

Mit Rhabarber, Faulbaum und Gerbstoffen gegen Fusarien und Mykotoxine in Weizen

Hans-Rudolf Forrer¹, Tomke Musa¹, Fabienne Schwab², Eveline Jenny¹, Thomas D. Bucheli¹, Felix E. Wettstein¹, Keqiang Cao³ und Susanne Vogelgsang¹

¹Agroscope, Institut für Nachhaltigkeitswissenschaften INH, 8046 Zürich, Schweiz

²Duke University, Center for the Environmental Implications of Nanotechnology, Durham, NC 27708, USA

³Agricultural University of Hebei, College of Plant Protection, Baoding 071001, China

Auskünfte: Hans-Rudolf Forrer, E-Mail: hans-rudolf.forrer@agroscope.admin.ch



Medizinalpflanzen wirken auch gegen Fusarien: Faulbaum-Rinde, Rhabarberwurzelstücke und Mehl der Chinesischen Galle (mit Eichengalle, *Galla legnosa*). (Foto: Hans-Rudolf Forrer, Agroscope)

Einleitung

Bedeutung und Auftreten von *Fusarium*-Arten

Fusarium-Pilze zählen zu den wichtigsten Krankheitserregern im Getreidebau. Gefürchtet sind Fusarien nicht nur wegen Ernte- und Qualitätsverlusten, sondern vor allem aufgrund der Bildung von Giftstoffen, den so genannten Mykotoxinen. Die vorherrschende *Fusarium*-Art in Weizen ist *Fusarium graminearum* (FG). Sie bildet die Mykotoxine Deoxynivalenol (DON), Nivalenol (NIV) sowie Zearalenon (ZEA), die Immunschwächen, reduzierte Nahrungsaufnahme oder Fruchtbarkeitsstörungen verursachen.

Bis 1974 war *Fusarium nivale* (heute in der Gattung *Microdochium*), der Erreger des Getreideschneeschimfels, der keine Mykotoxine bildet, die weitaus häufigste Art (Häni 1977). In 86 % der Weizenproben wurde ein *Microdochium*-Befall von 1 % oder mehr beobachtet, und im Mittel wiesen 13 % aller Körner Befall auf (Tab. 1). Die echten Fusarien spielten nur eine untergeordnete Rolle und FG wurde nur in 6 % der Proben nachgewiesen. Im Mittel wiesen nur 0,1 % der Körner FG-Befall auf. Deshalb, aber auch weil Mykotoxine damals noch kaum ein Thema waren, wurde den Fusarien nur eine geringe Bedeutung zugemessen. Mit Ausnahme von *F. poae* haben sich die

Befallszahlen auch in einem weiterem Monitoring von 1991–1999 kaum verändert.

2007–2010: 60-mal mehr *F.-graminearum*-Befall

Mit der zunehmenden Bedeutung der Nahrungs- und Futtermittelsicherheit, der Beachtung der Mykotoxine sowie Berichten über eine weltweite Zunahme standen nun Fusarien in Getreide im Mittelpunkt. Dass dies gerechtfertigt war, geht aus dem neusten Schweizer Weizenmonitoring von 2007–2010 hervor: 76 % der Proben hatten FG-Befall und im Mittel wiesen 6 % der Weizenkörner Befall auf (Vogelsgang, persönliche Mitteilung).

Der mittlere DON-Gehalt dieser Proben betrug 0,65 ppm (mg/kg) und 17 % der Proben überschritten den Grenzwert von 1,250 ppm für unverarbeitetes Getreide. Wie aber kann die drastische Zunahme des FG-Befall und damit der DON-Belastung erklärt werden? Die Weizen-Monitorings zeigten, dass meist dort Probleme mit FG und DON auftreten, wo Weizen nach Mais mit Direktsaat oder reduzierter Bodenbearbeitung angebaut wird. Dabei bleiben Pflanzenreste des Mais, die oft FG-Befall aufweisen, auf der Erdoberfläche. Der FG-Pilz überwintert in den Maisresten und bildet dann im Frühsommer Fruchtkörper mit Askosporen, die den Weizen bei der Blüte infizieren. Die starke Zunahme der Probleme mit FG führen wir darauf zurück, dass sich der Maisanbau in der Schweiz von 1960 bis heute von weniger als 5000 ha auf über 60 000 ha ausgebreitet hat, und es in den letzten 20 Jahren einen starken Trend zu pflugloser, bodenschonender Bodenbearbeitung gab.

Risikofaktoren: Vorfrucht Mais und Bodenschutz

Für die enorme Zunahme des FG-Befalls zwischen 1991–1999 und 2007–2010 dürfte neben der Ausweitung des pfluglosen Anbaus auch der zunehmende Anbau von FG-anfälligen Weizensorten und der starke Rückgang der Weizensorte Arina sein, die über einzigartige FG-Resistenzeigenschaften verfügt. Nachdem Arina in den 1980er-Jahren bis über 80 % der Weizenanbaufläche und in der Periode 1991–1999 immer noch über 60 % der Weizenanbaufläche beanspruchte, sank deren Anteil bis heute auf weniger als 10 %.

