

# Ährenbefall mit Fusarien (*F. graminearum*, *F. culmorum*) und Deoxynivalenolgehalt im Korngut von Winterweizen in Abhängigkeit von der N-Düngung

Infection with Head Blight (*F. graminearum*, *F. culmorum*) and Deoxynivalenol Concentration in Winter Wheat as Influenced by N Fertilization

W. Aufhammer, E. Kübler, H.-P. Kaul, W. Hermann, D. Höhn & Cuilin Yi  
Institut für Pflanzenbau und Grünland, Universität Hohenheim

## Zusammenfassung

Weißährigkeit aufgrund von *Fusarium* spp. stellt ein zunehmendes Krankheitsproblem im Getreide dar. Neben Ertragsminderungen verursachen die Erreger eine Belastung des Ernteguts mit toxischen Stoffwechselprodukten, vor allem Deoxynivalenol (DON). Fördernde Einflüsse der N-Düngung auf den Befall und die Toxinproduktion sind denkbar, wurden bisher aber kaum empirisch überprüft. Im vorliegenden Beitrag wird der Einfluss von nach dem Zeitpunkt der Düngergabe bzw. nach der Düngerart variierten N-Gaben auf den Befall und die DON-Gehalte von Winterweizen untersucht. Die Ergebnisse wurden aus drei je zweijährig durchgeführten, mehrfaktoriellen Feldversuchen mit künstlicher Infektion auf der Versuchstation Ihinger Hof der Universität Hohenheim (~500 m ü. NN) entnommen. Aufgrund der starken Schwankungen im Befall und in der Toxinproduktion zwischen Wiederholungen im Verbund mit den aufwendigen Untersuchungsmethoden der Einzelährchenbonitur und der Toxinanalyse war die Nachweisbarkeit von Effekten eingeschränkt. Eine ertragsorientierte N-Gabe in frühen Entwicklungsstadien des Weizens beeinflusste den Befall nicht, es wurden jedoch in der Folge verglichen mit der ungedüngten Kontrolle erhöhte DON-Konzentrationen im Erntegut beobachtet. Bei qualitätsorientierten, späten N-Gaben waren die Befalls- und die Toxinwerte gegenüber der nicht-spätgedüngten Kontrolle vermindert. Eine Düngung mit Kalkstickstoff bewirkte im Vergleich zu Kalkammonsalpeter ebenfalls in begrenztem Umfang eine Reduktion des Befalls und der Toxinproduktion. Der Zusammenhang zwischen den Befallsbonituren und den Toxinkonzentrationen war nur gering. Entgegen den Vermutungen förderte die N-Düngung den *Fusarium*-Befall und die Toxinproduktion nicht generell, ein gezielter Einsatz zur Begrenzung der Auswirkungen von Ährenfusariosen kann aber nicht abgeleitet werden.

**Schlüsselworte:** Winterweizen, *Fusarium* spp., Ährenbefall, Deoxynivalenol, N-Düngung

## Summary

Cereal head blight caused by *Fusarium* spp. has become a major disease problem. Besides yield reduction, the pathogens may contaminate grain yield with toxic metabolites,

mainly Deoxynivalenol (DON). Stimulating effects of N fertilization on disease incidence and on toxin production are conceivable but yet hardly empirically studied. The aim of the present investigation was to examine the effects of fertilizer N, applied at different stages of winter wheat development or with different fertilizer types, respectively, on infection and DON concentrations. The results were taken from three multifactorial field experiments, each conducted during two growing seasons, with artificial inoculation on the experimental station Ihinger Hof (~500 m a.s.l.) of the University of Hohenheim. Due to large variations of infection level and of toxin concentration between replicates and the high costs of investigations of single spikelet infection and DON concentration, the significance of effects was restricted. A yield oriented N application during early stages of wheat development did not influence the infection level, but subsequently increased DON concentrations in grain as compared with the unfertilized control were observed. Grain quality enhancing late N dressings reduced the infection level and the toxin concentration compared with no late N. Applying lime nitrogen instead of calcium ammonium nitrate caused an – although limited – reduction of infection and DON concentration, too. The correlation between visible infection symptoms and toxin concentrations was weak. Contrary to the expectation, N fertilization did not generally stimulate head blight infection or toxin production, but unambiguous conclusions for the control of the disease cannot be deduced.

**Keywords:** winter wheat, *Fusarium* spp., ear infection, Deoxynivalenol, N fertilization

## Einleitung

Im süddeutschen Raum wird der Ährenbefall von Winterweizen hauptsächlich von *Fusarium graminearum* verursacht. Jedoch können die Arten *F. culmorum*, *F. poae*, *F. sporotrichioides* und *F. avenaceum* beteiligt sein (HARTLEB et al. 1999). Neben der Beeinträchtigung der Kornerträge kontaminieren die Pilze das Korngut mit toxischen Stoffwechselprodukten. Hierbei tritt das Deoxynivalenol (DON) besonders häufig und in relativ hohen Konzentrationen auf. Konzentrationsabhängig ist die Verwertbarkeit solchen Kornguts eingeschränkt oder für Fütterungs- und Ernährungszwecke zukünftig sogar ausge-

schlossen. In Deutschland gelten bisher im Gegensatz zu anderen Ländern keine gesetzlichen Grenzwerte. In Kanada, Österreich, Russland und den USA ist die DON-Konzentration in Getreide für Lebensmittel auf maximal 750–2000  $\mu\text{g kg}^{-1}$  begrenzt, und die EU plant einen Grenzwert von 1000  $\mu\text{g kg}^{-1}$  (GILGENBERG-HARTUNG 1999).

