

Freilandversuche mit gentechnisch verändertem Weizen mit Mehltaresistenz

Andrea Foetzki¹, Michael Winzeler¹, Thomas Boller², François Felber³, Wilhelm Gruissem⁴, Christoph Keel⁵, Beat Keller⁶, Fabio Mascher⁷, Monika Maurhofer⁸, Wolfgang Nentwig⁹, Jörg Romeis¹, Christof Sautter⁴, Bernhard Schmid¹⁰ und Franz Bigler¹

¹Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8046 Zürich

²Universität Basel, Botanisches Institut, 4056 Basel

³Université de Neuchâtel, Institut de biologie, 2000 Neuchâtel

⁴ETH Zürich, Pflanzenbiotechnologie, 8092 Zürich

⁵Université de Lausanne, Dép. de microbiologie fondamentale, 1015 Lausanne

⁶Universität Zürich, Institut für Pflanzenbiologie, 8008 Zürich

⁷Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, 1260 Nyon

⁸ETH Zürich, Pflanzenpathologie, 8092 Zürich

⁹Universität Bern, Institute für Ökologie und Evolution, 3012 Bern

¹⁰Universität Zürich, Institut für Evolutionsbiologie und Umweltwissenschaften, 8057 Zürich

Auskünfte: Andrea Foetzki, E-Mail: andrea.foetzki@art.admin.ch, Tel. +41 44 377 76 64



Abb. 1 | Versuchspartellen im Feldversuch mit gentechnisch verändertem Weizen am Standort Reckenholz. (Foto: ART)

Einleitung

NFP59 und Weizenkonsortium

Gentechnisch veränderte (GV) Pflanzen wurden erstmals 1996 kommerziell angebaut und wuchsen im Jahr 2010 bereits in 29 Ländern auf 148 Mio. ha (10 % der weltweiten Ackerfläche, James 2010). In der Schweiz verbietet ein Moratorium die kommerzielle Nutzung

von GV Pflanzen bis November 2013. Die Forschung mit GV Pflanzen wurde davon explizit ausgenommen und vom Bundesrat beauftragt, mögliche Vor- und Nachteile des Anbaus von GV Pflanzen zu untersuchen. Hierzu wurde im Jahre 2006 das Nationale Forschungsprogramm NFP 59 «Nutzen und Risiken der Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen» durch den Schweizerischen Nationalfonds (SNF) ausgeschrieben

(www.nfp59.ch). Daraufhin wurde das Weizenkonsortium gebildet, um im Forschungsverbund wissenschaftliche Projekte mit mehlauresistentem GV Weizen in Freilandversuchen zu bearbeiten. Beteiligt waren die Universität Zürich (Leitung), ETH Zürich, die Forschungsanstalten Agroscope Changins-Wädenswil ACW und Agroscope Reckenholz-Tänikon ART sowie die Universitäten Basel, Bern, Lausanne und Neuchâtel. Der SNF bewilligte acht Projekte für das Weizenkonsortium. Zwei dieser Projekte untersuchten die verbesserte Mehlauresistenz des Weizens (Nutzen) und sechs Projekte beschäftigten sich mit Biosicherheitsforschung (Umweltrisiken). Für die rechtliche Bewilligung der Freilandversuche wurden drei Gesuche für GV Weizenlinien und Hybriden von GV Weizen mit dem Gras Zylindrischer Walch (*Aegilops cylindrica*) beim BAFU eingereicht. Nach der Vernehmlassung bei den betroffenen Bundesämtern, Kommissionen und Standortskantonen wurden die Gesuche mit Auflagen bewilligt. Eine grosse

Tab. 1 | Projekte des Weizenkonsortiums in den Feldversuchen mit gentechnisch verändertem (GV) mehlauresistentem Weizen 2008–2010

Resistenzforschung		
B. Keller	Universität Zürich	Analyse der Funktion des Pm3 Resistenzgens in transgenem Weizen
W. Gruissem	ETH Zürich	Analyse der Mehlauresistenz durch Chitinase/Glukanase aus Gerste
C. Sautter	ETH Zürich	
F. Mascher	ACW	
Biosicherheitsforschung		
T. Boller	Universität Basel	Wechselwirkungen von arbuskulären Mykorrhizapilzen mit GV und nicht-GV Weizen
W. Nentwig	Universität Bern	Effekte von GV Weizenanbau auf die Abbaurate von GV Biomasse durch Bodenarthropoden und Anneliden
M. Maurhofer	ETH Zürich	Auswirkungen von GV Weizen auf die Bodenfruchtbarkeit durch nützliche Bodenbakterien
C. Keel	Université de Lausanne	
J. Romeis	ART	Auswirkungen von GV Weizen auf herbivore Insekten und Nahrungsnetze
B. Schmid	Universität Zürich	
B. Schmid	Universität Zürich	Einfluss von abiotischer und biotischer Umwelt auf ökologische Eigenschaften von GV und nicht-GV Weizen
F. Felber R. Guadagnuolo	Université de Neuchâtel	Genetische und ökologische Konsequenzen von Introgression transgener Weizen in ein verwandtes Wildgras, <i>Aegilops cylindrica</i>
A. Foetzki	ART	Auskreuzung der Chitinase/Glukanase-Linien auf Weizen*
F. Mascher	ACW	
C. Sautter	ETH Zürich	