Zusammenfassung

In den letzten Jahren hat die Bedeutung von Fusarien und ihrer Giftstoffe beim Weizen stark zugenommen. Mit Medizinalpflanzen können Fusarien ökologisch bekämpft werden, wie diese Studie zeigt: Suspensionen aus *Galla chinensis* (Chinesische Galle) und Tanninsäure hemmten die Sporenkeimung und das Myzelwachstum von *Fusarium graminearum* *in vitro* um 75 bis 100 %. In Klimakammerversuchen mit künstlich infiziertem «Apogee»-Weizen reduzierten Behandlungen mit Tanninsäure, *G. chinensis* und *Rheum palmatum* (Chinesischer Rhabarber) den Deoxynivalenol(DON)-Gehalt der Körner um 67 bis 81 %. Die Rinde des Faulbaums (*Frangula alnus*) zeigte zwar weder *in vitro* noch in der Klimakammer einen Effekt, in Feldversuchen mit zwei Winterweizensorten reduzierte sie den DON-Gehalt aber um 60 %. Die ebenfalls gute Wirkung der Tanninsäure und von *G. chinensis* kann mit der Pilztoxizität erklärt werden, diejenige von *F. alnus* führen wir auf Resistenzinduktion zurück. Wir konnten erstmals zeigen, dass mit Pflanzen-Stoffen eine echte Alternative zum Einsatz von synthetischen Fungiziden zur Bekämpfung von Fusarien bei Weizen besteht.

Tab. 1 | *Fusarium*-Befall von Winterweizen-Körnern 1971–1974, 1991–1999 und 2007–2010 (Mittelwerte aller Körner mit Befall in %, in Klammern % der Weizenproben mit mind. 1 % Befall; –: keine Angaben)

Zeitraum	Anzahl Proben	<i>Microdochium</i> spp.	<i>F. graminearum</i> (FG)	<i>F. poae</i> (FP)	<i>F. avenaceum</i> (FA)	<i>F. culmorum</i> (FC)	<i>F. crookwellense</i> (FCr)
1971–1974 ^a	101	12,8 (86)	0,1 (6)	0,2 (15)	0,4 (30)	0,2 (13)	–
1991–1999 ^b	550	10,1 (–)	0,3 (–)	1,1 (–)	0,2 (–)	0,1 (–)	–
2007–2010 ^c	527	12,7 (90)	6,0 (76)	1,9 (60)	0,9 (38)	0,1 (7)	0,1 (9)

a) Häni 1977, b) Schachermayr und Fried 2000, c) Vogelsgang et al., in Bearbeitung

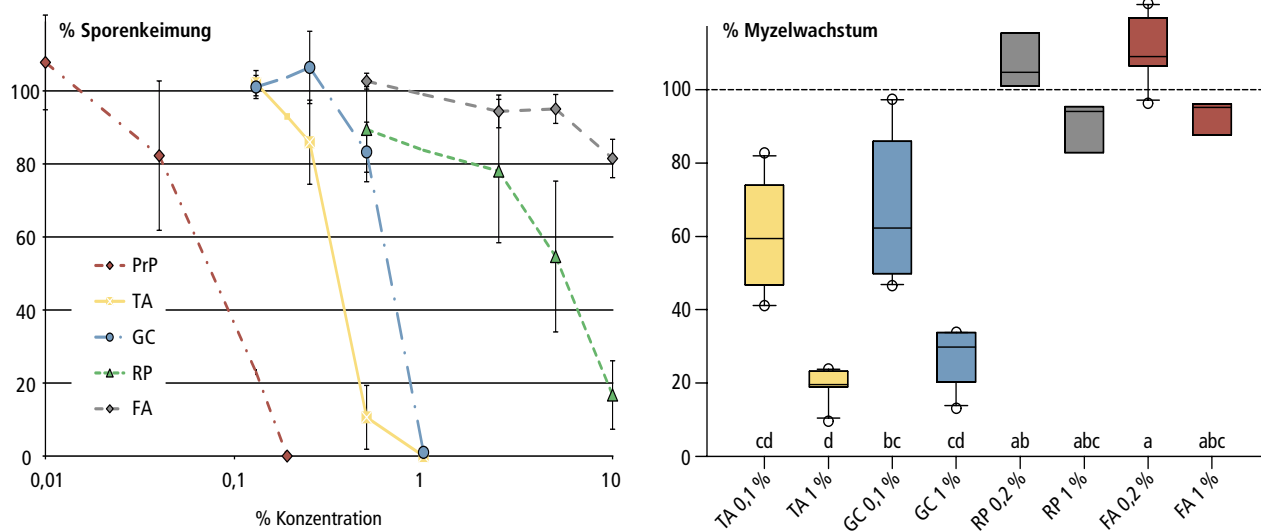


Abb. 1 | Einfluss von Suspensionen mit Tanninsäure (TA), *Galla chinensis* (GC), *Rheum palmatum* (RP), *Frangula alnus* (FA) und Pronto Plus® (PrP) auf die Sporenkeimung (links) und das Myzelwachstum (rechts) von *Fusarium graminearum* (FG0407); PrP bei Myzelwachstum nicht aufgeführt, da mit 0,1 % vollständig gehemmt. Mittelwerte mit Standardfehlern (Sporenkeimung) sowie Boxplots mit Median- und Max-, Min-Werten (Myzelwachstum, Behandlungen mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich statistisch nicht, Rang-ANOVA mit Dunn-Test, $p < 0,05$). Die Daten sind im Vergleich (%) zu den Werten der Kontrollverfahren dargestellt.

In Kenntnis der Problematik wurde von der Beratung empfohlen, entweder keinen Weizen nach Mais anzubauen oder Maisreste zu zerkleinern und unterzupflügen (Blum *et al.* 2011).