Die Zunahme der Schadenshäufigkeit durch Ährenfusariosen in den zurückliegenden Jahren wird auf hohe Getreide- und Maisanteile in der Fruchtfolge, den Verzicht auf wendende Bodenbearbeitung, sowie den Anbau kurzstrohiger, offen und langsam abblühender Sorten zurückgeführt (GILGENBERG-HARTUNG 1999, MIEDANER & REINBRECHT 1999). Als befallsfördernd werden außerdem, teils ohne ausreichenden Datenbeleg, hohe Bestandesdichten und der Einsatz von Wachstumsregulatoren eingestuft. Auch die Stickstoffdüngung wird genannt (GILGENBERG-HARTUNG 1999). Auf Praxisschlägen in Ontario (Kanada) stellten TEICH & NELSON (1984) sowie TEICH & HAMILTON (1985) eine Befallszunahme von *F. graminearum* infolge „inadäquater“ N-Düngung fest. Dort trat nach der Verwendung von Ammoniumnitrat gegenüber Harnstoff ein höherer Ährenbefall auf. Nach WEINERT & WOLF (1995) kann an der Ausbreitung der Ährenfusariosen eine verlängerte Reifephase beteiligt sein. Da der Befall von den Witterungsbedingungen während der Blüh- und der Kornausbildungsphase abhängt, sind Zusammenhänge zwischen dem Befall und entwicklungsverzögernden Effekten des N-Angebots möglich (MÜLLER et al. 1997, HERMANN et al. 1998, MÜLLER et al. 1999). Vorstellbar ist, dass die N-Düngung über die Form, die Höhe und den Zeitpunkt der Gabe die Anfälligkeit der Weizenbestände und die Entwicklung der Pilze direkt oder indirekt beeinflusst.

Im vorliegenden Beitrag werden daher orthogonale Ergebnisausschnitte zum Fusariumbefall von Winterweizen in Abhängigkeit von der N-Düngung aus drei, jeweils zweijährig durchgeführten Feldversuchen präsentiert. Im Mittelpunkt der dargestellten Ergebnisse steht der Ährenbefall gezielt mit *Fusarium graminearum* bzw. mit *Fusarium culmorum* infizierter Weizenbestände und die Korngutkontamination mit DON. In jedem der drei Feldversuche stellte die N-Düngung einen von mehreren Faktoren dar. Hier werden die vom Faktor N-Düngung bestimmten Ergebnisse mit der Frage zusammengeführt: welche Bedeutung kommt kornertragsrelevanten N-Gaben in frühen und primär kornqualitätsrelevanten N-Gaben in späten Entwicklungsstadien für den Befall mit Ährenfusarium und den DON-Gehalt im Korngut zu? Einbezogen ist die Frage, ob über die Form der N-Gaben in frühen Entwicklungsstadien der Infektionsdruck reduziert werden kann?

## Material und Methoden

Orthogonale Versuchsausschnitte aus drei, jeweils zweijährig auf der Versuchsstation Ihinger Hof (470–500 m NN) durchgeführten Winterweizen-Feldversuchen stellten die Basis für die Kornproben dar, deren DON-Gehalt analysiert wurde. Jeder der drei Versuche kombinierte faktoriell produktionstechnische Maßnahmen, einen zentralen Faktor stellte stets die N-Düngung dar. Zwar unterschied sich der dritte Versuch von den beiden anderen in der Inokulierungs- und der Analyseverfahren, bezogen auf die Aussagefähigkeit zur Fragestellung sind die drei Versuchsausschnitte jedoch als gleichwertig zu betrachten. Die breite Variation des vorliegenden Materials ermög-

licht eine breite Analyse des Einflusses der N-Düngung. Verallgemeinerungen, die über die geprüften Effekte hinausgehen, sind nicht zulässig. In der Tab. 1 werden zur Versuchsanlage jeweils nur die Faktoren und deren Stufen in den drei Versuchen dargestellt, welche die Fragestellung betreffen. Zusätzlich enthält die Tab. die Witterungsdaten der hinsichtlich des Fusariumbefalls relevanten Vegetationszeitabschnitte zwischen dem Ährenschieben und der Reife.

Aus dem Versuch 1 werden die Effekte eines in der Höhe abgestuften N-Angebots, verabreicht zu Vegetations- und zu Schossbeginn präsentiert. Interaktionen, die mit den beiden Winterweizensorten hinsichtlich des DON-Gehalts im Korngut auftraten, wurden bereits an anderer Stelle diskutiert (AUFHAMMER et al. 1999). Im vorliegenden Beitrag werden die N-Düngungseffekte im Mittel beider Sorten herausgestellt. Die Interpretation der Hauptwirkung N-Düngung erscheint gerechtfertigt, da die Wechselwirkung zwar ein sortenverschiedenes Reaktionsmaß, aber die gleiche Reaktionsrichtung aufzeigte. Letztere steht hier im Mittelpunkt der Fragestellung. Im Versuch 1 erhielt eine Variante nur den aus der Erbsenvorfrucht und dem Boden nachgelieferten Stickstoff. Die zweite Variante wurde nach derselben Vorfrucht mit insgesamt 120 kg N ha<sup>-1</sup> gedüngt und zur Sicherung der Standfestigkeit mit einem Wachstumsregulator behandelt. Die Fusarium-Inokulation der Bestände erfolgte mit der Haferkornmethode (OBST 1994). Hierzu wurden mit einem Gemisch aus 10 *F. graminearum*-Stämmen infizierte Haferkörner in einer Aufwandmenge von 6 g m<sup>-2</sup> (1995), bzw. zweimal 6 g m<sup>-2</sup> (1996) vor Schossbeginn auf die Bodenoberfläche in die Bestände ausgebracht. Sowohl mit der Infektionsmethode als auch mit der Verwendung eines Stammgemisches wurden hier angewandt realistische Bedingungen zugrunde gelegt. Der Ährenbefall wurde durch die Parzellenbonitur der ausgebleichten Ähren in der frühen Teigreife mit einer 9-stufigen Skala erfasst (MIEDANER 1986, HERMANN 1998). Zur Vorbereitung der DON-Analysen wurde das Erntegut bei 30 °C getrocknet und anschließend bei -20 °C tiefgekühlt gelagert. Die DON-Konzentrationen wurden mit Hilfe gaschromatographischer und massenspektroskopischer Methoden im Institut für Tierernährung der Universität Hohenheim ermittelt (SCHOLLENBERGER et al. 1998).