*teilweise vom SNF finanziert

Zusammenfassung

Nutzen und Umweltrisiken von gentechnisch verändertem (GV) Sommerweizen mit verbesserter Mehlauresistenz wurde von einem Verbund Schweizer Forschungsgruppen von 2008 bis 2010 an zwei Standorten im Freiland untersucht. GV Weizenlinien mit spezifischer Resistenz gegen Mehltau und allgemeiner Pilzresistenz wurde mit Kontrolllinien, kommerziellen Weizensorten sowie Gerste und Triticale verglichen. Neben der Mehlauresistenz wurden die Auswirkungen auf Insekten und Bodenlebewesen (Bakterien, Mykorrhizapilze, Bodenfauna) sowie die Auskreuzung auf Weizen untersucht. Mehrere GV Weizenlinien waren deutlich resistenter gegen Mehltau als ihre Kontrollen. Es wurden keine relevanten Auswirkungen auf Nichtzielorganismen, deren Biodiversität und ausgewählte Ökosystemleistungen gefunden. Insgesamt waren die Unterschiede zwischen GV und Kontrolllinien geringer als zwischen kommerziellen Weizensorten oder anderen Getreidearten. Auskreuzungsereignisse waren selten und wurden nur in kurzer Distanz zu GV Versuchspflanzen gefunden.

Anzahl Massnahmen betrafen die Biosicherheit (z.B. Vermeidung der Verschleppung von GV Material) oder sollten die Versuchssicherheit (Schutz vor Vandalismus) gewährleisten.

Das Weizenkonsortium hatte sich zum Ziel gesetzt, mit mehlauresistentem GV Weizen Erkenntnisse zur Feldresistenz von Pathogenen zu erarbeiten und Fragen zur Biosicherheit interdisziplinär zu untersuchen. Die Ausbildung von jungen Forschenden in der Resistenz- und Biosicherheitsforschung war ein besonderes Anliegen des Konsortiums. Ausserdem förderte das Weizenkonsortium die wissenschaftlich basierte Diskussion über Nutzen und Risiken der Gentechnologie und suchte aktiv den Dialog mit der Bevölkerung.

Versuchsstandorte und beteiligte Projekte

Die Feldversuche mit GV Weizen wurden in den Jahren 2008 bis 2010 an den Forschungsanstalten ART am Standort Zürich-Reckenholz (Abb. 1) und ACW am Standort Pully/Lausanne (2009 bis 2010) durchgeführt. ART und ACW waren für die technische Versuchsdurchführung und die agronomische Betreuung der Freilandversuche, die technische und wissenschaftliche Koordination und die Planung und Umsetzung der Sicherheitsmassnahmen (Biosicherheit, Versuchssicherheit) verantwortlich. ➤

Die wissenschaftlichen Projekte (Tab. 1) untersuchten am Standort Reckenholz die Mehlttauresistenz, agronomische Eigenschaften und Auswirkungen auf Insekten und Bodenorganismen. Es wurden ebenfalls Versuche zum ökologischen Verhalten der Pflanzen, zu Ökosystemleistungen und Auskreuzung durchgeführt. In Pully wurde neben den agronomischen Eigenschaften die Resistenz gegen verschiedene Pilzkrankheiten, Auswirkungen auf Bodenorganismen und Auskreuzung untersucht.

Wir präsentieren hier ausgewählte Methoden und Resultate einiger Projekte des Weizenkonsortiums.

Pflanzenmaterial und Versuchstechnik

In den Feldversuchen wurden verschiedene GV Sommerweizenlinien und ihre Kontrolllinien mit kommerziell erhältlichen Sommerweizensorten und anderen

Tab. 2 | Weizenlinien und Getreidesorten in den Feldversuchen mit gentechnisch verändertem Weizen 2008–2010 (S = Kontrolllinie, Pm3 = GV Linien mit Ursprungssorte Bobwhite, Chi, Chi/Glu = Chitinase/Glukanase GV Linien mit Ursprungssorte Frisal)