Weizen und Mais sind flächenmässig im Ackerbau die wichtigsten Kulturen. Dies macht eine Trennung von Mais und Weizen nicht einfach. Aus ökonomischen Gründen und in Anbetracht des Bodenschutzes wäre die Rückkehr zum Pflug zudem fragwürdig. Daher bleibt die FG/DON-Problematik aktuell. Im konventionellen Anbau werden hingegen oft synthetische Fungizide eingesetzt. Im Bio-Anbau ist das Risiko für einen FG-Befall aufgrund des häufigeren Pflugeinsatzes geringer als bei anderen Anbauformen. Mit der Zunahme des Maisanbaus und dem Trend zu bodenschonender Bearbeitung erhöht sich aber auch hier das Risiko für höhere Toxinbelastungen. Deshalb prüften wir von 2003 bis 2005, analog zu unseren Untersuchungen für den Ersatz von Kupfer zur Krautfäule-Bekämpfung bei Kartoffeln (Dorn *et al.* 2007), die Eignung von Antagonisten, Medizinalpflanzen und Pflanzenstärkungsmitteln zur *Fusarium*-Bekämpfung. Da mit Medizinalpflanzen erfolgsversprechende Resultate erzielt wurden, beschränkten wir uns in der Folge auf diese.

Material und Methoden

Auswahl der *Fusarium*-Pilze und Medizinalpflanzen

In unseren Untersuchungen verwendeten wir die drei *F.-graminearum*(FG)-Isolate und ein *F.-crookwellense*(FCr)-Isolat, die von Weizenkörnern aus verschiedenen Gebie-

ten des Mittellandes isoliert wurden. Die Bedingungen für die Anzucht und Vermehrung der Fusarien sind in Forrer *et al.* (2014) beschrieben.

Untersucht haben wir die Wirkungen von folgendem Pflanzenmaterial: Mehle der Chinesischen Galle (*Galla chinensis*: GC), von Wurzeln des Chinesischen Rhabarbers (*Rheum palmatum*: RP) und von der Rinde des Faulbaums (*Frangula alnus*: FA). GC-Mehle zeigten gute Wirkungen gegen *M. majus*, den Erreger des Getreideschneesimmels, und FA, GC und RP gegen *Phytophthora infestans* bei Kartoffeln (Vogelsgang *et al.* 2013, Hu *et al.* 2009; Krebs *et al.* 2007). Diese Pflanzenprodukte enthalten alle Tannine und andere phenolische Substanzen mit antibiotischen und antioxidativen Wirkungen, die auch in der Medizin und zu Diätzwecken Eingang gefunden haben. Da GC rund 70 % Tanninsäure (Gerbstoff, tannic acid, TA) enthält, prüften wir in unseren Versuchen auch dieses hochmolekulare pflanzliche Polyphenol. Als Massstab für die Wirksamkeit der Pflanzenprodukte wurde das synthetische Fungizid Pronto Plus® (Wirkstoffe Tebuconazol und Spiroxamin) mitgeprüft (Forrer *et al.* 2014).

Prüfung in Labor, Klimakammer und im Feld

Im Labor wurde *in vitro* die Wirkung der Pflanzenprodukte auf die Sporenkeimung und das Myzelwachstum von FG untersucht. In Klimakammerversuchen mit künstlichen *Fusarium*-Infektionen (FG/FCr-Sporensuspensionen zum Zeitpunkt der Blüte) des Sommerweizens «Apogee» (Bugbee und Koerner 1997) wurde die Wirkung auf den Befall der Ähren und die Belastung der

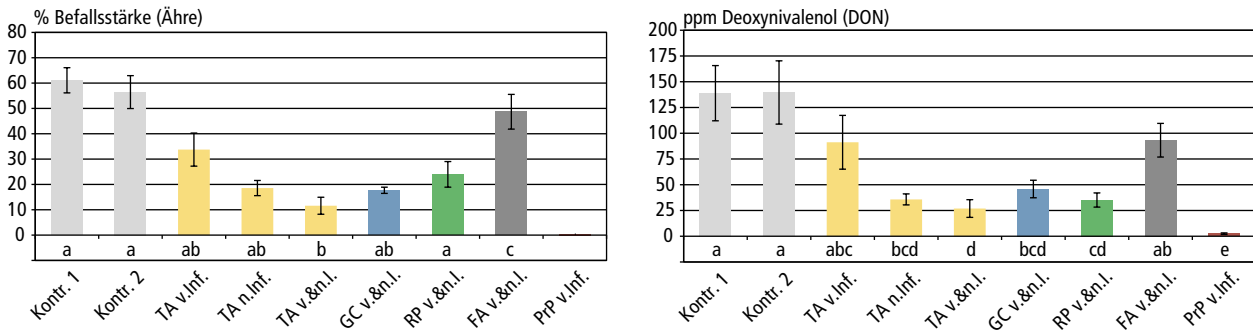


Abb. 2 | Klimakammer-Versuch: Einfluss von Suspensionen mit Tanninsäure (TA), *Galla chinensis* (GC), *Rheum palmatum* (RP), *Frangula alnus* (FA) und Pronto Plus® (PrP) bei künstlicher *Fusarium-graminearum*-Infektion des Sommerweizens «Apogee» auf den Befall der Ähren (Fläche in %) und den Deoxynivalenol(DON)-Gehalt der Weizenkörner. Abkürzungen: Kontr. 1 und 2: Kontrollen mit Applikation von normalem und auf pH 4,0 angesäuertem Leitungswasser; v. Inf., n. Inf. und v.& n. Inf.: Applikation vor (v), nach (n) sowie vor und nach (v.& n.) der Infektion (Inf./I.). Mittelwerte mit Standardfehlern von zwei Versuchswiederholungen. Verfahren, die mit gleichen Buchstaben gekennzeichnet sind, zeigten keine gesicherten Unterschiede (Tukey-Test, $p < 0,05$).

