium endobioticum*, Pathotypen 1 und 18), Kartoffelzystenematode (*Globodera rostochiensis*) und Wurzelgallennematode (*Meloidogyne incognita*) haben keine signifikanten Unterschiede in der Anfälligkeit zwischen den gentechnisch veränderten Linien und der Ausgangssorte 'Désirée' aufgezeigt (ROPPEL, 2007).

Die Untersuchungen mit dem Kartoffelkäfer (*Leptinotarsa decemlineata*) hinsichtlich der Effekte der Nahrungsqualität der verschiedenen Kartoffellinien auf seine Entwicklung und Reproduktion verliefen widersprüchlich. Besonders auffällig waren dabei die Effekte der Herkunft des Futters und die Lage des Versuchsstandortes (Gewächshaus vs. Freiland) auf die geprüften Merkmale. Nur unter Freilandbedingungen konnten tendenziell Effekte der Nahrungsqualität auf das Larvengewicht und auf die Wirtspflanzenpräferenz für die Eiablage beobachtet werden. In Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium der Pflanzen trat ein verringerter Befall der Fruktankartoffeln auf. Die Ursachen hierfür sind unklar; sie könnten auf die veränderte Morphologie (Wuchs, Blattbehaarung) oder auf die Zusammensetzung und Konzentration von Inhaltsstoffen zurückgehen. Das zeigt auch, dass für eine robuste biologische Sicherheitsforschung bei gentechnisch veränderten Kartoffeln Freisetzen unabdingbar sind (ROPPEL, 2007).

Auf dem Versuchsfeld in Dahnsdorf wurde durch die Universität Hannover untersucht, in welchem Ausmaß Fruktankartoffeln von Viren infiziert werden und ob veränderte bzw. neue Virenstämme auftreten können. Das Kartoffel-Y-Virus (*Potato virus Y*, PVY) wurde mittels ELISA am häufigsten nachgewiesen, während die übrigen Viren (*Potato leafroll virus*, PLRV; *Potato virus M*, PVM; *Potato virus X*, PVX; *Potato virus S*, PVS) nur selten oder gar nicht auftraten. Die Fruktankartoffeln zeigten im Vergleich zu den konventionellen Sorten keinen höheren PVY-Befall. Auch das PVY-Stammspektrum der Fruktankartoffel lässt für den Anbau bislang kein höheres Risiko erwarten. Die Unterschiede zwischen den konventionellen Sorten waren deutlich stärker als zwischen den transgenen Linien und ihrer isogenen Ausgangssorte 'Désirée'. So wurden bei 'Solara' über die Jahre hinweg kaum Virusinfektionen festgestellt. Die Sorten 'Granola' und 'Agria' hingegen favorisieren unterschiedliche PVY-Stämme (FLATKEN, 2006).

Änderungen in der Rhizo- und Phyllosphäre der Fruktankartoffeln

Während der 3-jährigen Freisetzungsperiode der gentechnisch veränderten Kartoffeln in Dahnsdorf hat das Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF), Institut für Landschaftsstoffdynamik, Müncheberg die Wirkungen der gentechnischen Veränderungen auf die

bakteriellen Gesellschaften der Phyllo- und Rhizosphäre im Feld untersucht. BECKER et al. (2008) fanden bei den Fruktanlinien in zwei von drei Jahren eine signifikante Verringerung der Biodiversität in der Bakteriengesellschaft der Phyllosphäre und bei den verbliebenen Arten Unterschiede in ihren Populationsdichten. Die Unterschiede in den Gesellschaften der Rhizosphäre dagegen waren aufgrund der nachhaltigen Wirkungen des Bodens und der Witterung nicht den verschiedenen Linien und Sorten zuzuordnen. Die Unterschiede blieben generell alle im Rahmen der auch bei konventionellen Kartoffelsorten – wie auch bei anderen gentechnisch veränderten Pflanzen – zu findenden Variabilität bakterieller Gesellschaften der Phyllo- und Rhizosphäre.