Prüfsorte	Transgen
<i>Pm3a</i> (2 Linien)	Pm3a
<i>Sa</i> (2 Linien)	–
<i>Pm3b</i> (4 Linien)	Pm3b
<i>Sb</i> (4 Linien)	–
<i>Pm3c</i> (2 Linien)	Pm3c
<i>Sc</i> (2 Linien)	–
<i>Pm3d</i>	Pm3d
<i>Sd</i>	–
<i>Pm3f</i> (2 Linien)	Pm3f
<i>Sf</i> (2 Linien)	–
<i>Pm3g</i>	Pm3g
<i>Sg</i>	–
Bobwhite SH 98 26	–
<i>Chi</i>	Chi
<i>Chi/Glu</i>	Chi, Glu
Frisal	–
Toronit, Fiorina, Casana, Rubli	–
Chul (<i>Pm3b</i>)*	–
Asosan (<i>Pm3a</i>)*	–
Estana (Gerste)	–
Trado (Triticale)	–

*asiatische Landrassen mit natürlichen Varianten der *Pm3* Gene

Getreidearten verglichen. Insgesamt zwölf Weizenlinien mit Allel-spezifischer Mehlttauresistenz (mit den *Pm3* Allelen *Pm3a-d*, *Pm3f-g*) und deren unveränderte Kontrolllinien auf Grundlage der mexikanischen Zuchtlinie Bobwhite S26 stammten von der Universität Zürich (Brunner *et al.* 2011). Zwei Weizenlinien mit einer quantitativen Pilzresistenz (Chitinase- und Glukanase-Gene) auf der Grundlage der Schweizer Sommerweizensorte Frisal kamen von der ETH Zürich (Bieri *et al.* 2003). Bei diesen Weizenlinien handelt es sich um Modellpflanzen für die Erforschung von Pilzresistenzen, also nicht um Linien, die für die Sortenzüchtung und eine mögliche Kommerzialisierung entwickelt worden waren. Alle Transgene sind Gene, die aus Weizen (*Pm3* Allele) oder Gerste (Chitinase, Glukanase) isoliert wurden, deren Aktivität aber in den transgenen Pflanzen erhöht wurde. Dieses Pflanzenmaterial wurde zusammen mit den für die Transformation verwendeten Ursprungssorten (Bobwhite S26, Frisal), vier neueren Schweizer Sommerweizensorten sowie Sommergerste und Sommertriticale im Feldversuch angebaut (Tab. 2).

Es wurden zwei Parzellengrößen verwendet, Kleinparzellen mit einer Fläche von 1,3 m² und Grossparzellen mit einer Fläche, die je nach Versuchsjahr und -standort zwischen 3,9 und 9,1 m² variierte. Die Versuchsteile wurden jeweils in vier- bis fünffacher Wiederholung zufallsverteilt angelegt, um eine statistische Auswertung zu ermöglichen. Der gesamte Versuch war von einer 2,6 m breiten Mantelsaat aus Sommertriticale umgeben. Die Versuchsfläche in Pully war etwa 0,1 ha gross, am Reckenholz variierte die Versuchsfläche je nach Jahr zwischen 0,5 und 0,9 ha.

Verfahren

In den Resistenzanalysen (Kleinparzellen) wurden verschiedene Verfahren der Mehlttauinfektion untersucht: künstliche Infektion, natürliche Infektion sowie Verhinderung der Infektion durch Fungizide. Für die künstliche Infektion wurden mehlttauanfällige Weizensorten in Töpfen angezogen, mit definierten Mehlttauisolaten infiziert und in Infektionsreihen ausgepflanzt. Die Infektionsreihen bestanden aus hoch anfälligen Weizensorten, die zwischen den Versuchspartellen angesät wurden. Ausgehend von den eingesetzten Töpfen entwickelte sich in diesen Reihen ein hoher Infektionsdruck auf die Prüfparzellen.

Methoden und Resultate

Mehlttauresistenz

Im Verlauf der Versuche wurden alle Weizenlinien und -sorten in den Mehlttau-Resistenzanalysen untersucht.

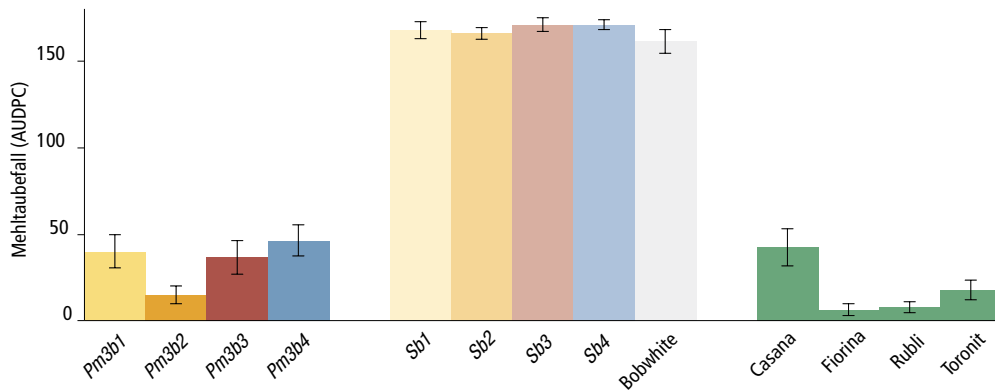


Abb. 2 | Natürlicher Mehltaubefall (Reckenholz, 2008) als Fläche unter der Krankheitsverlaufskurve (AUDPC = area under disease progress curve). *Pm3b1–4*: GV Linien, *Sb1–4*: Kontrolllinien, Bobwhite: Ursprungsorte der GV und Kontrolllinien, Casana, Fiorina, Rubli, Toronit: kommerzielle Sorten.