Körner mit dem Mykotoxin DON untersucht. Von 2006–2010 wurden Feldversuche mit den Weizensorten «Runal» und «Levis» und mit künstlichen Infektionen mit Sporensuspensionen, wie in der Klimakammer, durchgeführt. Zudem wurde 2010 ein Feldversuch mit halb-natürlichen *Fusarium*-Infektionen durchgeführt, bei dem wir im November 2009 auf der Versuchsfläche FG/FCr-belastetes Maisstroh verteilten. In den Versuchen mit künstlichen Infektionen wurden 5-%-Suspensionen der Pflanzenprodukte jeweils einen Tag vor und/oder nach der Infektion appliziert. Im Feldversuch mit halb-natürlichen Infektionen erfolgten die Behandlungen vor und/oder nach einer FusaProg-Infektionsperiode während der Blüte (Musa et al. 2007; www.fusaprog.ch). Verfahren, Analytik und Statistik sind in Forrer et al. (2014) beschrieben.

Resultate und Diskussion

In-vitro-Wirkung der Medizinalpflanzen

Die Sporenkeimung des *F. crookwellense* (FCr)-Isolats und der drei *F. graminearum*(FG)-Isolate wurde durch die Tanninsäure ähnlich stark gehemmt, weshalb in den *In-vitro*-Untersuchungen nur ein FG-Isolat verwendet wurde. Mit Pronto Plus® (PrP) und mit Suspensionen der Tanninsäure (TA) und Chinesischer Galle (GC) genügte Konzentration von 0,2 % und 1 %, um die Keimung vollständig zu hemmen. Mit Chinesischem Rhabarber (RP) und der Rinde des Faulbaums (FA) hingegen genügte dazu nicht einmal Suspensionen von 10 % (Abb. 1). Ein ähnliches Bild ergab sich beim Myzelwachstum: Während PrP das Myzelwachstum bereits bei 0,2 % vollständig hemmte, bewirkten 1-%-Suspensionen der Pflanzen-

stoffe GC und TA Wachstumsreduktionen von 80–85 % (RP: 10 %). Mit FA wurde keine gesicherte Hemmung gemessen. Die Versuche zeigten, dass TA und GC gute pilzhemmende Wirkungen haben, die aber zehnfach geringer sind als jene des Fungizids. Auch RP verfügte über ein schwaches Hemmpotenzial, nicht aber FA. Mit GC und dem Schneeschimmelpilz *M. majus* wurden ähnliche *In-vitro*-Resultate erzielt (Vogelsgang et al. 2013). ➤

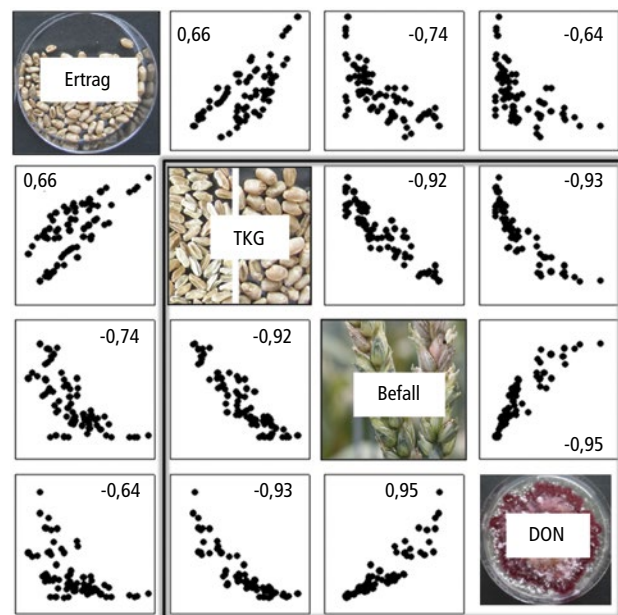


Abb. 3 | Klimakammerversuch: Streudiagramm-Matrix, welche die Beziehungen zwischen dem Ertrag, dem Tausendkorngewicht (TKG), dem Befall der Ähren und dem DON-Gehalt des Apogee-Weizens der Klimakammerversuche visualisiert. Die Zahlen in den Kästen entsprechen den Spearman-Korrelationskoeffizienten; der Bereich mit absoluten Werten grösser als 0,9 ist hervorgehoben.

