

Ährenbefall mit *Fusarium graminearum* und Mykotoxingehalt des Kornguts von Winterweizen, -triticale und -roggen in Abhängigkeit von Sorte und Anbauintensität

Fusarium (*F. graminearum*) Infection of Ears and Toxin Concentration of Grains of Winter Wheat, Triticale and Rye Depending on Cultivars and Production Intensity

W. Aufhammer, W. Hermann & E. Kübler, Institut für Pflanzenbau und Grünland, Universität Hohenheim
U. Lauber & Margit Schollenberger, Institut für Tierernährung, Universität Hohenheim

Zusammenfassung

Die Untersuchungen umfaßten den Einfluß von Sorte, N-Versorgung und Fungizidbehandlung auf den Ährenbefall mit *Fusarium* und die Mykotoxinkontamination des Kornguts. Die Datenbasis lieferten zweijährig und zweiortig durchgeführte Feldversuche mit den Faktoren Wintergetreidearten, Sorten, N-Düngung, Fungizidapplikation. Die Bestände wurden mit *F. graminearum*-infizierten Haferkörnern gezielt inokuliert. Zur Variation der Blühdauer wurde jede Getreideart durch eine Sorte mit hoher und eine mit geringer Kornzahl repräsentiert. Einer Variante mit begrenztem N-Angebot stand eine mit angehobenem N-Angebot, kombiniert mit Wachstumsreglerapplikationen, gegenüber. Der Fungizideinsatz diente ausschließlich der Bekämpfung anderer Krankheitserreger. Erfasst wurden der Ähren- und der Kornbefall mit *Fusarium* sowie die Kontamination des Kornguts mit Deoxynivalenol (DON).

Der sortenverschiedenen Blühdauer innerhalb der Arten folgten der Ährenbefall mit *Fusarium* und die DON-Konzentration im Korngut weitgehend. Die Blühdauer korrelierte aber nicht durchgängig mit der sortenverschiedenen Kornzahl je Ähre. In Interaktion mit den Aufwuchsbedingungen stieg, insbesondere bei Weizen und Triticale infolge eines erhöhten N-Angebots die DON-Konzentration im Korngut erheblich, der Ährenbefall änderte sich kaum. Einen tendenziell geringen Rückgang des Ährenfusariumbefalls infolge von Fungizidapplikationen begleiteten teils fallende, teils erheblich ansteigende DON-Konzentrationen. Produktionstechnische Maßnahmen können die Toxinkontamination von Korngut beträchtlich beeinflussen, die Bonitur des Ährenbefalls läßt hierauf nur mit Einschränkungen Rückschlüsse zu.

Schlüsselworte: Wintergetreide, *Fusarium graminearum*-Infektion, Sorten, N-Düngung, Toxinkonzentration

Summary

The investigation aimed at the elucidation of the effects of cultivars, nitrogen supply and fungicide treatments on the *Fusarium* infection of ears and the contamination of grains with mycotoxins. On two locations a two year field experiment was conducted, comprising the factors: winter cereal species, cultivars, N-supply and fungicide treat-

ments. Crops were inoculated using *F. graminearum* infected oat grains. In order to vary flowering periods each species was represented by two cultivars, one with a high and one with a low grain number per ear. A level of limited nitrogen supply was compared with a high-level nitrogen supply combined with growth regulator applications. Fungicides were applied to control other diseases. Measured traits were the ear infection, the grain infection and the Deoxynivalenol (DON) concentration of grains.

Ear infection severity generally correlated with the duration of flowering of the cultivars within species. However flowering periods of cultivars were not in all trials correlated with the differences in grain number per ear. In interaction with growing conditions the DON-concentrations, predominantly of wheat and triticale, increased remarkably as a consequence of an improved N-supply. Fungicide treatments resulted in partly decreasing and partly increasing DON-concentrations in grains. These results mean that production measures may substantially affect the toxin concentrations of grains although, not always indicated by ear infection grades.

Keywords: Winter cereals, *Fusarium graminearum*-infection, cultivars, N-fertilization, toxin concentrations

Einleitung

Literaturübersicht

Die zugelassenen Winterweizensorten weisen überwiegend eine geringe bis mittlere Anfälligkeit gegenüber Ährenfusarium auf, einige sind mittel bis stark anfällig. Resistente und sehr stark anfällige Weizensorten waren und sind in den Sortenlisten nicht enthalten (BSA 1994, 1995, 1996). Die nationale beschreibende Sortenliste enthält keine Angaben zur Anfälligkeit der Wintertriticale- und der Winterroggensorten.

Generell wird eine stabile Beurteilung der Sortenresistenz durch Genotyp \times Umweltinteraktionen erheblich erschwert (WILCOXSON et al. 1992, DORMANN & OETTLER 1993, MIEDANER & PERKOWSKI 1996). Jedoch sind einige Komponenten, die zur Widerstandsfähigkeit einer Sorte beitragen, bekannt. Morphologische Merkmale wie die Wuchshöhe, die Begrannung, der Ährenaufbau und die Ährenhaltung können beteiligt sein (MESTERHAZY 1989, 1995; WEINERT & WOLF 1994, 1995). Der Blühbeginn und die Blühdauer beeinflussen die Anfälligkeit. Offen

Tab. 1: Auswahl der Winterweizen-, -triticale- und -roggenarten (Angaben nach der Beschreibenden Sortenliste des Bundessortenamtes 1995)
Winter wheat, winter triticale and winter rye used cultivars (National list 1995)

Art	Winterweizen		Wintertriticale		Winterroggen	
	Kontrast (Ko)	Pegassos (Pe)	Trimaran (Tr)	Purdy (Pu)	Amando (Am)	Gambit (Ga)
Ährenfusariumanfälligkeit	6 ¹⁾	4	mittel ²⁾	gering	mittel	mittel
Kornzahl je Ähre	7	3	8	3	7	4
Ährenschieben	3	4	3	5	5	5
Reife	4	5	3	5	5	5
Pflanzenlänge	5	5	5	6	4	5