Der Versuch 2 umfasste verschiedene Fruchtfolgekombinationen. Die Vorfrüchte des Winterweizens, nämlich Körnermais bzw. Sommerweizen wurden – wie im Versuch 1 – über die Haferkornmethode mit dem Stammgemisch von *F. graminearum* inokuliert. Zu zwei aufeinander folgenden Terminen wurden den Vorfrüchten 1997 jeweils 6 g m<sup>-2</sup>, bzw. 1998 jeweils 10 g m<sup>-2</sup> Inokulum appliziert. Nach dem Drusch der inokulierten Vorfrüchte erfolgte am 28. 10. 1997 bzw. 19. 11. 1998 die Aussaat der Winterweizensorte Flair in den Mulch aus den jeweiligen Ernteresten. Im vorliegenden Beitrag werden die Ergebnisse zum Fusariumbefall dieser Mulchsaatvarianten, die in der Form differenzierte N-Düngergaben erhielten, dargestellt (YI 2000). Die Bestände erhielten zu Vegetationsbeginn im Frühjahr (1998) bzw. zu Schossbeginn (1999) eine Gabe von 100 kg N ha<sup>-1</sup> als Kalkstickstoff bzw. alternativ als Kalkammonsalpeter. Der Fusariumbefall wurde an Einzelähren-Stichproben erfasst. In der frühen Teigreife des Winterweizens beginnend, wurden in Abständen von 8–10 Tagen insgesamt zu 4 Terminen (T1–T4) zufällig verteilt 50 Ähren je Parzelle entnommen und sowohl die Anteile befallener Ähren an der Stichprobe (Befallshäufigkeit), als auch die Anzahl der befallenen Ährchen je befallener Ähre (Befallsstärke) ausgezählt. Die Anzahl be-

Tab. 1: Feldversuchsanlagen

*Experimental designs*Versuch 1: Variation des N-Angebots zwischen Vegetations- und Schossbeginn von Winterweizen, Inokulation mit *Fusarium graminearum*

Winterweizen		Sorten Kontrast (6) bzw. Pegassos (4) <sup>1)</sup>	
Jahr		1994/95	1995/96
Mittlere Lufttemp. (Juni–August)		16,4 °C	15,7 °C
Niederschläge (Juni–August)		251 mm	270 mm
N <sub>min</sub> bei Vegetationsbeginn (0–90 cm)		50 kg NO <sub>3</sub> -N ha <sup>-1</sup>	70 kg NO <sub>3</sub> -N ha <sup>-1</sup>
N-Angebot bzw. N-Düngung	N1	nur N-Nachlieferung aus Boden und Ernterückständen (Erbse) (kein Wachstumsregulator)	
	N2	N1 + 40 kg N ha <sup>-1</sup> KAS <sup>2)</sup> zu Vegetationsbeginn + 80 kg N ha <sup>-1</sup> KAS zu Schossbeginn + Wachstumsregulator Splitting 0,7 + 0,3 l ha <sup>-1</sup> CCC <sub>720</sub>	

<sup>1)</sup> Fusariumanfälligkeit (BESCHREIBENDE SORTENLISTE 1996)<sup>2)</sup> KAS = KalkammonsalpeterVersuch 2: Variation der N-Form von Düngergaben bei Vegetations- bzw. bei Schossbeginn von Winterweizen, Inokulation der Vorfrucht mit *Fusarium graminearum*

Winterweizen		Sorte Flair (5) <sup>1)</sup>			
Jahr		1997/98		1998/99	
Mittlere Lufttemp. (Juni – August)		16,4 °C		16,8 °C	
Niederschläge (Juni – August)		134 mm		251 mm	
Vorfrucht		Körnermais bzw. Sommerweizen			
N-Düngung (kg N ha <sup>-1</sup> , Form)		N1	N2	N1	N2
zu Vegetationsbeginn		40 KAS <sup>2)</sup>	100 KST <sup>2)</sup>	40 KAS	40 KAS
zu Schossbeginn		60 KAS		100 KAS	100 KST
zum Ährenschieben		60 KAS	60 KAS	60 KAS	60 KAS

<sup>1)</sup> Fusariumanfälligkeit (BESCHREIBENDE SORTENLISTE 1996)<sup>2)</sup> KAS = Kalkammonsalpeter, KST = KalkstickstoffVersuch 3: Variation der N-Spättdüngung bei Winterweizen, Inokulation mit *Fusarium culmorum*

Winterweizen		Sorte Transit (5) <sup>1)</sup>	
Jahr		1996/97	1997/98
Mittlere Lufttemp. (Juni –August)		16,5 °C	16,4 °C
Niederschläge (Juni –August)		286 mm	134 mm
N-Düngung (kg N ha <sup>-1</sup> ) bei Ährenschieben	N1	keine Spät-N-Gabe	
	N2	Spät-N-Gabe: 60 KAS <sup>2)</sup>	

<sup>1)</sup> Fusariumanfälligkeit (BESCHREIBENDE SORTENLISTE 1996)<sup>2)</sup> KAS = Kalkammonsalpeter

fallener Ährchen wurde auf die befallenen Ähren – nicht auf die Gesamtstichprobe von 50 Ähren – bezogen, um die Befallshäufigkeit und die Befallsstärke schärfer zu separieren. Die letzte Probenahme erfolgte bei beginnender Gelbreife, spätere Stadien erlaubten keine Differenzierung mehr zwischen den Effekten natürlicher Seneszenz und den Effekten des Fusariumbefalls. Bereits bei beginnender Gelbreife wurde der DON-Gehalt des Kornguts untersucht. Eine weitere DON-Analyse erfolgte nach dem Drusch bei Totreife (T5). Die DON-Analysen wurden mit dem gleichen Verfahren, wie in Versuch 1 beschrieben, in der Landesanstalt für Landwirtschaftliche Chemie in Hohenheim durchgeführt.