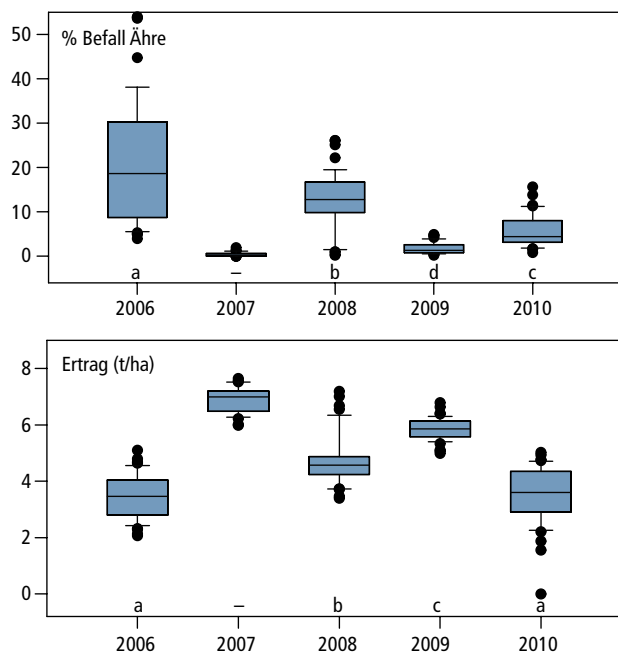


Abb. 4 | Feldversuche: *Fusarium*-Befall und Ertrag mit zwei Weizensorten («Runal» und «Levis», 6 Verfahren, vgl. Abb. 5) und künstlichen *Fusarium-graminearum*- und *F.-crookwellense*-Infektionen 2006–2010. Die Boxplots mit Median umfassen die Daten beider Sorten und aller Verfahren. Boxplots, die mit gleichen Buchstaben gekennzeichnet sind, zeigten keine gesicherten Unterschiede (Tukey-Test, $p < 0,05$); 2007 ist im Jahresvergleich nicht berücksichtigt, da nur 5 Verfahren geprüft wurden.

Klimakammerversuch mit der Weizen-Sorte «Apogee»

Da die Suspensionen von TA und GC pH-Werte nahe 4,0 hatten, führten wir zwei Leitungswasser-Kontrollverfahren durch, wobei eines davon auf pH 4,0 angesäuert wurde. Die Ähren der beiden Kontrollverfahren waren mit im Mittel der zwei Versuchsreihen und Verfahren rund 60 % befallener Ährenoberfläche stark befallen und der DON-Gehalt der Apogee-Körner betrug über 125 ppm (mg/kg). Wie bei den *In-vitro*-Tests bewirkte PrP die stärkste Befallshemmung und reduzierte die DON-Belastung um 98 %. Bei den Pflanzenprodukten reduzierte vor und nach der Infektion applizierte TA den Befall statistisch signifikant, um 80 %. Alle Pflanzenprodukte, mit Ausnahme von FA und einem TA-Verfahren (Behandlung nur vor der Infektion), reduzierten hingegen den DON-Gehalt signifikant, um 67–80 % (Abb. 2).

Zwischen allen Kriterien bestanden enge Beziehungen, wie aus der Streudiagramm-Matrix der Messdaten der Klimakammer-Versuche mit «Apogee» hervorgeht (Abb. 3). Mit Korrelationskoeffizienten von über 0,90 wurden sehr enge Beziehungen zwischen dem Ährenbefall, dem Tausendkorngewicht und dem DON-Gehalt der Körner beobachtet.

Die Resultate zeigten eine hohe Übereinstimmung mit jenen der *In-vitro*-Experimente: hervorragende Wirkung von PrP, gefolgt von TA, GC und RP, aber keine Wirkung von FA.

Feldversuche mit künstlichen Infektionen

Von 2006 bis 2010 prüften wir die Wirkungen von TA, GC und FA in Feldversuchen mit künstlichen Infektionen mit FG- und FCr-Sporensuspensionen. Aus Kapazitätsgründen verzichteten wir auf die Prüfung von RP. Der Infektionserfolg in Feldversuchen hängt von diversen externen Faktoren, wie der Entwicklung der Wirtspflanze und der Witterung zum Zeitpunkt der Infektion, ab. Wie stark der Befall und der Ertrag im Laufe der Jahre variierte, geht aus Abbildung 4 hervor.

Trotz ausgeprägter Jahresunterschiede bestanden zwischen den Messgrößen hochsignifikante ($p < 0,001$), enge Korrelationen (Spearman, $n = 227$): $-0,806$ zwischen Befall und Ertrag, $-0,840$ zwischen Ertrag und DON, sowie $0,899$ zwischen DON und NIV. Abgesehen von FA, der im Feld ebenso gute Wirkungen zeigte wie TA und GC, entsprachen die Resultate den *In-vitro*- und den Klimakammerversuchen. Bemerkenswert war zudem, dass PrP, mit Ausnahme beim Ertrag, statistisch nicht besser abschnitt als die Pflanzenprodukte (Abb. 5). Mit PrP war der Ertrag im Mittel um 37 % und mit den Pflanzenprodukten um 13–23 % (TA) höher als jener des Kontroll-Verfahrens. Der höhere Ertrag mit PrP könnte teilweise auf seine breite Wirkung für Ähren- und Blattkrankheiten zurückzuführen sein. Die gute Wirkung der nicht pilztoxischen FA können wir nur mit einer Induktion von Resistenzmechanismen, das heisst, der Bildung von pflanzeigenen Abwehrstoffen, erklären. Eine Resistenzinduktion durch FA wurde auch in Untersuchungen gegen den Falschen Mehltau der Rebe nachgewiesen (Gindro *et al.* 2007).