Fazit zur Fruktankartoffel

Bei gentechnisch im Kohlenhydratstoffwechsel veränderten Kartoffeln (wie z.B. der Fruktankartoffel) muss neben den gewünschten Merkmalen mit weiteren sichtbaren und verborgenen Veränderungen gerechnet werden (pleiotrope Wirkungen der neuen Gene, somaklonale Variationen durch die Gewebekultur). Aus der Sicht des integrierten Pflanzenschutzes sollten diese Veränderungen zumindest nicht die Anfälligkeit für Schadorganismen und den Habitus derart modifizieren, dass damit eine höhere Intensität im Pflanzenschutz notwendig wird. Für die dafür durchzuführenden Untersuchungen sind mehrjährige Freilandexperimente unerlässlich, da nur unter natürlichen Anbaubedingungen die Wechselwirkungen von Umwelt und Genotyp zur vollen Ausbildung der Merkmale führen.

Danksagung

Der Autor möchte sich bei Frau Anne METKE und den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Versuchsfeldes Dahnsdorf für die Durchführung, Betreuung und Hilfe bei der Auswertung der Versuche recht herzlich bedanken. Mein ganz besonderer Dank geht für die große Unterstützung bei der Konzeption, Durchführung und wissenschaftlichen Auswertung der Versuche an den langjährigen wissenschaftlichen Leiter des Versuchsfeldes, Herrn Dr. Bernhard PALLUTT. Alle Arbeiten zur Fruktankartoffel in Dahnsdorf und Kleinmachnow wurden ganz wesentlich von Frau Dr. Pia ROPPEL realisiert. Die Freisetzungen wären ohne die Bereitstellung des Saatgutes und der für die Freisetzungsanträge notwendigen Informationen durch die Saat- und Pflanzgutguthersteller nicht möglich gewesen. Die ausgezeichnete und kreative Zusammenarbeit mit Arbeitsgruppen aus dem JKI, aus Universitäten und anderen Forschungsinstituten ermöglichte eine umfassende wissenschaftliche Begleitung der Freisetzungen in Dahnsdorf. Im Rahmen der Freisetzungen durchgeführte Vorhaben zur biologischen Sicherheitsforschung von 1998 bis 2003 wurden größtenteils finanziell vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