Im Versuch 3 wurden die Effekte einer N-Spättdüngung untersucht. Der Winterweizen, Sorte Transit, folgte in beiden Jahren auf die Vorfrucht Zuckerrüben. Über die Einarbeitung des Rübenblattes hinaus wurden die Bestände bis zum Schossbeginn mit 120 (1997) bzw. 100 (1998) kg N ha<sup>-1</sup> gedüngt. Aus diesem Versuch werden die Varianten mit und ohne Spät-N-Düngung gegenübergestellt (HÖHN 2000). Die späte Gabe von 60 kg N ha<sup>-1</sup> in Form von Kalkammonsalpeter erfolgte 6 Tage (1997) bzw. 5 Tage (1998) vor dem Blühbeginn des Weizens. Im Gegensatz zu den Versuchen 1 und 2 wurden hier die Bestände bei Blühbeginn mit *F. culmorum* sprühinokuliert. Die Sprühinokulation wurde mit einer Sporensuspension (~500000

Sporen ml<sup>-1</sup> Wasser, 1000–1200 l Wasser ha<sup>-1</sup>) des *Fusarium culmorum*-Stammes 46 durchgeführt. Die Methode weicht vom natürlichen, von der Bodenoberfläche ausgehenden Befallsverlauf ab, sichert aber in stärkerem Maße die Ähreninfektion in der spätdüngungsrelevanten Phase. Der verwendete Stamm produziert als Toxin nahezu ausschließlich DON. In den gleichen Entwicklungsstadien und nach dem gleichen Verfahren wie im Versuch 2 wurden die Befallshäufigkeit und die Befallsstärke an Einzelährenstichproben erfasst (T1–T5). Zu den gleichen Terminen wurden die DON-Konzentrationen im Korngut analysiert. Über die Totreife hinausgehende Proben (T6, T7) dienten der Untersuchung des DON-Gehaltes im Zeitraum bis zu einem verzögerten Druschtermin. Die DON-Analysen wurden hier mit einem hochauflösenden flüssigkeits-chromatographischen Verfahren von der Bayerischen Landesanstalt für Pflanzenbau und Bodenkultur, München-Freising, durchgeführt (LEPSCHY VON GLEISSENTHAL et al. 1989).

Die Daten der drei Versuche wurden, jeweils jahresgetrennt und terminbezogen, mit Hilfe der Prozedur GLM des Statistik-Programmpaketes SAS varianzanalytisch überprüft. Zur Bewertung der Effekte wurde von der Verwendung der konventionellen Signifikanzschranke abgewichen. Sowohl der Befallsverlauf als auch die in den einzelnen Kornproben während der Kornausbildung gemessenen DON-Konzentrationen unterlagen pilzspezifischen Einflüssen, die sich in der Probenahmeperiode laufend veränderten. Am DON-Gehalt waren z. B. die Pilzentwicklung abhängig von den Umweltbedingungen sowie die Pilzausbreitung innerhalb einer Ähre und auf dem einzelnen Korn beteiligt. Eine aufgrund des hohen Aufwands eng fixierte Analysenzahl, begrenzt in Verbindung mit der konventionellen Signifikanzschranke von 5% Irrtumswahrscheinlichkeit die Aussagefähigkeit der Daten von vorneherein erheblich. Daher erschien es sinnvoll, anstelle der Signifikanzprüfung für die relevanten Effekte durchgängig die Irrtumswahrscheinlichkeit anzugeben. Die Mittelwerttabellen der DON-Konzentrationen und anderer Parameter enthalten daher anstelle von Grenzdifferenzen in der Spalte Pr > F die entsprechenden Wahrscheinlichkeitsangaben.

## Ergebnisse

### *Einfluss kornertragsrelevanter N-Gaben (Versuch 1):*

Die Feldschläge der beiden Versuchsjahre unterschieden sich schon zu Vegetationsbeginn im Frühjahr im N<sub>min</sub>-Niveau (Tab. 1). In der Folge erreichte die ungedüngte Va-

riante (N1) im Mittel mit 570 ährentragenden Halmen m<sup>-2</sup> im Jahr 1996 das Bestandesdichteniveau (560 Ähren m<sup>-2</sup>) der gedüngten Variante (N2) des Vorjahres. In beiden Jahren bewirkten die mineralischen N-Düngergaben im Vergleich zur ungedüngten Variante eine Erhöhung der Bestandesdichte und zwar um 27% im Jahr 1995 und um 12% im Jahr 1996. Darüber hinaus stieg die Kornzahl um 0,5–3 Körner je Ähre geringfügig an. Eine Reduktion der Wuchshöhe, hervorgerufen durch die CCC-Applikation, trat nur 1996 auf. Auf den Ährenbefall mit *F. graminearum*, der mit der Boniturnote 4 nur ein mittleres Niveau erreichte, konnten in keinem der beiden Versuchsjahre Auswirkungen der N-Düngung festgestellt werden (Tab. 2).

In beiden Jahren gleichgerichtet, aber nur im Jahr 1996 mit geringer Irrtumswahrscheinlichkeit reproduzierbar, war hingegen der Effekt der N-Düngung einschließlich der Wachstumsreglerapplikation auf den DON-Gehalt im Korngut. Während sich 1995 eine Zunahme um ca. 40% abzeichnete, lag der DON-Gehalt des Kornguts im Jahr 1996 in der gedüngten Variante (N2) mit >6000 µg kg<sup>-1</sup> Kornmasse nahezu doppelt so hoch wie in der ungedüngten (N1) (Tab. 2).