Für die meisten Prüfsorten wurden die drei Verfahren künstliche beziehungsweise natürliche Mehltau-Infektion und Fungizidbehandlung durchgeführt. Mit beginnender Infektion wurde wöchentlich Mehltau in den Versuchspartzen bonitiert.

In den Versuchen zur Mehltaresistenzanalyse am Reckenholz zeigten sich die GV Weizenlinien *Pm3a1* und *Pm3a2* sowie *Pm3b1* bis *Pm3b4* deutlich resistenter als ihre Kontrolllinien (Abb. 2, Zeller *et al.* 2010, Brunner *et al.* 2011) und die asiatischen Landrassen Asosan und Chul, aus denen die *Pm3a* oder *Pm3b* Gene isoliert worden waren (Tab. 2). Auch die anderen Weizenlinien mit *Pm3*-Allelen und die kommerziellen Schweizer Sorten wiesen eine erhöhte Resistenz gegen Mehltau auf. Sie zeigten einen geringeren Mehltaubefall als die mexikanische Sorte Bobwhite. Dies konnte sowohl bei natürlicher Infektion wie auch bei künstlicher Infektion beobachtet werden. Die GV Weizenlinien *Chi* und *Chi/Glu* waren im Feldversuch nicht resistenter als ihre Ursprungsorte Frisal.

Auswirkungen auf Insekten und Bodentiere

Eine gentechnische Veränderung kann den Stoffwechsel der Pflanzen beeinflussen und dies kann Auswirkungen auf herbivore Insekten haben. Blattläuse haben ein sehr enges Verhältnis zu ihren Wirtspflanzen und sind daher gute Indikatoren für eine mögliche Veränderung ihrer Futterpflanze. Blattläuse und ihre natürlichen Gegenspieler (Schlupfwespen) eignen sich ausserdem gut zur Untersuchung ganzer Nahrungsnetze, um Effekte auf höheren Ebenen der Nahrungskette aufzuzeigen (von Burg *et al.* 2011). Die Untersuchungen der Insekten und ihrer Nahrungsnetze wurden im halb-offenen Gewächshaus (Romeis *et al.* 2007) und im Feld durchgeführt.

Blattläuse und die Larven des Getreidehähnchens (*Oulema melanopus*) wurden alle zwei Wochen von Mai bis Juli auf Teilflächen in den Partzen gezählt. Zusätz-

lich wurden parasitierte Blattlausmumien gesammelt und zur Bestimmung der Schlupfwespen ins Labor gebracht. Die Schäden, die durch die Larven des Getreidehähnchens und der Gelben Getreidehalmfliege (*Chlorops pumilionis*) entstanden, wurden jeweils Anfang Juli als Anteil der geschädigten Blattfläche beziehungsweise Anzahl befallener Halme aufgenommen.

Die Anzahl der Blattläuse im halb-offenen Gewächshaus war unterschiedlich zwischen den Jahren und Sorten bzw. Weizenlinien (Álvarez-Alfageme *et al.*, 2011). Die mehltaresistente GV Linie *Pm3b1* hatte deutlich mehr Blattläuse als ihre Kontrolle *Sb1* (Abb. 3). Zusätzliche Laborversuche haben gezeigt, dass die Blattläuse weniger von Mehltau befallene Weizenpflanzen bevorzugen. Dagegen hatten die GV Weizenlinien keine konsistenten Auswirkungen auf die Blattlaus-Schlupfwespen Nahrungsnetze (von Burg *et al.* 2011). Für die herbivoren Insekten im Freiland wurden grosse Unterschiede zwischen den Versuchsjahren festgestellt, das eingeführte Transgen hatte jedoch keinen Einfluss (Álvarez-Alfageme *et al.* 2011). >

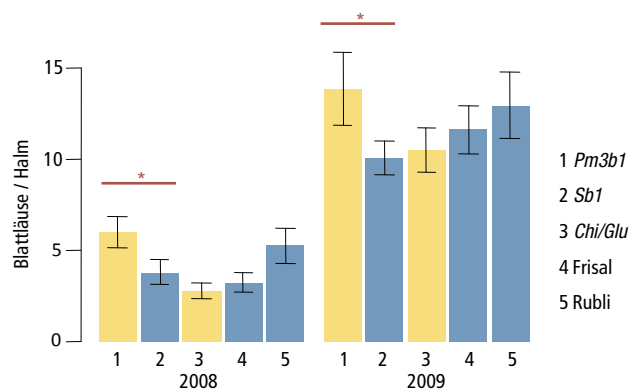


Abb. 3 | Anzahl Blattläuse pro Halm im halb-offenen Gewächshaus 2008 und 2009. GV Linien: *Pm3b1*, *Chi/Glu*, Kontrollen: *Sb1*, Frisal, kommerzielle Sorte: Rubli.* = Signifikante Unterschiede ($P < 0,05$).