Feldversuch mit halbnatürlichen Infektionen

In diesem Versuch 2010 nutzten wir zur Bestimmung des Applikationszeitpunktes der Produkte das *Fusarium*- und DON-Prognosesystem FusaProg (Musa *et al.* 2007), das für den 6.–7. Juni Infektionsperioden anzeigte. Entsprechend der Einteilung in der Liste der empfohlenen Getreidesorten von Agroscope (www.swissgranum.ch) massen wir bei «Levis» (Klasse I) im Vergleich zu «Runal» (Klasse Top) einen 25 % höheren Ertrag. Die Resistenz für Ährenfusariosen für «Runal» und «Levis» ist als «mittel» beziehungsweise «mittel-schwach» aufgeführt. In den Proben der Kontroll-Verfahren massen wir 3,7 mg/kg (ppm) beziehungsweise 8,5 mg/kg DON. Diese DON-Belastungen sind in guter Übereinstimmung mit Praxiswerten bei direkt gesättem Weizen nach Mais (Vogelgsang *et al.* 2011).

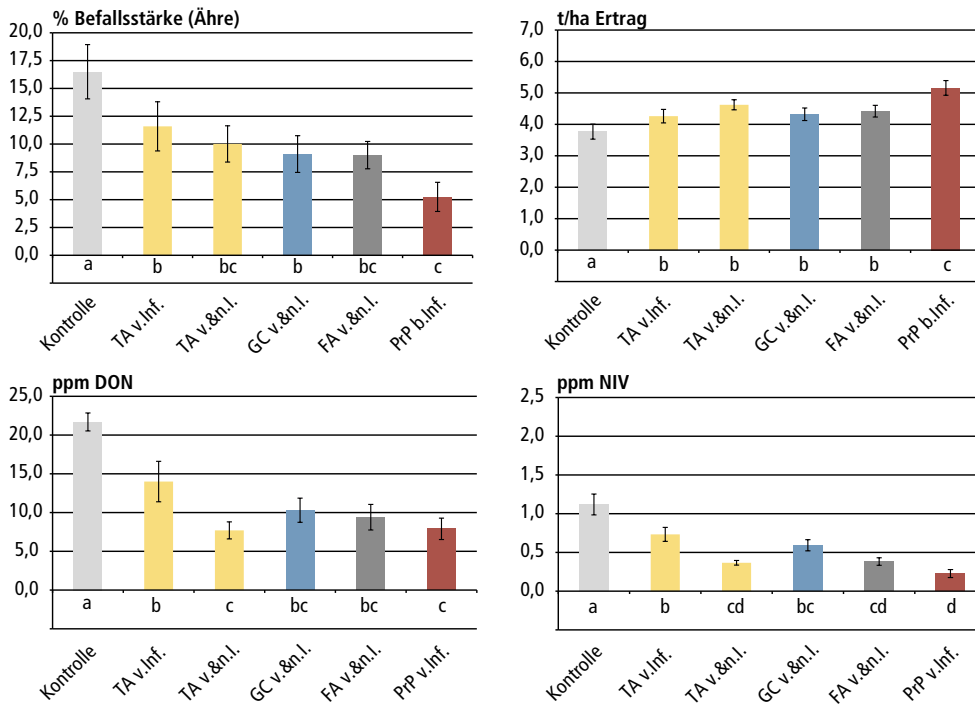


Abb. 5 | Feldversuche mit den Winterweizensorten «Runal» und «Levis» mit künstlichen *Fusarium-graminearum*- und *F.-crookwellense*-Infektionen in den Jahren 2006 und 2008–2010: Einfluss von Suspensionen mit Tanninsäure (TA), *Galla chinensis* (GC), *Frangula alnus* (FA) und Pronto Plus® (PrP) auf den *Fusarium*-Befall der Ähren, den Weizenertrag, den Deoxynivalenol(DON)- und den Nivalenol(NIV)-Gehalt der Weizenkörner. Mittelwerte mit Standardfehlern von 4 Versuchen mit 2 Sorten und 4 Wiederholungen. Abkürzungen und Statistik wie in Abb. 2.

Wie in den Feldversuchen mit künstlichen Infektionen war die Wirkung der Pflanzenprodukte bei halbnatürlichen Infektionen gut bis sehr gut: gemittelt über beide Sorten, wurde der DON-Gehalt bei ein- und zweimaliger Behandlung mit TA um 54 % respektive 70 %, mit GC um

27 % respektive 54 % und mit FA um 59 % respektive 55 % reduziert (Abb. 6). Mit Triazol-Fungiziden wurden in der Schweiz und Grossbritannien DON-Reduktionen von 50 % (Forrer et al. 2000) respektive 60 % (Edwards et al. 2010) beobachtet. In diesem Versuch reduzierte PrP