### *Einfluss der N-Form (Versuch 2):*

Generell blieb der Ährenbefall des Winterweizens in beiden Jahren gering. Im Gegensatz zu den Versuchen 1 und 3 wurden hier nicht die untersuchten, aufstehenden Bestände, sondern die Vorfrüchte inokuliert. Interaktionseffekte zwischen den Vorfrüchten und den N-Formen traten nicht auf, in der Tab. 3 werden deshalb die Mittelwerte des Befalls nach differenzierter N-Düngung, d. h. die Mittelwerte der Hauptwirkung N-Düngerform, präsentiert. Obwohl die Befallshäufigkeit als auch die Befallsstärke lassen in beiden Jahren einen niedrigeren Befall nach der Anwendung von Kalkstickstoff gegenüber dem Einsatz von Kalkammonsalpeter erkennen. Im Abreifeverlauf zwischen der Teigreife und dem Drusch nahmen die Differenzierungseffekte der Düngerform zu, die Irrtumswahrscheinlichkeiten gingen deutlich zurück. Die DON-Gehalte korrespondieren – trotz der relativ geringen Konzentrationen – mit dem Ährenbefall. In beiden Jahren und zu beiden Untersuchungsterminen unterschritt der DON-Gehalt im Korngut der mit Kalkstickstoff gedüngten Variante den Wert der mit Kalkammonsalpeter gedüngten um 30–40%. In beiden Düngungsvarianten gingen die DON-Konzentrationen zwischen der Gelbreife und dem Druschtermin erheblich zurück (Tab. 3).

Tab. 2: Versuch 1: Einfluss der N-Angebots zwischen Vegetations- und Schossbeginn auf den Ährenbefall von Winterweizen mit *F. graminearum* und den DON-Gehalt im Korngut (Mittelwerte über zwei Sorten)

*Experiment 1: Effect of the N fertilization at the beginning of the growing season on ear infection of winter wheat with *F. graminearum* and DON concentration in grain yield (means across two cultivars)*

Merkmal, Entwicklungsstadium	Erntejahr	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	Pr > F
Ährenbefallsbonitur (1–9) <sup>1)</sup> , frühe Teigreife	1995	4,0	3,8	0,54
	1996	3,8	4,1	0,27
DON-Gehalt im Korngut (µg kg <sup>-1</sup> ), Totreife	1995	2463	3461	0,31
	1996	3219	6024	0,02

<sup>1)</sup> 1 = kein Befall, 9 = vollständig ausgebleichte Ähren

Tab. 3: Versuch 2: Einfluss der N-Form von Düngergaben zu Vegetations- bzw. zu Schossbeginn auf den Ährenbefall der Winterweizensorte Flair mit *F. graminearum* und den DON-Gehalt im KorngutExperiment 2: Effect of the N fertilizer type applied at the beginning of the growing season on ear infection of winter wheat (cv. Flair) with *F. graminearum* and DON concentration in grain yield

Jahr	Termine/ Stadien	Befallshäufigkeit (befallene Ähren %)			Befallsstärke (befallene Ährchen je befallene Ähre)			DON-Gehalt ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )		
		KAS <sup>1)</sup>	KST <sup>1)</sup>	Pr > F	KAS	KST	Pr > F	KAS	KST	Pr > F
1998	T1 (Teigreife)	3,0	2,2	0,49	0,5	0,6	0,36	Keine Analysen durchgeführt		
	T2	4,5	2,7	0,34	1,2	0,9	0,57			
	T3	44,0	36,2	0,04	1,7	1,5	0,01			
	T4 (Gelbreife)	19,0	4,5	<0,01	2,8	2,3	0,32	1190	792	0,32
	T5 (Drusch)	Aufgrund natürlicher Seneszenz keine weitere Erfassung möglich						431	243	0,10
1999	T1 (Teigreife)	22,0	17,5	0,46	1,5	1,7	0,15	Keine Analysen durchgeführt		
	T2	22,0	15,2	0,38	1,4	1,6	0,65			
	T3	14,0	7,7	0,03	2,2	1,5	0,16			
	T4 (Gelbreife)	8,2	4,0	0,03	1,2	0,9	0,09	996	519	0,20
	T5 (Drusch)	Aufgrund natürlicher Seneszenz keine weitere Erfassung möglich						650	606	0,76

<sup>1)</sup> KAS = Kalkammonsalpeter, KST = Kalkstickstoff*Einfluss qualitätsrelevanter Spät-N-Gaben (Versuch 3):*

Die Befallsmerkmale zeigen, dass sich unter den feuchteren Bedingungen im Jahr 1997 (Tab. 1) der Ährenbefall rascher manifestierte als im Jahr 1998 (Tab. 4). Der Fusariumbefall breitete sich 1997 im weiteren Kornausbildungsverlauf nur noch wenig aus. Generell reiften die spät mit Stickstoff gedüngten Parzellen gegenüber den ungedüngten etwas verzögert ab. Gleichzeitig wurden in beiden Jahren in den spät gedüngten Parzellen weniger Ähren befallen, und diese weniger stark. Die Differenzen zwischen den Mittelwerten traten insbesondere in frühen Abreifeabschnitten auf. Jedoch weisen hohe Irrtumswahrscheinlichkeiten auf die große Variabilität zwischen und in den Ähren hin.

Die DON-Konzentrationen im teigreifen Kornmaterial der mit *F. culmorum* sprühinfizierten Ähren wiesen mit Werten zwischen 20000 und 30000  $\mu\text{g kg}^{-1}$  in beiden Jahren ein ähnliches Niveau auf. Im Jahr 1997 ging der DON-Gehalt im Verlauf der Kornausbildung bis zur Totreife und darüber hinaus kontinuierlich zurück. Demgegenüber konnte 1998 keine derart kontinuierliche Veränderung festgestellt werden. Vielmehr blieb die DON-Konzentration – von einer Abweichung bei Gelbreife abgesehen – nahezu konstant. In beiden Jahren lagen die DON-Konzentrationswerte der spät mit N gedüngten Variante im Abreifeverlauf unter den Werten der ungedüngten Kontrollvariante. Auch hier wurden zumeist erst in fortgeschrittenen Reifestadien geringe Irrtumswahrscheinlichkeiten von 5% und darunter erreicht (Tab. 4).