¹⁾ 1 = sehr gering, sehr früh, sehr kurz, 9 = sehr hoch, sehr spät, sehr lang

²⁾ Einstufung nach MIEDANER (1994)

und langsam abblühende Sorten werden für besonders anfällig gehalten (MAULER-MACHNIK & ZAHN 1994). Bei Sorten, die ihre Antheren in den Spelzen zurückhalten, wurde eine stärkere Anfälligkeit festgestellt als bei Sorten, die ihre Antheren ausstoßen (PUGH et al. 1933, TAKEGAMI 1957, LIANG et al. 1981). Hinzu kommen physiologische Resistenzfaktoren, die die Ausbreitung des Pilzes in der Ähre begrenzen (RABL 1997). Offensichtlich können Weizensorten auch Enzyme produzieren, die in der Lage sind, Deoxynivalenol, ein von Fusariumpilzen gebildetes Toxin, abzubauen (MILLER & ARNISON 1986).

Die vorliegenden Hinweise zur Befallsbeeinflussung der Anbauintensität betreffen größtenteils den Weizen und variieren erheblich. In lagernden Beständen wurde wiederholt starker Fusariumbefall festgestellt. Als Ursache kommt der Kontakt der Ähren mit Infektionsmaterial auf der Bodenoberfläche in Frage (MUNTEANU et al. 1972, HÄNI 1980, LANGSETH & STABBETORP 1996). Ebenso unterschiedlich wie die Effekte des N-Angebots auf den Befall (MARTIN et al. 1991, FAUZI & PAULITZ 1994) sind die Auswirkungen von Fungizidapplikationen. Der Wirkstoff Tebuconazole erwies sich in Versuchen mit bekanntem Fusarium-Inokulationstermin als vielversprechend. Erfolgt die Applikation des Wirkstoffs kurzfristig nach der Infektion kann der Ährenbefall und der Toxingehalt im Korngut gesenkt werden (MIELKE & MEYER 1990, OBST et al. 1992, MATTHIES & BUCHENAUER 1996, BECK et al. 1997). Da jedoch – von einer experimentell gezielten Sprühinfektion abgesehen – die Bestimmung des Infektionstermins schwierig ist, erweist sich die Wirkung als ausgesprochen unsicher. Untersuchungsergebnisse zeigen teilweise sogar eine Befallsförderung (OBST 1994, MATTHIES & BUCHENAUER 1996). Folgende Fragen stehen hier im Mittelpunkt:

Kommt, ausgehend von dem vermuteten Einfluß der Blühdauer, dem Ährenaufbau von Winterweizen-, -roggen- und -triticalearten eine stabile Bedeutung für den Ährenbefall und die Toxinkontamination des Korngutes zu?

Wie weit gehen von zentralen produktionstechnischen Maßnahmen, der N-Düngung und dem Fungizideinsatz zur Bekämpfung anderer Ährenkrankheitserreger, nicht nur beim Weizen, sondern auch bei Triticale und Roggen Effekte auf den Fusariumbefall und den Toxingehalt im produzierten Korngut aus?

Material und Methoden

Feldversuchsanlage

Die Experimente erfolgten gemäß HERMANN et al. (1998). In den Vegetationsperioden 1994/95 und 1995/96 wurden

auf den Standorten Ihinger Hof (470–500 m NN) und Oberer Lindenhof (700 m NN) mehrfaktorielle Feldversuche mit Winterweizen, -roggen und -triticale durchgeführt (HERMANN 1998). Zur Inokulation der Bestände wurden bei Schoßbeginn definierte Mengen mit *Fusarium graminearum* infizierter Haferkörner je Parzelle ausgebracht (OBST 1994).

Die Wintergetreidearten wurden jeweils durch zwei Sorten mit unterschiedlichem Ährenaufbau repräsentiert. Da zur Blühdauer von Sorten keine amtlichen Angaben vorliegen, wurde das Merkmal Kornzahl je Ähre zur Sortenwahl verwendet. Einer Sorte mit hoher Kornzahl je Ähre, bei der eine längere Blühdauer angenommen wurde, stand eine Sorte mit niedrigerer Kornzahl je Ähre gegenüber. Soweit möglich, wurde eine möglichst geringe Variation anderer befallsrelevanter Merkmale (Ährenschieben, Reife, Wuchshöhe) berücksichtigt (Tab. 1).

Die Anbauintensität wurde durch die N-Düngung, verbunden mit einer Wachstumsreglerapplikation und einen Fungizideinsatz variiert (Tab. 2). In der Stufe N1, in der nur der Stickstoff aus der N-Nachlieferung von Vorfrucht und Boden zur Verfügung stand, wurde auf den Einsatz eines Wachstumsreglers verzichtet. In der Stufe N2 wurden die Bestände mit Wachstumsreglern behandelt mit dem Ziel, Lager sicher zu eliminieren (Tab. 2).

In der Stufe F1 des Faktors Krankheitsbehandlung unterblieb ein Fungizideinsatz. In der Stufe F2 wurden Fuß-, Blatt- und Ährenkrankheiten bekämpft. Soweit bekannt, wirkten die applizierten Fungizide nicht, oder jedenfalls nicht sicher gegen den Befall mit Ährenfusarium. Der Einbezug dieses Faktors geschah in der Absicht, vorstellbare Interaktionen zwischen dem Ährenbefall mit Fusarium und dem Befall mit anderen Krankheiten zu berücksichtigen (Tab. 2).