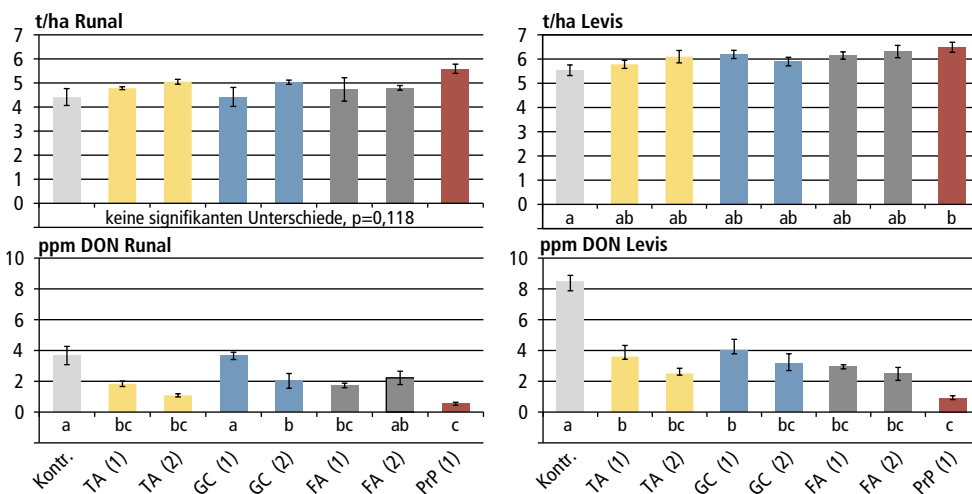


Abb. 6 | Feldversuch mit den Winterweizensorten «Runal» und «Levis» und halbnatürlichen *Fusarium*-Infektionen durch Maisstopplern: Einfluss von Suspensionen mit Tanninsäure (TA), *Galla chinensis* (GC), *Frangula alnus* (FA) und Pronto Plus® (PrP) auf den Weizenertrag und den Deoxynivalenol(DON)-Gehalt der Weizenkörner. Mittelwerte mit Standardfehlern von 4 Wiederholungen. Abkürzungen: (1) Applikation am 7.6.2010, (2) am 7.6.2010 sowie am 8.6.2010; Buchstaben unter Säulen wie in Abb. 2.

den DON-Gehalt des Weizens um 87 %, was auf den optimalen Behandlungszeitpunkt basierend auf Fusa-*Prog* zurückzuführen sein dürfte.

Wie in den Feldversuchen mit künstlicher Infektion war auch hier die Wirkung von FA sehr gut. Unsere Annahme, dass FA bei «Runal» und «Levis» Resistenz induziert, wurde damit erhärtet. Dass eine zweimalige FA-Applikation keinen Vorteil brachte, wie dies bei den fungitoxischen Pflanzenprodukten TA und GC der Fall ist, ist ein weiteres Indiz für diese Hypothese. Die Faulbaumrinde schnitt auch bezüglich Ertrag gut ab und verbesserte diesen gegenüber der Kontrolle im Mittel um 10 % (PrP: 22 %). Dass FA beim Ertrag nicht hinter TA (9 %) zurückfiel, ist ein Hinweis, dass die Induktion der Resistenz nicht zu Lasten des Ertrags geht. Eine offene Frage störte jedoch zunächst das Bild: Wieso hatte FA keinen Einfluss auf den *Fusarium*-Befall und den DON-Gehalt bei den Versuchen mit «Apogee»? Eine Erklärung dazu dürfte in der in «Apogee» fehlenden QTL-Region (quantitative trait locus = Region in einem Chromosom, das einen Einfluss auf die Ausprägung eines quantitativen phänotypischen Merkmals hat) des Chromosoms 3BS liegen, die für die *Fusarium*-Resistenz wichtig ist. Dieses Manko an Resistenz ist für «Apogee» bedeutungslos, da die Sorte für die Weizenproduktion in Weltraumstationen bestimmt war (Bugbee und Koerner 1997).

Schlussfolgerungen

Unsere Untersuchungen zeigen, dass die Resistenzinduktion mit Faulbaumrinde (FA) für den Bio-Weizenanbau eine gute Möglichkeit zur Regulierung von Fusarien und zur Reduktion des Mykotoxinrisikos darstellt. Auch für die Integrierte Produktion könnte dies eine Alternative zum Einsatz von Ährenfungiziden sein. Für beide Anbausysteme könnten auch die direkt pilztoxisch wirkende Tanninsäure (TA) sowie die Chinesische Galle (GC), die ähnlich gute Resultate wie FA ergaben, gut geeignet sein. Für alle Produkte ist jedoch entscheidend, dass sie gezielt in Bezug zum Wachstumsstadium des Weizens und des Infektionsrisikos appliziert werden. Es ist anzunehmen, dass mit einem Einsatz des Resistenzinduktors FA zu Beginn der Blüte, gefolgt von einer Applikation von TA oder GC kurz vor oder nach einer Infektionsperiode noch höhere Wirkungen erzielt werden können als üblicherweise mit Fungiziden. Damit FA optimal eingesetzt werden kann, wäre es wichtig, die Reaktion der wichtigsten Sorten auf FA zu prüfen und Abklärungen über das Spektrum und die Dynamik der induzierten Stoffe zu machen. Damit könnte auch abgeklärt werden, ob mit der Anwendung von FA auch diätetisch wertvolle Stoffe gebildet werden (Forrer *et al.* 2014). ■

Riassunto

Rabarbaro, frangola e tannine contro le infezioni da *Fusarium* e le micotossine nel frumento

Negli ultimi anni la presenza nel frumento dei funghi del genere *Fusarium* e delle loro tossine è aumentata notevolmente. I *Fusarium* possono essere contrastati in modo naturale con piante medicinali, come dimostra questo studio: sospensioni ricavate dalla *Galla chinensis* e dall'acido tannico hanno inibito del 75–100 per cento la germinazione delle spore e la crescita del micelio del *Fusarium graminearum in vitro*. In esperimenti condotti in camera climatica con la varietà «Apogee» infettato artificialmente, i trattamenti con acido tannico, *G. chinensis* e *Rheum palmatum* (rabarbaro cinese) hanno ridotto del 67–81 per cento il contenuto di deossinivalenolo (DON) nei chicchi. La corteccia della frangola (*Frangula alnus*) non ha dato alcun effetto né *in vitro* né nella camera climatica, mentre nelle prove sul campo con due varietà di frumento il contenuto di DON è stato ridotto del 60 per cento. L'effetto positivo sia dell'acido tannico che della *G. chinensis* si spiega con la tossicità del fungo, mentre quello della *F. alnus* lo imputiamo all'induzione di resistenza. Per la prima volta siamo riusciti a dimostrare che le sostanze vegetali costituiscono una reale alternativa all'uso di fungicidi nella lotta contro i *Fusarium* nel frumento.