Literatur

- BECKER, R., U. BEHRENDT, B. HOMMEL, S. KROPF, A. ULRICH, 2008: Effects of transgenic fructan-producing potatoes on the community structure of rhizosphere and phyllosphere bacteria. *FEMS Microbiol. Ecol.* **66**, 411-425.
- BECKIE, H.J., S.I. WARWICK, 2009: Persistence of an oilseed rape transgene in the environment. *Crop Protection*. DOI: 10.1016/j.cropro.2009.11.013.
- BENBROOK, C.M., 2009: Impacts of Genetically Engineered Crops on Pesticide Use: The First Thirteen Years. <http://www.organic-center.org/>.
- BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz), 2008: Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln.
- BÖHME, H., B. HOMMEL, G. FLACHOWSKY, 2005: Nutritional assessment of silage from transgenic inulin synthesizing potatoes for pigs. *J. Animal Feed Sc.* **14** (1), 333-336.
- BROOKES, G., P. BARFOOT, 2009: Global impact of biotech crops: socio-economic & environmental effects 1996-2007. *Outlooks on Pest Management* – December 2009, 258-264.
- CATCHPOLE, G.S., M. BECKMANN, D.P. ENOT, M. MONDHE, B. ZYWICKI, J. TAYLOR, N. HARDY, A. SMITH, R.D. KING, D.B. KELL, O. FIEHN, J. DRAPER, 2005: Hierarchical metabolomics demonstrates substantial compositional similarity between genetically modified and conventional potato crops. *PNAS* **102** (40), 14458-14462.
- DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft), 2010: Grüne Gentechnik. Weinheim, WILEY-VCH Verlag 2010.
- FERNANDEZ-CORNEJO, J., R. NEHRING, E. NEWCOMB SINHA, A. GRUBE, A. VIALU, 2009: Assessing Recent Trends in Pesticide Use in U.S. Agriculture. Agricultural and Applied Economics Association. Annual Meeting, July 26-28, 2009, Milwaukee, Wisconsin. <http://purl.umn.edu/49271>.
- FLATKEN, F., 2006: Auftreten, Variabilität und Rekombination von Kartoffelviren unter besonderer Berücksichtigung des Kartoffelvirus Y (*Potato virus Y*) in transgenen und nicht-transgenen Kartoffeln. Diss. Univ. Hannover.
- GRUBER, S., 2004: Genotypische Variation der Überdauerungsneigung von transgenem und konventionell gezüchtetem Raps und Möglichkeiten der Beeinflussung durch Bodenbearbeitung als Beitrag zur Sicherheitsforschung bei transgenen Kulturpflanzen. Diss. Univ. Hohenheim.
- HELLWEGE, E.M., S. CZAPLA, A. JAHNKE, L. WILLMITZER, A.G. HEYER, 2000: Transgenic potato (*Solanum tuberosum*) tubers synthesize the full spectrum of inulin molecules naturally occurring in globe artichoke (*Cynara scolymus*) roots. *PNAS* **97** (15), 8699-8704.
- HOMMEL, B., B. PALLUTT, 2003: Evaluation of transgenic herbicide-resistant oilseed rape and maize with reference to integrated pest management strategies. Proceedings of the BCPC International Congress – Crop Science & Technology, 10.11.–12.11.2003, Glasgow, **2**, 1087-1092.
- HOMMEL, B., B. PALLUTT, 2004: Bewertung von Glufosinat-resistentem Durchwuchsrap im Rahmen der Fruchtfolge. *Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh.* **XIX**, 887-894.
- HOMMEL, B., C. TIRKOT, 2005: Rapsauskreuzung und Auftreten von Durchwuchsrap während eines 8jährigen Freisetzungsvorversuches mit Glufosinat-resistentem Winterraps. *Vortr. Pflanzenzüchtg.* **67**, 181-187.
- HOMMEL, B., J. STRASSEMAYER, B. PALLUTT, 2006: Bewertung von herbizidresistenten Kulturpflanzen in Bezug auf das Reduktionsprogramm chemischer Pflanzenschutz – Auswertung eines 8-jährigen Dauerversuchs mit Glufosinat-resistentem Raps und Mais. *Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh.* **XX**, 13-20.
- JAMES, C., 2009: Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2009. ISAAA Brief No. **41**. ISAAA: Ithaca, NY.
- JOHNSON, W.G., V.M. DAVIS, G.R. KRUGER, S.C. WELLER, 2009: Influence of glyphosate-resistant cropping systems on weed species shifts and glyphosate-resistant weed populations. *Europ. J. Agronomy* **31**, 162-172.
- KNIPP, G., 2004: Untersuchungen zur Stresstoleranz und Überdauerungsfähigkeit von gentechnisch veränderten Fructan bildenden Kartoffeln (*Solanum tuberosum* L.). Diss. Univ. Gießen.
- KNIPP, G., B. HONERMEIER, 2005: Effect of water stress on proline accumulation of genetically modified potatoes (*Solanum tuberosum* L.) generating fructans. *J. Plant Physiol.* **163** (4), 392-397.
- LANGHOF, M., B. HOMMEL, A. HÜSKEN, J. SCHIEMANN, P. WEHLING, R. WILHELM, G. RÜHL, 2008: Coexistence in Maize: Do Nonmaize Buffer Zones Reduce Gene Flow between Maize Fields? *Crop Sci.* **48**, 305-316.
- MI SUN KIM, HYUN SOON KIM, HAN NA KIM, YOON SHIK KIM, KWANG HYUN BAEK, YOUN IL PARK, HYOUNK JOUNG, JAE HEUNG JEON, 2007: Growth and tuberization of transgenic potato plants expressing sense and antisense sequences of Cu/Zn superoxide dismutase from lily chloroplasts. *J. Plant Biology* **50** (4), 490-495.
- ROPPEL, P., 2007: Untersuchungen zu phänologischen und phyto-medizinisch relevanten Effekten einer gentechnischen Modifikation des Kohlenhydratmetabolismus in der Kartoffel (*Solanum tuberosum* L.). Diss. Univ. Gießen.
- SANDERMANN, H., 2006: Plant biotechnology: ecological case studies on herbicide resistance. *Trends in Plant Science* **11** (7), 324-328.
- SAURE, C., S. KÜHNE, B. HOMMEL, U. BELLIN, 2003: Transgener, herbizid-resistenter Raps – Blütenbesuchende Insekten, Pollenausbreitung und Auskreuzung. *Agrarökologie* **44**, 103 S.
- SICK, M., S. KÜHNE, B. HOMMEL, 2003: Transgener Rapspollen in der Biennahrung – Teil einer Modelluntersuchung zur Wahrscheinlichkeit des horizontalen Gentransfers von Pflanzen auf Bakterien. *Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Ent.* **14**, 423-426.