Die Blühdauer der Ähre wurde als Zeitspanne in Tagen zwischen dem Austreten der ersten Staubbeutel aus den Blüten und dem Abfallen der letzten Staubbeutel gemessen. Die Bonitur des Befalls der Bestände mit anderen Blatt- und Ährenkrankheitserregern erfolgte in der Milchreife (EC 75). Der Ährenbefall mit Fusarium wurde mehrfach, letztmals im Stadium EC 85 bonitiert (Tab. 3). Hier werden im weiteren ausschließlich die Daten der letzten Bonitur herangezogen. Zur Überprüfung des Kornbefalls mit Fusarium wurden die Körner oberflächensterilisiert, auf Agarplatten ausgelegt und anschließend auf einsetzendes Pilzwachstum geprüft. Die Untersuchung erfolgte nur an der N2-Stufe, die an beiden Standorten in der Versuchsanlage enthalten war. Durchgängig wurden die Kornproben gaschromatographisch-massenspektrometrisch auf den Gehalt an dem Fusariumtoxin Deoxynivalenol (DON) je kg Kornmasse bei 10,5% Wassergehalt analysiert. Bei

Tab. 2: Variation des Stickstoff-Angebots, des Wachstumsregler- und des Fungizideinsatzes

Variation of N-supply, growth regulator application and fungicide treatment

N-Versorgung + Wachstumsreglereinsatz			
N1 (nur Ihinger Hof)	N _{min} zu Vegetationsbeginn,	Ihinger Hof	1995: 50 kg, 1996: 70 kg NO ₃ N ha ⁻¹
		Oberer Lindenhof	1995: 30 kg, 1996: 30 kg NO ₃ N ha ⁻¹
	keine N-Düngung kein Einsatz von Wachstumsreglern		
N2			
	N _{min} zu Vegetationsbeginn wie N1		
	N-Düngung		
	Ihinger Hof:	40 kg N ha ⁻¹ zu Vegetationsbeginn + 80 kg N ha ⁻¹ zu Schoßbeginn	
	Oberer Lindenhof:	80 kg N ha ⁻¹ zu Vegetationsbeginn + 40 kg N ha ⁻¹ zu Schoßbeginn	
	Wachstumsregler-	EC ¹⁾ 25–29	0,7 l ha ⁻¹ CCC ₇₂₀ , Weizen, Triticale, Roggen
	applikationen:	EC 31	0,3 l ha ⁻¹ CCC ₇₂₀ , Weizen, – , –
		EC 37–39	1,5 l ha ⁻¹ Terpal C, – , Triticale, Roggen
Fungizideinsatz			
F1	Kein Fungizideinsatz		
F2	EC 31–33	1,25 l ha ⁻¹	Sportak Delta (Prochloraz 360 g l ⁻¹ , Cyproconazol 48 g l ⁻¹)
	EC 37–39	1,5 l ha ⁻¹	Opus Top (Epoconazol 84 g l ⁻¹ , Fenpropimorph 250 g l ⁻¹)
	EC 59	1,5 l ha ⁻¹	Opus Top

¹⁾ Entwicklungsstadien

Tab. 3: Erfasste und errechnete Parameter

Measured and calculated traits

Parameter	Dimension	Methode	Entwicklungsstadium
Blühdauer der Ähre	Tage	Zeitpunkte: Austreten der ersten Staubbeutel, Abfall der letzten Staubbeutel	EC 61–69
Blattkrankheiten	%	Bonitur	EC 75
Ährenkrankheiten	%	Bonitur	EC 75
Ährenbefall mit <i>Fusarium</i>	1–9	Bonitur ¹⁾	EC 75–85
Kornbefall mit <i>Fusarium</i>	%	Rückisolierung ²⁾	EC 99
Toxingehalte im Korngut ⁴⁾	µg kg ⁻¹	GC-MS ³⁾ , HPLC	EC 99

¹⁾ Skala nach MIEDANER 1986²⁾ siehe HERMANN et al. 1998³⁾ gaschromatographisch-massenspektrometrische Analyse, siehe HERMANN et al. 1998⁴⁾ Korngut – 10,5% Wassergehalt

Weizen wurde auch der Zearalenon Gehalt (ZON) ermittelt (Tab. 3). Die Skalierung zur Feldbonitur von Ährenbefall als auch die Verfahren zur Bestimmung des Kornbefalls und der Toxinkonzentration im Korngut erfolgten gemäß HERMANN et al. (1998).

Die erfassten Parameter (die Blühdauer ausgenommen) wurden varianzanalytisch, mit Hilfe der Prozedur GLM des Statistikpaketes SAS (SAS-INSTITUTE INC. 1989), überprüft. In einer mehrfaktoriellen Spaltanlage waren dem Faktor Inokulation die Faktoren: Arten, Anbauintensität und Sorten hierarchisch untergeordnet. Bei Parametern, die über die Arten hinweg keine Varianzhomogenität aufwiesen, wurde für jede Getreideart eine gesonderte Varianzanalyse gerechnet. Für Effekte, die im F-Test die Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% überschritten, wurden mit Hilfe des t-Tests Grenzdifferenzen errechnet.

Ergebnisse

Unterschiede in der Blühdauer

Im Jahr 1995 unterschied sich die Blühdauer der Winterweizen- und der -triticalesorten an beiden Standorten ent-

sprechend der Einstufung der Kornzahl je Ähre. Die Weizensorte Kontrast und die Triticalesorte Trimaran blühten länger als die jeweils innerhalb der Arten gegenübergestellten Sorten Pegassos bzw. Purdy mit relativ kleinen Kornzahlen pro Ähre (Tab. 1, 4). Im Jahr 1996 blühten der Weizen und der Triticale – im Gegensatz zum Roggen – insbesondere auf dem Standort Oberer Lindenhof länger als im Jahr 1995. Während sich die Blühdauer der Weizensorten auf dem Standort Ihinger Hof 1996 prinzipiell genauso wie 1995 abstufte, lag auf dem Standort Oberer Lindenhof kein Sortenunterschied vor. Der Triticale zeigte, verglichen mit dem Vorjahr umgekehrte Sortenrelationen. Die Triticalesorte Purdy übertraf 1996 an beiden Standorten die Sorte Trimaran in der Blühdauer. Die Blühdauer der Roggensorten differierte in keinem der vier Versuche erkennbar (Tab. 1, 4).