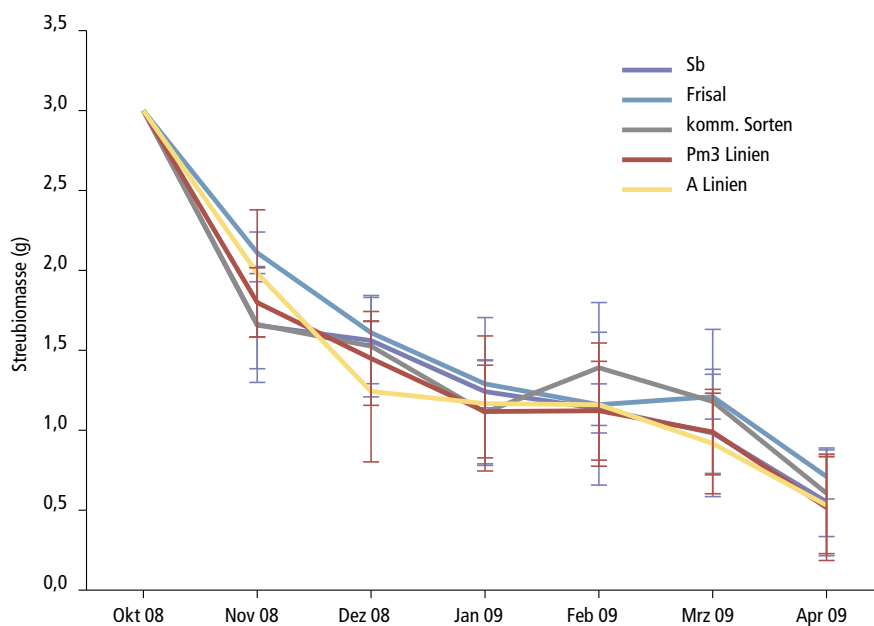


Abb. 4 | Streuabbaurate von Weizenblättern im Boden (Reckenholz) im Winter 2008/2009, acht Wiederholungen. GV Linien: Pm3b und Chi/Glu, Kontrollen: Sb, Frisal, kommerzielle Sorten: Rubli, Toronit.

Eine veränderte Nährstoffzusammensetzung des organischen Materials kann die Streuabbaurate und damit eine wichtige Ökosystemleistung beeinflussen (Lindfeld 2011).

Im Sommer 2008 wurden im Feld auf 72 und 2009 auf 60 Grossparzellen Bodenbohrkerne aus 0–20 cm Tiefe entnommen. Auf den gleichen Parzellen fand jeweils im folgenden Winter die Untersuchung zum Streuabbau statt.

Im Oktober 2008 und 2009 wurden pro Parzelle zwölf Streubeutel aus PVC-Netz mit je 3 g getrockneten Weizenblättern der jeweiligen Prüfsorte in einer Tiefe von 5 cm vergraben. Von November bis April wurden jeden Monat pro Parzelle zwei dieser Streubeutel entnommen, die Bodenorganismen im Labor extrahiert, gezählt und bestimmt sowie die verbliebene Streumenge gewogen.

Weder die Streuabbaurate der 18 (im Jahr 2008) respektive zwölf (im Jahr 2009) verwendeten Sorten (Abb. 4) noch die Anzahl der gefundenen Bodenorganismen in den Streubeuteln unterschieden sich signifikant (Lindfeld 2011).

In Laborversuchen wurden einzelne Schlüsselarten, die in Agrarböden eine wichtige Funktion haben können, vertieft getestet. Bei den Larven von zwei Fliegenarten (*Drosophila melanogaster*, *Megaselia scalaris*), Asseln (*Porcellio scaber*), Enchyträen (*Enchytraeus albi-*

us) und Regenwürmern (*Lumbricus terrestris*) wurden je nach Tierart Frassrate, Gewichtsveränderung der Tiere, Mortalität, Vermehrungsrate, Entwicklungszeit und Geschlechtsverhältnis analysiert. Im Vergleich mit nicht-GV Weizen und mit anderen Getreidearten fand sich kein nachteiliger Einfluss der GV Biomasse auf die untersuchten Organismen (Peter et al. 2010, Lindfeld et al. 2011, Bigler et al. 2011).