Literatur

- Blum A., Chervet A., Forrer H.-R., Vogelgsang S. & Schmid F., 2011. Fusarien im Getreide. Datenblatt Ackerbau 2.5.23, AGRIDEA, 4 S.
- Bugbee B. & Koerner G., 1997. Yield comparisons and unique characteristics of the dwarf wheat cultivar 'USU-Apogee'. *Adv. Space Res.* **20**, 1891–1894.
- Dorn B., Musa T., Krebs H., Fried P.M. & Forrer H.-R., 2007. Control of late blight in organic potato production: Evaluation of copper-free preparations under field, growth chamber and laboratory conditions. *Eur. J. Plant Pathol.* **119**, 217–240.
- Edwards S.G. & Godley N.P., 2010. Reduction of Fusarium head blight and deoxynivalenol in wheat with early fungicide applications of prothioconazole. *Food Addit. Contam. A.* **27**, 629–635.
- Forrer H.-R., Hecker A., Külling C., Kessler P., Jenny E. & Krebs H., 2000. Fusarienbekämpfung mit Fungiziden? *Agrarforschung* **7**, 258–263.
- Forrer H.-R., Musa T., Schwab F., Jenny E., Bucheli T.D., Wettstein F.E. & Vogelgsang S., 2014. Fusarium head blight control and prevention of mycotoxin contamination in wheat with botanicals and tannic acid. *Toxins* **6**, 830–849.
- Gindro K.G., Godard S., De Groot I., Viret O., Forrer H.-R. & Dorn B., 2007. Is it possible to induce grapevine defence mechanisms? A new method to evaluate the potential of elicitors. *Rev. Suisse Vitic. Arboric. Hortic.* **39**, 377–383.
- Hu T., Wang S., Cao K., Forrer H.-R., 2009. Inhibitory effects of several Chinese medicinal herbs against *Phytophthora infestans*. *ISHS Acta Hortic.* **834**, 205–210.

Summary

Control of *Fusarium* fungi and mycotoxins in wheat with rhubarb, alder buckthorn and tannins

During the past few years, the importance of *Fusarium* fungi and their toxins in wheat has increased significantly. This study demonstrated that fusaria can be controlled organically with medicinal plants: Suspensions of *Galla chinensis* and tannic acid inhibited spore germination and mycelial growth of *Fusarium graminearum in vitro* by 75 to 100 %. In climate chamber experiments with artificially infected «Apogee» wheat, treatments with tannic acid, *G. chinensis* (Chinese galls) and *Rheum palmatum* (Chinese rhubarb) reduced the deoxynivalenol (DON) content in grains by 67 to 81 %. Although the bark of alder buckthorn (*Frangula alnus*) showed no effect either *in vitro* or in the climate chamber, it reduced the DON content of two winter-wheat varieties by 60 % under field conditions. The good efficacy of tannic acid and *G. chinensis* can be explained by fungal toxicity, whereas that of *F. alnus* can be explained by resistance induction. This is the first time, that plant compounds proved to be a true alternative to synthetic fungicides for controlling *Fusarium* fungi in wheat.

Key words: botanical, *Fusarium graminearum*, induced resistance, mycotoxin, wheat.

- Häni F.J., 1977. Über Getreidefusariosen – insbesondere *Fusarium nivale* (Fr.) Ces. Bei Weizen und Roggen. Dissertation ETH-Zürich, ETH- Nr.6092.
- Krebs H., Musa T., Forrer H.-R., 2007. Control of potato late blight with extracts and suspensions of buckthorn bark. In: Proceedings Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Universität Hohenheim, Stuttgart, Germany, 20–23, March 2007. (in German).
- Musa T., Hecker A., Vogelgsang S. & Forrer H.-R., 2007. Forecasting of *Fusarium* head blight and deoxynivalenol content in winter wheat with FusaProg. *EPPO Bull.* **37**, 283–289.
- Reddy M.V.B., Arul J., Angers P. & Couture L., 1999. Chitosan treatment of wheat seeds induces resistance to *Fusarium graminearum* and improves seed quality. *J. Agric. Food Chem.* **47**, 1208–1216.
- Schachermayr G., & Fried P. M., 2000. Problemerkis Fusarien und ihre Mykotoxine. *Agrarforschung* **7** (6), 252–257.
- Vogelgsang S., Hecker A., Musa T., Dorn B. & Forrer H.-R., 2011. On-farm experiments over 5 years in a grain maize/winter wheat rotation: Effect of maize residue treatments on *Fusarium graminearum* infection and deoxynivalenol contamination in wheat. *Mycotoxin Res.* **27**, 81–96.
- Vogelgsang S., Bänziger I., Krebs H., Legro R.J., Sanchez-Sava V. & Forrer H.-R., 2013. Control of *Microdochium majus* in winter wheat with botanicals - From laboratory to the field. *Plant Pathol.* **62**, 1020–1029.