Sortenunterschiede im *Fusarium*befall der Ähren und der Körner und im DON-Gehalt des Kornguts

Zwischen den Arten traten größere Unterschiede im Ährenbefall auf als zwischen den Sorten innerhalb der Arten. Jedoch wurden beim Weizen, auch beim Triticale Befalls-

Tab. 4: Blühdauer (Tage) von Winterweizen, -triticale und -roggen in Abhängigkeit von den Versuchsjahren, den Standorten und den Sorten
Flowering periods (days) of winter wheat, winter triticale and winter rye as dependent on years, locations and cultivars

Jahr	Standort	Winterweizen		Wintertriticale		Winterroggen	
		Kontrast	Pegassos	Trimaran	Purdy	Amando	Gambit
1995	Ihinger Hof	12	9	12	7	12	12
	Oberer Lindenhof	9	6	11	5	12	12
1996	Ihinger Hof	13	11	10	13	8	8
	Oberer Lindenhof	13	13	13	14	12	12

Tab. 5: Ährenbefall (Bonitur 1–9) und Kornbefall (%) mit *F. graminearum* bei Winterweizen, -triticale und -roggen in Abhängigkeit von den Versuchsjahren, den Standorten und den Sorten. GD 5% = Grenzdifferenz bei $p = 0,05$

Infection of ears (scores 1–9) and grains (%) with Fusarium graminearum of winter wheat, winter triticale and winter rye dependent on years, locations and cultivars. GD 5% = Least significant difference with $p = 0,05$

Ährenbefall

Jahr	Standort	Winterweizen			Wintertriticale			Winterroggen		
		Kontrast	Pegassos	GD 5%	Trimaran	Purdy	GD 5%	Amando	Gambit	GD 5%
1995	Ihinger Hof	4,21	3,54	0,60	3,20	2,30	0,80	1,96	1,88	n. s.
	Oberer Lindenhof	4,00	3,25	n. s.	3,30	3,20	n. s.	1,40	1,75	n. s.
1996	Ihinger Hof	4,60	3,40	0,25	2,46	3,80	0,16	2,71	2,71	n. s.
	Oberer Lindenhof	3,41	2,42	0,36	2,32	2,75	0,22	2,10	2,20	n. s.

Kornbefall

1995	Ihinger Hof	70,7	56,0	n. s.	66,7	33,3	n. s.	49,3	8,0	n. s.
	Oberer Lindenhof	56,7	30,7	13,4	76,0	18,0	54,0	56,0	38,0	n. s.
1996	Ihinger Hof	58,7	46,7	n. s.	70,7	67,3	n. s.	48,7	37,7	n. s.
	Oberer Lindenhof	45,3	16,7	16,0	62,0	49,0	n. s.	40,0	18,7	n. s.

differenzen zwischen den Sorten in der Größenordnung von 0,5 bis 1 Boniturnote ermittelt. Prinzipiell entsprachen die Befallsunterschiede beim Weizen den Unterschieden in der Blühdauer. Dies gilt ebenso für den Ährenbefall von Triticale. Im Jahresvergleich spiegelten die Boniturnote die gleiche Jahr

Sorten-Interaktion wider, die sich bei der Blühdauer abzeichnete. Die beiden Winterroggensorten differierten in der Ährenbefallsbonitur ebensowenig wie in der Blühdauer (Tab. 5).

Die Kornbefalls-Unterschiede zwischen den Sorten entsprachen den Unterschieden in der Kornzahl je Ähre. Dies trifft auch für die Roggensorten zu. Allerdings lag den meisten Mittelwerten eine erhebliche Variation der Einzelwerte zugrunde, die die Nachweisbarkeit der Sorteneffekte ausschloß (Tab. 5).

Mit Abweichungen reicherten sich, insbesondere im Jahr 1995 auf dem Standort Oberer Lindenhof höhere DON-Konzentrationen im Korngut der Getreidearten an als auf dem Standort Ihinger Hof. Bei Weizen und bei Triticale wurden in beiden Jahren und an beiden Standorten teils erhebliche Unterschiede zwischen den Sorten im DON-Gehalt nachgewiesen. Beim Weizen bewegten sich die Differenzen zwischen 2000 und 5700 $\mu\text{g kg}^{-1}$ Kornmasse, beim Triticale wurden 1996 auf dem Standort Oberer Lindenhof Sortendifferenzen bis nahezu 10000 $\mu\text{g kg}^{-1}$ Kornmasse festgestellt (Tab. 6). Analoge Sortenunter-

schiede zeichneten sich hinsichtlich der ZON-Konzentrationen im Korngut der Weizensorten ab.

Mit Werten von <1000 und maximal 6000 $\mu\text{g kg}^{-1}$ Kornmasse blieben die DON-Konzentrationen im Roggenkorngut geringer als im Weizen- und im Triticalekorngut. Die Roggensorte Amando tendierte gegenüber der Sorte Gambit zu etwas niedrigeren DON-Konzentrationen (Tab 6).

Einfluß des N-Angebots auf den Ährenbefall und den DON-Gehalt im Korngut

Die N-Düngung beeinflusste den Ährenbefall von Weizen und Triticale nicht entscheidend. Die Boniturnoten stiegen allenfalls tendenziell um etwa eine halbe Note. Nur beim Roggen war dieser geringe Befallsanstieg nachweisbar (Tab. 7).