Tab. 4: Versuch 3: Einfluss der N-Spätdüngung auf den Ährenbefall mit *Fusarium culmorum* der Winterweizensorte Transit und den DON-Gehalt im KorngutExperiment 3: Effect of a late N dressing on ear infection of winter wheat (cv. Transit) with *F. culmorum* and DON concentration in grain yield

Jahr	Termine/ Stadien	Befallshäufigkeit (befallene Ähren %)			Befallsstärke (befallene Ährchen je befallene Ähre)			DON-Gehalt ( $10^3 \mu\text{g kg}^{-1}$ )		
		N1	N2	Pr > F	N1	N2	Pr > F	N1	N2	Pr > F
1997	T1 (Teigreife)	77,9	74,9	0,44	2,9	2,4	0,10	29,8	19,5	0,08
	T2	94,5	85,3	0,04	3,7	3,2	0,02	keine DON-Analysen		
	T3	83,5	79,7	0,56	3,7	3,2	0,47	25,3	19,1	0,23
	T4 (Gelbreife)	86,5	83,8	0,68	4,2	3,6	0,25	23,2	18,7	0,22
	T5 (Totreife)	Aufgrund natürlicher Seneszenz keine weitere Erfassung möglich						23,2	13,8	0,03
	T6							21,3	15,0	<0,01
	T7 (Drusch)							17,6	13,6	<0,01
1998	T1 (Teigreife)	13,0	16,0	0,59	0,9	1,5	0,42	24,6	23,9	0,85
	T2	46,5	37,0	0,20	1,4	1,3	0,27	keine DON-Analysen		
	T3	82,0	75,7	0,32	3,7	3,1	0,31	28,7	21,6	0,31
	T4 (Gelbreife)	82,8	73,5	0,15	3,3	2,6	0,05	14,4	14,4	0,97
	T5 (Totreife)	Aufgrund natürlicher Seneszenz keine weitere Erfassung möglich						36,9	31,2	0,08
	T6							32,1	21,4	0,02
	T7 (Drusch)							30,1	26,9	0,40

## Diskussion

Zunächst sind zur Erfassung des Fusariumbefalls und des DON-Gehalts im Korngut allgemeine Feststellungen zu treffen. Die DON-Konzentrationen lagen mit 2–6 mg kg<sup>-1</sup> im Versuch 1, mit <1 mg kg<sup>-1</sup> im Versuch 2 und mit 10–40 mg kg<sup>-1</sup> im Versuch 3 auf sehr unterschiedlichem Niveau. Hieran sind auch die Infektionsbedingungen in den einzelnen Versuchsjahren beteiligt. Eine wesentliche Ursache stellen aber die unterschiedlichen Inokulationsverfahren und -zeitpunkte dar. Während mit der Haferkornmethode ein Befall nachvollzogen wird, der von infizierten Ernteresten auf der Bodenoberfläche ausgeht, gelangen die Ähren mit einer Sprühinfektion zur Blüte rasch unter einen sehr hohen Infektionsdruck. Selbst bei sehr sorgfältiger zufallsverteilter Entnahme von Ährenstichproben aus infizierten Beständen oder von Korngut können sowohl die Werte der Befallshäufigkeit und der Befallsstärke als auch insbesondere die analysierten DON-Konzentrationen zwischen Feldwiederholungen erheblich variieren. Bei Beständen mit mittlerem Befallsniveau, resultierend aus einem natürlichen Befallsverlauf, unterscheidet sich bereits das Infektionsausmaß von Ähre zu Ähre erheblich. Neben nicht infizierten stehen teilweise oder vollkommen ausgebleichte Fruchtstände. Hinzu kommt, dass der DON-Gehalt auch innerhalb einer Ähre von Korn zu Korn beträchtlich variieren kann. Dies gilt selbst nach einer Sprühinokulation, wenn die Körner äußerlich gleichwertige Befallssymptome aufweisen (WEINERT & WOLF 1999). Die Ausbreitung und die DON-Produktion des Pilzes verändern sich im Kornausbildungs- und Abreifeverlauf in Abhängigkeit von der Dauer und den Bedingungen während der Zeitspanne nach der Infektion. Unter der Gesamtheit dieser Voraussetzungen ist nicht davon auszugehen, dass z. B. N-Düngungseffekte in frühen Reifestadien ebenso gleichmäßig und eindeutig ausgeprägt sind wie in späten Stadien. Andererseits erfordern zeitaufwendige Einzelährenbonituren sowie teure DON-Analysen von vorne herein eine enge Beschränkung der Probenzahl. In der Folge sind die Effekte unterschiedlicher Behandlungen in frühen Reifestadien zumeist mit höheren Irrtumswahrscheinlichkeiten behaftet als in späteren Entwicklungsstadien.

Von den Befallsbonituren im Versuch 1 ausgehend, beeinflussten N-Düngergaben in frühen Abschnitten der Bestandesentwicklung, verbunden mit CCC-Applikationen, den bonitierbaren Ährenbefall mit *F. graminearum* nicht. Daraus ist zu schließen, dass höhere Bestandesdichten den Sporentransport von der Bodenoberfläche zu den Ähren nicht wirksam behinderten und eine geringere Distanz zwischen der Bodenoberfläche und den Ähren die Befallsbedingungen nicht maßgeblich veränderte (ELLEN & LANGERAK 1987). Dem unveränderten Befallsausmaß stand jedoch nach einer N-Düngung eine Zunahme der DON-Konzentrationen im Korngut gegenüber. An anderer Stelle wurde bereits auf die lose Beziehung zwischen dem Befallsgrad und dem DON-Gehalt verwiesen (HERMANN 1998, AUFHAMMER et al. 1999, WEINERT & WOLF 1999). Einerseits ist fragwürdig, ob die Bonitur von Beständen Befallsunterschiede genau genug erfasst. Andererseits könnte der Anstieg des DON-Gehaltes im Korngut der früh N-gedüngten Varianten weniger auf das Infektionsausmaß als vielmehr auf eine Beeinflussung des Pilzwachstums zurückgehen. Ob im vorliegenden Fall die Verschiebung der Stärke:Protein-Relation im Korn die auslösende Ursache war – das Korngut der gedüngten wies gegenüber der ungedüngten Variante um 1–2% höhere