Abb. 5 | Entnahme von Weizenpflanzen für die Untersuchung der wurzelbesiedelnden Bodenbakterien und Mykorrhizapilze. (Foto: ART)

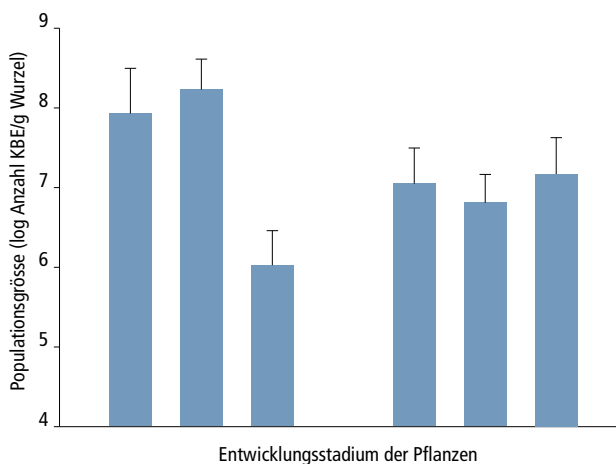


Abb. 6 | Populationsgrösse von nützlichen *Pseudomonas*-Bakterien auf Weizenwurzeln am Standort Reckenholz (2008–2010) zu zwei Entwicklungsstadien der Pflanzen (Bestockung, Milchreife). KBE = koloniebildende Einheiten

Auswirkungen auf nützliche Bodenbakterien und Mykorrhizapilze

Zwei der Forschungsprojekte befassten sich mit nützlichen Bakterien und Pilzen im Boden, die in enger Beziehung zu den Wurzeln der Getreidepflanzen stehen. Wurzelbesiedelnde Bodenbakterien (*Pseudomonas* sp.) können einerseits Krankheitserreger unterdrücken und sorgen andererseits für eine bessere Phosphatverfügbarkeit. Mykorrhizapilze sind Symbiosepartner von über 80 % der Landpflanzen und spielen bei der Nährstoffversorgung eine entscheidende Rolle. Auch in landwirtschaftlichen Systemen können mykorrhizierte Pflanzen das Nährstoffangebot im Boden besser ausnutzen.

Ganze Weizenpflanzen wurden zum Zeitpunkt der Bestockung (Abb. 5) und der Milchreife in allen drei Versuchsjahren aus den Versuchspartellen ausgegraben und die Wurzeln im Labor gewaschen. Die Wurzelproben wurden auf beide Projekte aufgeteilt. Die *Pseudomonas*-Bakterien wurden auf Nährmedien kultiviert und ihre Populationsgrösse bestimmt. Mit Hilfe von Gelelektrophorese wurde auch die genetische Vielfalt der Bakterien analysiert.

Das Entwicklungsstadium der Pflanzen (Abb. 6), die Weizensorte, der Standort und das Versuchsjahr hatten einen wesentlich grösseren Einfluss auf die Populationsgrössen der untersuchten *Pseudomonas*-Bakterien als die gentechnische Veränderung. Bei der Diversität der Bodenbakterien-Gruppen wurden nur bei den Wurzelproben der ersten Probenahme (Ende der Bestockung 2008) Unterschiede zwischen GV Weizenlinien und ihren Kontrolllinien einerseits und konventionellen Sorten andererseits festgestellt, die aber bei allen späteren Proben nicht mehr zu sehen waren. Dies könnte durch die unterschiedliche Produktionsbedingungen des Saat-

gutes für das erste Versuchsjahr (Labor/Gewächshaus bzw. Freiland) bedingt sein.

Für die Untersuchung der Mykorrhizierungsrate wurden Wurzelabschnitte angefärbt und die Pilzstrukturen unter dem Mikroskop ausgezählt.

Bei der Kolonisierung der Weizenwurzeln durch Mykorrhizapilze wurden an beiden Standorten in den meisten Fällen keine signifikanten Unterschiede zwischen GV Weizen- und Kontrolllinien gefunden. Nur eine der vier *Pm3b* Linien zeigte eine etwas geringere Mykorrhizierung als ihre Kontrolllinie, und zwar nur im ersten der beiden Jahre. Unterschiede traten zwischen Weizensorten und vor allem zwischen den Getreidearten auf: Triticale hatte deutlich mehr Mykorrhiza als Gerste (Abb. 7). Eine Behandlung der Pflanzen mit Fungizid wirkte sich negativ auf die Mykorrhiza aus.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass in den Projekten zur Biosicherheitsforschung keine einheitlichen Unterschiede zwischen GV und nicht-GV Pflanzen gefunden werden konnten. Geringfügige Unterschiede zwischen GV Pflanzen und ihren Kontrolllinien waren kleiner als die Unterschiede, die durch die Weizensorte respektive die Getreideart, das Versuchsjahr und den Versuchsstandort verursacht wurden. Insbesondere hatten die GV Pflanzen keinen negativen Einfluss auf andere Organismen, die Biodiversität oder auf Ökosystemleistungen.