Im Korngut der Düngungsstufe N2 der drei Getreidearten wurden am Standort Ihinger Hof nahezu durchgängig höhere DON-Gehalte als in der ungedüngten Variante N1 analysiert. Die N-Düngung steigerte im Erntejahr 1995 den DON-Gehalt im Triticalekorngut um rund 2000 $\mu\text{g kg}^{-1}$. Eine Interaktion mit den Sorten trat nur beim Weizen auf. Bei der Weizensorte Kontrast bewirkte die N-Düngung im Jahr 1995 einen Anstieg des DON-Gehalts um rund 3000 $\mu\text{g kg}^{-1}$. Diese Differenz wurde jedoch nur in der Variante ohne Fungizidbehandlung (F1) festgestellt. In der Variante mit Fungizidbehandlung (F2) beeinflusste die N-Düngung den DON-Gehalt im Korngut der Sorte Kontrast

nicht, der DON-Gehalt im Korngut der Sorte Pegassos stieg an. Im zweiten Jahr 1996 lag keine Interaktion mit den Tab. 6: DON-Gehalte im Korngut ($\mu\text{g kg}^{-1}$) von Winterweizen, -triticale und -roggen und ZON-Gehalte im Korngut ($\mu\text{g kg}^{-1}$) von Winterweizen in Abhängigkeit von den Versuchsjahren, den Standorten und den Sorten. GD 5% = Grenzdifferenz bei $p = 0,05$

DON-concentrations of grains ($\mu\text{g kg}^{-1}$) of winter wheat, winter triticale and winter rye and ZON-concentrations of grains ($\mu\text{g kg}^{-1}$) of wheat as dependent on years, locations and cultivars. GD 5% = Least significant difference with $p = 0,05$

DON-Gehalte				
Arten/ Sorten	1995		1996	
	Ihinger Hof	Oberer Lindenhof	Ihinger Hof	Oberer Lindenhof
Winterweizen				
Kontrast	4010	10272	6505	6925
Pegassos	1913	5865	2738	1215
GD 5%	890	n. s.	1848	1710
Wintertriticale				
Trimaran	4640	10362	4985	6093
Purdy	2325	2933	12383	15867
GD 5%	1325	2520	1292	1880
Winterroggen				
Amando	659	3182	3977	1570
Gambit	670	4555	6136	2008
GD 5%	n. s.	n. s.	2044	n. s.
ZON-Gehalte				
Winterweizen				
Kontrast	12,7	34,0	114,7	21,7
Pegassos	9,5	20,2	37,3	4,7
GD 5%	n. s.	n. s.	33,2	16,7

Sorten vor. Die N-düngungsbedingten Zunahmen des DON-Gehaltes bewegten sich 1996 artenverschieden zwischen 1000 und 3000 $\mu\text{g kg}^{-1}$ (Tab. 7).

Einfluß der Fungizidapplikation auf den Ährenbefall und den DON-Gehalt im Korngut

An beiden Standorten wurde an Weizen in der Behandlungsstufe F1 im ersten Versuchsjahr ein Fahnenblattbefall mit Blattbräune (*Septoria tritici*) in der Größenordnung von 50% (Oberer Lindenhof) bzw. 33% (Ihinger Hof) bonitiert. Triticale wies durchgängig einen geringeren *Septoria tritici*-Befall auf als der Weizen. Mit Blattflecken (*Rhynchosporium secalis*) wurden 20–25% der Blattflächen von Roggen befallen. In allen Versuchen trat unterschiedslos ein geringer Fußkrankheitsbefall mit *Pseudocercospora herpotrichoides* auf. Im Jahr 1996 blieben der Fuß-, der Blatt- und der Ährenkrankheitsbefall auch in der fungizidfreien Variante wesentlich geringer als 1995.

Obwohl vom Fungizideinsatz kein eindeutiger Effekt auf den Ährenbefall mit *Fusarium* erwartet wurde, blieb der Ährenbefall behandelter Weizenbestände auf dem Standort Ihinger Hof in beiden Jahren, verglichen mit den unbehandelten Weizenähren, geringer (Tab. 8). In der Vegetationsperiode 1996 trat auch bei Triticale gleichgerichtet ein geringer Effekt auf. Auf dem Standort Oberer Lindenhof schien der Ährenbefall etwas abzunehmen, die Effekte erreichten aber in keinem Fall die Nachweisgrenze. Von einem unterschiedlichen Konzentrationsniveau ausgehend führte die Befallsreduktion bei Weizen im Jahr 1995 auf dem Standort Ihinger Hof zu einer Halbierung der DON-Konzentration im Korngut, die allerdings nur bei der Sorte Kontrast nachgewiesen werden konnte. Demgegenüber stieg der DON-Gehalt im Weizenkorngut vom Oberen Lindenhof an. Auch bei Triticale und bei Roggen lagen 1995 auf beiden Standorten durchgängig Anstiegstendenzen vor. Von einer Abweichung abgesehen gilt dies auch im Jahr 1996 und zwar für alle Arten auf beiden Standorten. Der Anstieg von rund 10000 auf 12000 $\mu\text{g DON je kg Kornmasse}$ bei Triticale war signifikant (Tab. 8).

Tab 7: Ährenbefall (Bonitur 1–9) mit *F. graminearum* und DON-Gehalte im Korngut ($\mu\text{g kg}^{-1}$) von Winterweizen, -triticale und -roggen in Abhängigkeit von der N-Düngung und dem Fungizideinsatz auf dem Standort Ihinger Hof. GD 5% = Grenzdifferenz bei $p = 0,05$

Infections of ears (scores 1–9) with Fusarium graminearum and DON-concentrations of grains ($\mu\text{g kg}^{-1}$) of winter wheat, winter triticale and winter rye dependent on N-fertilisation and fungicide treatments at the location Ihinger Hof. GD 5% = Least significant difference with $p = 0,05$

Ährenbefall											
Jahr	Winterweizen			Wintertriticale			Winterroggen				
	N1	N2	GD 5%	N1	N2	GD 5%	N1	N2	GD 5%		
1995	4,0	3,8	n. s.	2,4	3,1	n. s.	1,8	2,1	0,26		
1996	3,8	4,1	n. s.	2,8	3,1	n. s.	2,6	2,8	0,16		
DON-Gehalte im Korngut											
1995	Kontrast	F1	4055	7272	1786	2501	4464	1292	536	793	n. s.
		F2	2410	2303							
	Pegassos	F1	2409	2627							
		F2	978	1643							

1996 3219 6024 2106 6871 10498 2334 3726 6387 n. s.