Protein-Konzentrationen auf – ist nicht eindeutig zu klären. Das Angebot an Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen kann jedoch das Wachstum verschiedener *F. graminearum*-Stämme in unterschiedlichem Maße begünstigen (MILLER & GREENHALGH 1985). Ein Zusammenhang zwischen der Kornzusammensetzung und der Stoffwechselaktivität des Pilzes ist daher nicht von vorne herein abzuweisen. Zunächst widersprechen jedoch die Ergebnisse aus dem Versuch 3 der vermuteten Förderung des Pilzes durch hohe Proteinkonzentrationen. Durch Spät-N-Gaben wurde der Kornproteingehalt mindestens in gleichem Umfang angehoben wie im Versuch 1, die DON-Konzentrationen gingen jedoch gegenüber der ungedüngten Variante zurück. In diesem Versuch wurde allerdings nicht mit einem Stammgemisch von *F. graminearum*, sondern mit einem definierten *F. culmorum*-Stamm inokuliert, so dass im Sinne der Ergebnisse von MILLER & GREENHALGH (1985) auch eine Wechselwirkung zwischen dem Erreger-Genotyp und der Kornzusammensetzung vorliegen könnte.

In keinem Fall können die Folgerungen aus den Effekten früher N-Düngergaben auf den DON-Gehalt darauf hinauslaufen, dass auf ertragsrelevante N-Gaben verzichtet werden muss. Offensichtlich ermöglicht aber die Verwendung von Kalkstickstoff eine Reduktion des Infektionsdrucks, der von kontaminierten Ernteresten auf der Bodenoberfläche ausgeht (YI et al. 1999). Die fungistatische Wirkung der Cyanamidphase dieser Stickstoffform ist bekannt (JUNGK 1984). Allerdings bleibt das Ausmaß der Verminderung des Befalls und der Toxinkonzentration im Korngut begrenzt (Tab. 3). Mit dem Einsatz von Kalkstickstoff ist anscheinend befristet eine Einschränkung des aktuellen Infektionsdrucks im Bestand möglich. Die generelle Gefährdung, die aus der engen Aufeinanderfolge von Wirtspflanzen verbunden mit der Akkumulation von Ernteresten an der Bodenoberfläche resultiert, ist aber durch eine solche Maßnahme alleine nicht beherrschbar.

Aus den Ergebnissen des Versuchs 3 zur N-Spät-Düngung wird – wie schon im Versuch 1 – deutlich, dass der DON-Gehalt im Korngut nicht nur vom erfassbaren Befallsniveau mit Fusarium abhängt. Vielmehr wird die DON-Konzentration im Korn vermutlich wesentlich von den Entwicklungs- und Wachstumsbedingungen für den Pilz im Zeitraum zwischen der Infektion und dem Drusch bestimmt (SCOTT et al. 1984). In dieser Periode steigt nicht nur der Trockensubstanzgehalt der Körner sukzessive an, vielmehr verändert sich auch die stoffliche Zusammensetzung kontinuierlich. Der über die physiologische Reife hinaus bis zum Drusch fortschreitende Rückgang der DON-Konzentrationen im Erntejahr 1997 stellt einen Verdünnungseffekt als Ursache abnehmender DON-Konzentrationen in Frage. Die Konzentrationskonstanz im Folgejahr widerspricht dieser Aussage nicht, sie stellt aber gleichzeitig eine Beteiligung der Kornzusammensetzung in Frage. Möglicherweise beeinflussten die jahresverschiedenen Feuchteverhältnisse in dieser Periode (Tab. 1) die Stoffwechselaktivität des Pilzes. Nicht auszuschließen ist, dass sowohl ein höheres Feuchtigkeitsangebot im Jahr 1997 als auch ein durch die Spät-N-Düngung angehobenes Angebot an N-Verbindungen gleichgerichtet Stress-Situationen für den Pilz reduzieren. Soweit das DON ein stressbedingtes Stoffwechselprodukt darstellt, könnten diese Einflüsse mit zur Erklärung der jahres- und düngungsverschiedenen Verläufe beitragen (PRELL 1996).

Keinesfalls dürfen die vorgelegten Ergebnisse unzulässig verallgemeinert werden. Die Befunde basieren nur auf einzelnen Weizensorten, darüber hinaus wurden Interaktionen mit den jeweiligen Umweltbedingungen nur in

kleinen Ausschnitten einbezogen. Auf die Einflüsse unerwünschter aber realer Variabilitätsursachen wurde hingewiesen. Die N-Düngung kann zwar an den Schadeffekten von Ährenfusariosen beteiligt sein, gravierende Abstriche von einem kornertrags- und -qualitätsrelevanten N-Angebot sind jedoch nicht vertretbar. Angewandt muss die Lösung der Problematik primär auf die Beseitigung des Infektionsdrucks ausgerichtet werden.

## Danksagung

Für die Durchführung der DON-Analysen danken wir Frau Dr. Schollenberger und Herrn Lauber (Institut für Tierernährung der Universität Hohenheim), Herrn Dr. Schwadorf und Herrn Dr. Eckstein (Landesanstalt für Landwirtschaftliche Chemie, Hohenheim) und Herrn Dr. Lepschy von Geissenthal (Bayerischen Landesanstalt für Pflanzenbau und Bodenkultur München-Freising).