Auskreuzung

Ausreichende Isolationsabstände zwischen GV Feldern und nicht-GV Feldern können dafür sorgen, dass Auskreuzung sehr unwahrscheinlich wird. Die Distanz hängt stark von der Art der Kulturpflanze ab. Weizen ist vorwiegend selbstbestäubend und man findet schon im Abstand von wenigen Metern Auskreuzungsraten unter 1 % (Gustafson *et al.* 2005). Die Auskreuzungsversuche waren Teil der Biosicherheitsauflagen des BAFU.

Vom Rand des Versuchsfeldes bis in 200 m Entfernung wurden zusammen mit dem Feldversuch Kleinparzellen mit der Weizensorte Frisal als Pollenempfänger angelegt, die gleichzeitig mit den GV Frisallinien *Chi* und *Chi/Glu* im Versuchsfeld blühten (Foetzki *et al.*, eingereicht). Ein Teil der Samen dieser Kleinparzellen wurde im Gewächshaus ausgesät. Die Linien *Chi* und *Chi/Glu* enthalten zusätzlich eine Herbizidtoleranz gegenüber Glufosinat, dem aktiven Wirkstoff des Herbizids Basta®. Die durch Auskreuzung entstehenden Hybriden wären deshalb ebenfalls herbizidtolerant und können durch Spritzen von Keimlingen mit Basta einfach gefunden werden. Pflanzen, die das Spritzen überlebten, wurden mit PCR auf das Vorhandensein des Basta-Resistenzgens überprüft. >

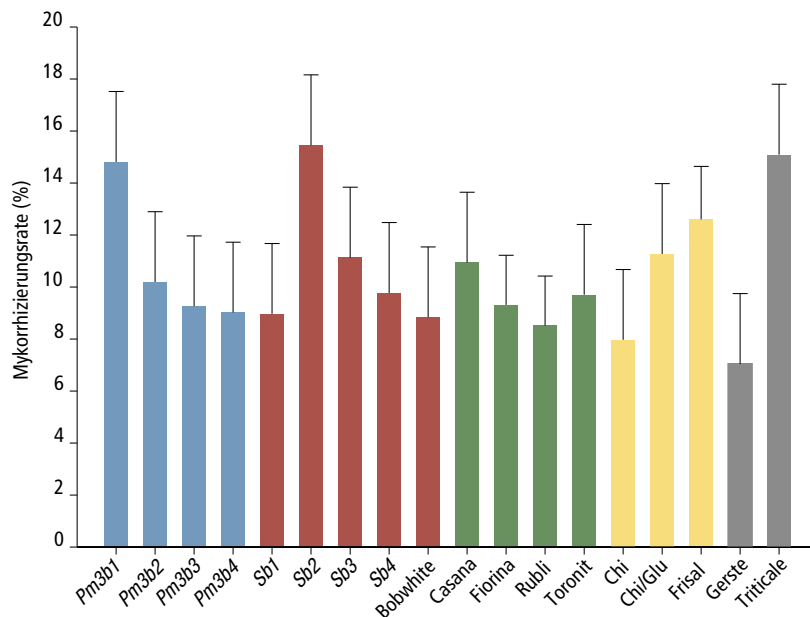


Abb. 7 | Mykorrhizierungsrate von unterschiedlichen Weizenlinien und -sorten sowie Gerste und Triticale am Standort Reckenholz (2008). *Pm3b1–4*: GV Linien der Sorte Bobwhite, *Sb1–4*: Kontrolllinien von *Pm3b1–4*, Casana, Fiorina, Rubli, Toronit: kommerzielle Weizensorten, *Chi*, *Chi/Glu*: GV Linien der Sorte Frisal.

In den drei Versuchsjahren am Reckenholz wurden insgesamt über 130000 Keimlinge auf Auskreuzung untersucht, in Pully zusätzlich etwa 60000 Pflanzen. Am Reckenholz wurde kein Auskreuzungsereignis gefunden. In Pully wurden in 2009 zwei und in 2010 eine Pflanze in der Mantelsaat, das heisst in maximal 2,6 m Entfernung vom Feld, gefunden.

Diskussion und Schlussfolgerungen

Labor- und Gewächshausbedingungen ermöglichen die Optimierung von Versuchsansätzen, um das Potenzial der Wirkung von transgenen Eigenschaften zu testen. Die Versuche zeigten aber auch, dass Freilandversuche unerlässlich sind, da die Pflanzen unter normalen Umweltbedingungen anders reagieren können als dies auf Grund von Labor- und Gewächshausversuchen erwartet werden kann. Eine abschliessende Beurteilung des Verhaltens von GV Pflanzen in der Umwelt kann nur im Freiland untersucht werden.