Tab. 8: Ährenbefall (Bonitur 1–9) mit *F. graminearum* und DON-Gehalte im Korngut ($\mu\text{g kg}^{-1}$) von Winterweizen, -triticale und -roggen in Abhängigkeit von den Versuchsjahren, den Standorten und dem Fungizideinsatz. GD 5% = Grenzdifferenz bei $p = 0,05$

Infection of ears (scores 1–9) with *Fusarium graminearum* and DON-concentration in grains of winter wheat, winter triticale and winter rye dependent on years, locations and fungicide treatments. GD 5% = Least significant difference with $p = 0,05$

Ährenbefall

Jahr	Standort	Winterweizen			Wintertriticale			Winterroggen		
		F1	F2	GD 5%	F1	F2	GD 5%	F1	F2	GD 5%
1995	Ihinger Hof	4,54	3,21	0,78	2,83	2,67	n. s.	2,0	1,83	n. s.
	Oberer Lindenhof	3,83	3,42	n.s.	3,54	3,03	n. s.	1,75	1,42	n. s.
1996	Ihinger Hof	4,25	3,75	0,16	Tr. 2,70 Pu. 3,75	2,20 3,00	0,34	2,66	2,75	n. s.
	Oberer Lindenhof	3,00	3,00	n. s.	2,67	2,42	n. s.	2,17	2,08	n. s.

DON-Gehalte im Korngut

1995	Ihinger Hof	Ko. 5663 Pe. 2515	2356 1311	2934	3367	3599	n. s.	558	772	n. s.
	Oberer Lindenhof	6797	9340	2184	5182	8113	n. s.	3527	4210	n. s.
1996	Ihinger Hof	4085	5158	n. s.	9472	7897	n. s.	4083	6030	n. s.
	Oberer Lindenhof	3432	4708	n. s.	9967	11983	1174	1353	2225	n. s.

Diskussion

Die Sorten unterschieden sich in der Blühdauer zwar teilweise, aber nicht durchgängig den Kornzahlen pro Ähre entsprechend. Vielmehr interagierten die Weizen- und die Triticalesorten in der Blühdauer mit den Jahren und den Standorten. Die Roggensorten blühten, obwohl unterschiedlich in der Kornzahl je Ähre, in allen Versuchen gleich lange, jedenfalls konnten keine Differenzen beobachtet werden. Sortenunterschiede in der Kornzahl je Ähre erlauben somit keine sichere Aussage über Blühdauerdifferenzen. Die Blühdauer erwies sich aber auch in den vorliegenden Versuchen als wichtiger Parameter bezüglich des Fusariumbefalls. Innerhalb der Jahre und der Standorte folgten die Sortenunterschiede im Ährenbefall und im Mykotoxingehalt des ausgereiften Kornguts weitgehend den Unterschieden im Blühverhalten. Soweit den Sortenunterschieden in der Blühdauer die Unterschiede in der Kornzahl je Ähre entsprachen, lag eine positive Beziehung zwischen der Kornzahl je Ähre und dem Fusariumbefall vor. In diesen Fällen stimmen die Befunde auch mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen (MAULER-MACHNIK & ZAHN 1994, WEINERT & WOLF 1994, 1995) überein. Ein genereller Rückschluß von der Einstufung einer Sorte nach der Kornzahl je Ähre auf die Blühdauer und den Ährenbefall mit *Fusarium* ist jedoch nicht möglich. Dem widersprechen zwar die Daten des Kornbefalls. Auch wenn die Mittelwerte nur in wenigen Fällen signifikant verschieden waren, ist der gleichgerichtete Trend doch auffällig. Ein Zusammenhang zwischen dem Anteil befallener Körner und der Kornzahl je Ähre könnte sich aus einer sortenverschiedenen Blütenzahl je Ährchen ergeben, die für den Pilz ausbreitungsrelevant ist, in der ausgebleichten Ährenfläche aber nicht zum Tragen kam.

Eindeutig eingeschränkt wird, neben der Kornzahl je Ähre die Bedeutung der Blühdauer und des Ährenbefalls für die Kornkontamination durch die Ergebnisse beim Roggen. Die beiden Roggensorten unterschieden sich weder in der Blühdauer noch im bonitierbaren Ährenbe-

fall, trotzdem zeichneten sich Differenzen im DON-Gehalt des Kornguts ab. Andere Untersuchungen an Winterroggen bestätigen das Auftreten erheblicher Sortenunterschiede sowohl im Ährenbefall als auch im Toxingehalt des Kornguts (MIEDANER & PERKOWSKI 1996, MIEDANER et al. 1997). Im Einzelfall läßt sich aber offensichtlich nicht von der Bonitur des Ährenbefalls anhand ausgebleichter Ährenflächen auf den Toxingehalt im Korngut schließen.

Dieser Hinweis gilt erneut, wenn die Daten zu den Effekten des N-Angebots bewertet werden. Die N-Düngung verbunden mit der Applikation eines Wachstumsreglers führte bestenfalls andeutungsweise zu einem bonitierbaren höheren Ährenbefall. Hingegen stieg der DON-Gehalt im Korngut, insbesondere bei Weizen und Triticale, erheblich. Da die Bestände etwas kürzer als die ungedüngten und unbehandelten Bestände blieben, bei Weizen betrug die Differenz 8 cm, bei Triticale 13 cm und bei Roggen 11 cm, kann sowohl ihr N-Versorgungsstatus, als auch die Wuchshöhe verantwortlich sein. Eine direkte Wirkung des Wachstumsreglers CCC auf den Erreger ist nach LANGERFELD (1971) auszuschließen. Wahrscheinlicher ist ein Einfluß der Halmverkürzung. Mit der Abnahme des Abstands zur Bodenoberfläche nimmt die Ascosporenkonzentration von *F. graminearum* in der Luft zu, die Befallsgefahr steigt (SUTY & MAULER-MACHNIK 1996). Auf diesen Zusammenhang könnte auch der um zwei Boniturnoten geringere Ährenbefall der längeren Roggenbestände gegenüber den kürzeren Weizenbeständen hinweisen. Darüber hinaus liegen aber auch Befunde vor, die zeigen, daß der Pilz zur Biosynthese von Trichothecenen auf ein hohes N-Angebot in Form von Aminosäuren angewiesen ist (MILLER & GREENHALGH 1985). Insofern ist ein direkter Einfluß des N-Gehalts in den Ähren nicht auszuschließen. Das Korngut der N-gedüngten Variante wies deutlich höhere N-Konzentrationen auf.