## Literatur

- AUFHAMMER, W., W. HERMANN, E. KÜBLER, U. LAUBER & M. SCHOLLENBERGER, 1999: Ährenbefall mit *Fusarium graminearum* und Mykotoxingehalt des Kornguts von Winterweizen, -triticale und -roggen in Abhängigkeit von Sorte und Anbauintensität. *Pflanzenbauwissenschaften* **3** (1), 32–39.
- BESCHREIBENDE SORTENLISTE, 1996: Beschreibende Sortenliste Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen (großkörnig), Hackfrüchte (außer Kartoffeln). Bundessortenamt.
- ELLEN, J. & C. J. LANGERAK, 1987: Effects of plant density and nitrogen fertilization in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). 2. Incidence of *Gerlachia nivalis* and *Fusarium* spp. related to yield losses. *Netherlands Journal of Agricultural Science* **35**, 155–162.
- GILGENBERG-HARTUNG, A., 1999: Risiken durch Ährenfusariosen. *Cyanamid Agrar*, 1–29.
- HARTLEB, H., R. GIPPERT, CH. WOLF & P. RÜCKER, 1999: DTR-Blattdürre und Ährenfusariosen. Wann Weizen im Trockengebiet gefährdet ist. *Top-Agrar* **5**, 52–55.
- HERMANN, W., 1998: Befall und Toxinproduktion durch Ährenfusarien bei Winterweizen, -triticale und -roggen in Abhängigkeit von produktionstechnischen Maßnahmen. Diss. Universität Hohenheim.
- HERMANN, W., E. KÜBLER & W. AUFHAMMER, 1998: Ährenbefall mit Fusariosen und Toxingehalt im Korngut bei verschiedenen Wintergetreidearten. *Pflanzenbauwissenschaften* **2** (3), 97–107.
- HÖHN, D., 2000: Fusariumtoxine in Weizenkörnern in Abhängigkeit von der Dauer und den Bedingungen während der Kornausbildungsperiode. Diss. Universität Hohenheim, in Vorbereitung.
- JUNGK, A., 1984: Toxikologie der Pflanzenernährung (Düngerschäden). In: HOCK, B. & E. F. ELSTNER (Hrsg.): *Pflanzentoxikologie: Der Einfluß von Schadstoffen und Schadwirkungen auf Pflanzen*, 224–240. Wissenschaftsverlag, Bibliographisches Institut Mannheim, Wien, Zürich.
- LEPSCHY VON GLEISSENTHAL, J., R. DIETRICH, E. MÄRTLBAUER, M. SCHUSTER, A. SÜSS & G. TERPLAN, 1989: A survey on the occurrence of *Fusarium* mycotoxins in Bavarian cereals from the 1987 harvest. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* **188**, 521–526.
- MIEDANER, T., 1986: Entwicklung von Methoden zur Bestimmung der Fusarienresistenz in frühen Wachstumsstadien des Weizens. Diss. Universität Hohenheim.
- MIEDANER, T. & C. REINBRECHT, 1999: Fusarien in Getreide – Bedeutung von Pflanzenbau und Resistenzzüchtung zur Verminderung von Ertragsverlusten und einer Kontamination mit Mykotoxinen. *Getreide, Mehl und Brot* **53** (3), 135–140.
- MILLER, J. D. & R. GREENHALGH, 1985: Nutrient effects on the biosynthesis of trichothecenes and other metabolites by *Fusarium graminearum*. *Mycologia* **77** (1), 130–136.
- MÜLLER, H.-M., M. SCHOLLENBERGER, W. HERMANN & W. DROCHNER, 1999: Zum Vorkommen von Fusarientoxinen im Weizen der Ernte 1998 aus zwei Anbaugebieten in Baden-Württemberg. In: *Cyanamid Agrar* (Hrsg.), *Fusarium-Symposium 02. 12. 1999*, 8–9.
- MÜLLER, H.-M., J. REIMANN, U. SCHUMACHER & K. SCHWADORF, 1997: *Fusarium* toxins in wheat harvested during six years in an area of southwest Germany. *Natural Toxins* **5**, 24–30.
- OBST, A. (1994): Untersuchungen zur Epidemiologie und Bekämpfung des Ährenparasiten *Fusarium graminearum* an Weizen. *Mitt. Biol. BundAnst. Ld.- u. Forstw.* **301**, 73.
- PRELL, H. H., 1996: Interaktionen von Pflanzen und phytopathogenen Pilzen. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- SCHOLLENBERGER, M., U. LAUBER, H. TERRY, W. DROCHNER & H. M. MÜLLER, 1998: Determination of 8 trichothecenes by gaschromatography mass spectrometry after sample clean-up using two-stage solid phase extraction. *J. Chromatographie, A* **815** (1), 123–132.
- SCOTT, P. M., K. NELSON, S. R. KANHERE, K. F. KARPINSKI, ST. HAYWARD, G. A. NEISH & A. H. TEICH, 1984: Decline in Deoxynivalenol (Vomitoxin) concentrations in 1983 Ontario winter wheat before harvest. *Appl. and Environ. Microbiol.* **48** (4), 884–886.
- TEICH, A. H. & K. NELSON, 1984: Survey of fusarium head blight and possible effects of cultural practices in wheat fields in Lambton Country in 1983. *Canadian Plant Disease Survey* **64** (1), 11–13.
- TEICH, A. H. & J. R. HAMILTON, 1985: Effect of cultural practices, soil phosphorus, potassium and pH on the incidence of fusarium head blight and deoxynivalenol levels in wheat. *Appl. and Environ. Microbiol.* **49** (6), 1429–1431.
- WEINERT, J. & G. A. WOLF, 1995: Gegen Ährenfusarien helfen nur resistente Sorten. *Pflanzenschutz-Praxis* **2**, 30–32.
- WEINERT, J. & G. A. WOLF 1999: Erfahrungen zum Auftreten von Ährenfusariosen und zur Bekämpfungsstrategie im Weizen. In: *Cyanamid Agrar* (Hrsg.), *Fusarium-Symposium 02. 12. 1999*, 18–19.
- YI, C., E. KÜBLER, H.-P. KAUL & W. AUFHAMMER, 1999: Entwicklung von *Fusarium graminearum* auf Ernterückständen von Weizen und Mais. *Mitt. Ges. f. Pflanzenbauwissenschaften* **12**, 201–202.
- YI, C., 2000: Auswirkungen einer mit *Fusarium graminearum* infizierten Mais- oder Sommerweizenvorfrucht auf den Fusariumbefall des nachfolgenden Winterweizens. Diss. Universität Hohenheim, in Vorbereitung.

Eingegangen am 27. April 2000;  
angenommen am 26. Juli 2000

### Anschriften der Verfasser:

Prof. Dr. W. Aufhammer, Dr. E. Kübler, PD Dr. H.-P. Kaul, W. Hermann, D. Höhn & Cuilin Yi, Institut für Pflanzenbau und Grünland, Universität Hohenheim, Fruwirthstraße 23, D-70599 Stuttgart