Resistenzanalyse

Das Einfügen von Resistenzgenen kann erfolgreich für eine erhöhte Mehлтаuresistenz sein wie bei den Allelspezifischen *Pm3* Linien der Sorte Bobwhite gezeigt werden konnte. Schon bei den Vorversuchen im Gewächshaus waren die gentechnisch veränderten *Pm3*

Linien resistenter als ihre Kontrollen (Brunner *et al.* 2011). Dagegen zeigten die Frisallinien *Chi* und *Chi/Glu* im Feldversuch keine bessere Mehлтаuresistenz als ihre Ursprungsorte, obwohl eine verbesserte Resistenz im Gewächshaus beobachtet worden war. Da die Sorte Frisal bereits eine sehr gute Resistenz aufweist, konnten die zusätzlichen Gene aus Gerste hier keine Verbesserung erzielen. Von vielen GV Pflanzen ist jedoch bekannt, dass zusätzliche Chitinase und Glukanase-Gene zur erfolgreichen Pilzresistenz beitragen können (z.B. Shin *et al.* 2008).

Auswirkungen auf Nichtzielorganismen

Grosse Effekte auf Mikro- und Makroorganismen entstehen vor allem durch Standort- und Umweltbedingungen sowie Anbauverfahren. Effekte zwischen GV und nicht GV Weizen auf Mikro- und Makroorganismen sind klein und über die Jahre nicht konsistent oder sie sind gar nicht vorhanden. Sie liegen in der Regel in der Bandbreite der natürlichen Streuung zwischen Weizensorten und anderen Getreidearten.

Die gemessenen Parameter weisen nicht auf unerwünschte Umweltwirkungen der untersuchten GV Weizen hin, die über die Auswirkungen konventioneller Sorten hinausgehen. Die in unseren Feldversuchen vereinzelt beobachteten Effekte auf die untersuchten Organismen scheinen somit nicht ökologisch relevant zu sein.

Auskreuzung

Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen die in der Literatur vorhandenen Daten. Weizen zeigt selbst auf kurze Entfernung sehr geringe Auskreuzungsraten und es wurden keine Auskreuzungsereignisse ausserhalb des Versuchsfeldes gefunden. Isolationsabstände zwischen Weizenfeldern können wirkungsvoll Auskreuzung verhindern. ■

Dank

Wir bedanken uns beim Schweizerischen Nationalfonds (SNF) für die Finanzierung der Projekte.

Riassunto

Prove in campo aperto con frumento geneticamente modificato resistente all'oidio

Dal 2008 al 2010, un'associazione di gruppi di ricerca svizzera hanno condotto in due siti delle prove di pieno campo per valutare benefici e rischi ambientali di linee di frumento primaverile geneticamente modificato (GM) che presentano una migliore resistenza all'oidio. Le linee di frumento GM con resistenza specifica all'oidio e una resistenza generale contro funghi patogeni sono state confrontate con varietà di frumento commerciali, linee testimone, nonché con orzo e triticale. Oltre alla resistenza all'oidio sono stati esaminati gli effetti su insetti e altri organismi del suolo (batteri, funghi micorrizici, fauna del suolo) come pure gli incroci spontanei del frumento. Diverse linee di frumento GM si sono rivelate decisamente più resistenti all'oidio rispetto a quelle di controllo. Non sono stati invece riscontrati effetti rilevanti su organismi non bersaglio, sulla loro biodiversità e sulle funzioni ecosistemiche studiate. Nel complesso, le differenze tra linee GM e linee di controllo sono risultate inferiori a quelle tra varietà di frumento commerciali e altre specie di cereali. Casi d'incroci spontanei sono rari e si sono riscontrati soltanto in un breve raggio di distanza dalle piante GM.

Summary

Field trials with genetically modified powdery mildew-resistant wheat

The benefits and environmental risks of genetically modified (GM) spring wheat with improved powdery mildew resistance were investigated on two field sites by a consortium of Swiss research groups from 2008 to 2010. GM wheat lines with specific powdery mildew resistance and general fungal resistance were compared with control lines, commercial wheat varieties, and with barley and triticale. The impact on insects and soil organisms (bacteria, mycorrhizal fungi, soil fauna) as well as outcrossing to wheat were investigated in addition to powdery mildew resistance. Several GM wheat lines were significantly more resistant to powdery mildew than their controls. No relevant impact was found on non-target organisms, their biodiversity or selected ecosystem services. On the whole, the differences between GM and control lines were smaller than between commercial wheat varieties or other cereal crops. Outcrossing events were rare and found only at a short distance from GM test plants.

Key words: genetically modified wheat, powdery mildew, disease resistance, non-target organisms, outcrossing.

Literatur

Die Literaturliste kann bei der Erstautorin bezogen werden.