Nach der Applikation von Fungiziden zur Bekämpfung anderer Blatt- und Ährenkrankheitserreger zeichnete sich eine Minderung des Ährenbefalls mit *F. graminearum* ab.

Das Ergebnis überrascht nicht, da andernorts gleichgerichtete Effekte festgestellt wurden (OBST et al. 1992, MIELKE & WEINERT 1996). Kritisch erscheint jedoch, daß sich in Verbindung mit der bonitierbaren Ährenbefallsabnahme ein Anstieg des DON-Gehalts im reifen Korngut abzeichnete. Keine der drei Wintergetreidearten blieb von diesem Trend vollständig ausgenommen. Auch andere Autoren fanden solche Zunahmen (GAREIS & CEYNOWA 1994, OBST 1994, MATTHIES & BUCHENAUER 1996). Zwar erwies sich der Anstieg der DON-Konzentrationen im Korngut in den vorliegenden Versuchen nur in wenigen Fällen als reproduzierbar, jedoch ist die Durchgängigkeit der Tendenzen – ebenso wie beim Kornbefall – zumindest als Hinweis auf weiteren Untersuchungsbedarf zu werten. Dies gilt umso mehr, wenn die Größenordnungen des Anstiegs von DON, einer ernährungsphysiologisch kritischen Substanz, berücksichtigt werden. Bei einem nicht gerade geringen Ausgangsniveau bis zu 6800 µg je kg Weizenkorngut – die Richtwerte anderer Länder für Brotgetreide liegen zwischen 400 und 4000 µg kg⁻¹, in der BRD existieren bisher keine Richtwerte – wurde ein weiterer Anstieg um 37%, ausgehend von rund 10000 µg je kg Triticalekorngut ein Anstieg um 20% nachgewiesen.

Zweifellos ist, Ährenfusariumbefall vorausgesetzt, der Kontaminationsgrad des erzeugten Kornguts nicht nur bei Weizen, sondern auch bei Triticale und Roggen über die Produktionstechnik erheblich einflußbar. Die bisherigen Befunde reichen allerdings nicht aus, um die Zusammenhänge eindeutig zu erklären. Darüber hinaus ist sowohl die zuverlässige Erfassung des Fusariumbefalls als auch die Beziehung zwischen dem Befallsgrad der Ähren und der Toxinkontamination des Kornguts ein problematischer Bereich.

Danksagung

Das Vorhaben wurde im Rahmen der DFG-unterstützten Forschergruppe „Fusariumtoxine“ bearbeitet, die Toxinanalysen wurden im Institut für Tierernährung durchgeführt.

Literatur

BECK, R., J. LEPSCHY V. GLEISSENTHAL & A. OBST, 1997: Gefahr aus der Maisstoppel. DLG-Mitteilungen **5**, 34–38.
 BUNDESSORTENAMT, 1994: Beschreibende Sortenliste Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen (großkörnig), Hackfrüchte. Landbuch-Verlag, Hannover.
 BUNDESSORTENAMT, 1995: Beschreibende Sortenliste Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen (großkörnig), Hackfrüchte. Landbuch-Verlag, Hannover.
 BUNDESSORTENAMT, 1996: Beschreibende Sortenliste Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen (großkörnig), Hackfrüchte. Landbuch-Verlag, Hannover.
 DORMANN, M. & G. OETTLER, 1993: Genetic variation of resistance to *Fusarium graminearum* (headblight) in primary hexaploid triticale. *Hodowla Roslin, Aklimatyzacja i Nasiennictwo* **37**, 121–127.
 FAUZI, M. T. & T. C. PAULITZ, 1994: The effect of plant growth regulators and nitrogen of fusarium head blight of the spring wheat cultivar Max. *Plant Disease* **78**, 289–292.
 GAREIS, M. & J. CEYNOWA, 1994: Einfluß des Fungizids Matorador (Tebuconazole/Triadimenol) auf die Mykotoxinbildung durch *Fusarium culmorum*. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* **198**, 244–248.

HÄNI, F., 1980: Über Getreidefusariosen in der Schweiz: Saatgutbefall, Ährenbefall und Bodenkontamination. *Z. Pfl. Krankh. Pfl. Schutz* **87**, 257–280.
 HERMANN, W., 1998: Befall und Toxinproduktion durch Ährenfusarien bei Winterweizen, -triticale und -roggen in Abhängigkeit von produktionstechnischen Maßnahmen. Dissertation Hohenheim.
 HERMANN, W., E. KÜBLER & W. AUFHAMMER, 1998: Ährenbefall mit Fusariosen und Toxingehalt im Korngut bei verschiedenen Wintergetreidearten. *Pflanzenbauwissenschaften* **2**, 97–107.
 LANGERFELD, E., 1971: Untersuchungen über den Einfluß von Chlorochinchlorid (CCC) auf Wachstum und Konidienkeimung von *Septoria nodorum* Berk., *Fusarium culmorum* (W.G. Smith) Sacc. und *Cercospora herpotrichoides* Fron in vitro. *Z. Pfl. Krankh. Pfl. Schutz* **78**, 137–146.
 LANGSETH, W. & H. STABBETORP, 1996: The effect of lodging and time of harvest on deoxynivalenol contamination in barley and oats. *Phytopath. Z.* **144**, 241–245.
 LIANG, X., X. CHEN & C. CHEN, 1981: Factors affecting infection of some winter wheat cultivars to scab disease caused by *Fusarium graminearum*. *Schw. Acta Phytopath. Sin.* **11**, 7–12.
 MARTIN, R. A., J. A. MACLEOD & C. CALDWELL, 1991: Influences of production inputs on incidence of infection by fusarium species on cereal seed. *Plant Disease* **75**, 784–788.
 MATTHIES, A. & H. BUCHENAUER, 1996: Untersuchungen zur Bekämpfung von Ährenfusariosen an Winterweizen und Sommergerste. *Mitt. Biol. Bund. Anst. Ld.- und Forstw.* **321**, 200.
 MAULER-MACHNIK, A. & K. ZAHN, 1994: Ährenfusariosen an Weizen – neue Erkenntnisse zur Epidemiologie und zur Bekämpfung mit Folicur (Tebuconazole). *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer* **47**, 133–160.
 MESTERHAZY, A., 1989: Progress in breeding of wheat and corn genotypes not susceptible to infection by fusaria. In: *Fusarium mycotoxins, taxonomy and pathogenicity*, 357–386. Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo.
 MESTERHAZY, A., 1995: Types and components of resistance to fusarium head blight of wheat. *Plant Breeding* **114**, 377–386.
 MIEDANER, T., 1986: Entwicklung von Methoden zur Bestimmung der Fusarienresistenz in frühen Wachstumsstadien des Weizens. Dissertation Universität Hohenheim.
 MIEDANER, T., 1994: Mündliche Mitteilung, Stuttgart.
 MIEDANER, T., G. GANG, C. REINBRECHT & H. H. GEIGER, 1997: Lack of association between fusarium foot rot and head blight resistance in winter rye. *Crop Science* **37**, 327–331.
 MIEDANER, T. & J. PERKOWSKI, 1996: Correlations among *Fusarium culmorum* head blight resistance, fungal colonization and mycotoxin contents in winter rye. *Plant Breeding* **115**, 347–351.
 MIELKE, H. & D. MEYER, 1990: Neuere Untersuchungen zur Bekämpfung der Partiellen Taubähigkeit unter Berücksichtigung der Auswirkungen des Fungizideinsatzes auf Ertragsleistung und Backqualität beim Weizen. *Nachr. Bl. dt. Pfl. Schutzdienst, Braunschweig* **42**, 161–170.
 MIELKE, H. & J. WEINERT, 1996: Untersuchungen zur Wirkung verschiedener Fungizide gegenüber dem Erreger der Partiellen Taubähigkeit (*Fusarium culmorum* (W.G.Sm.) Sacc.). *Nachr. Bl. dt. Pfl. Schutzdienst, Braunschweig* **48**, 93–95.
 MILLER, J. D. & P. G. ARNISON, 1986: Degradation of deoxynivalenol by suspension cultures of the fusarium head blight resistant wheat cultivar Frontana. *Can. J. Plant Path.* **8**, 147–150.
 MILLER, J. D. & R. GREENHALGH, 1985: Nutrient effects on the biosynthesis of trichothecenes and other metabolites by *Fusarium graminearum*. *Mycologia* **77**, 130–136.
 MUNTEANU, I., T. MURESAN & V. TATARU, 1972: Fusarium wilt in wheat and integrated disease control in Romania. *Acta Phytopath. Acad. Sci. Hung.* **21**, 17–29.
 OBST, A., 1994: Untersuchungen zur Epidemiologie und Bekämpfung des Ährenparasiten *Fusarium graminearum* an Weizen. *Mitt. Biol. Bund. Anst. Ld.- und Forstw.* **301**, 73.
 OBST, A., J. LEPSCHY V. GLEISSENTHAL & G. HUBER, 1992: Zur gezielten Bekämpfung der Ährenfusarien bei Weizen – Beobachtungen und Versuchsergebnisse aus Bayern. *Gesunde Pflanzen* **44**, 40–47.

- PUGH, G. W., H. JOHANN & J. G. DICKSON, 1933: Factors affecting inflection of wheat heads by *Gibberella saubineti*. J. Agric. Res. **46**, 771–797.
- RABL, M., 1997: Untersuchungen zur Ausbreitung von *Fusarium culmorum* auf Weizenähren. Diplomarbeit Universität Hohenheim.
- SAS INSTITUTE INC., 1989: SAS/STAT user's guide, version 6, fourth edition, Cary, NC (USA).
- SUTY, A. & A. MAULER-MACHNIK, 1996: Ährenfusariose an Weizen – Neue Erkenntnisse zur Epidemiologie und Bekämpfung von *Gibberella zeae*, der Hauptfruchtform von *Fusarium graminearum* mit Folicur. Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer **49**, 55–70.
- TAKEGAMI, G., 1957: On the relations between the existence of wheat anthers and the inflection of *Gibberella zeae*. Review of Applied Mycology **37**, 155.
- WEINERT, J. & G. A. WOLF, 1994: Ursache unterschiedlicher Sortenanfälligkeit gegenüber der partiellen Taubährigkeit (*Fusarium* ssp.) Mitt. Biol. Bund. Anst. Ld.- und Forstw. **301**, 277.
- WEINERT, J. & G. A. WOLF, 1995: Gegen Ährenfusariosen helfen nur resistente Sorten. Pflanzenschutz-Praxis **2**, 30–32.
- WILCOXSON, R. D., R. H. BUSCH & E. A. OZMON, 1992: Fusarium head blight resistance in spring wheat cultivars. Plant Disease **76**, 658–661.
- Eingegangen am 14. September 1998;
angenommen am 07. Oktober 1998
- Anschrift der Verfasser:
Prof. Dr. Walter Aufhammer, Dr. Wilfried Hermann, Dr. Ernst Kübler, Institut für Pflanzenbau und Grünland, Fachgebiet Spezieller Pflanzenbau, Universität Hohenheim, Fruwirthstraße 23, D-70599 Stuttgart.
LM Chem. Uwe Lauber, Dr. Margit Schollenberger, Institut für Tierernährung, Universität Hohenheim, Emil-Wolff-Str. 10, D-70599 Stuttgart.

