

Institut für Pflanzenkrankheiten der
Rheinischen Friedrich-Wilhelm-Universität Bonn

**Zur Bedeutung von Umweltbedingungen und pflanzenbaulichen
Maßnahmen auf den *Fusarium*-Befall und die Mykotoxinbelastung
von Weizen**

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Grades

Doktor der Agrarwissenschaften

(Dr. agr.)

der Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät der
Rheinischen Friedrich-Wilhelm-Universität

zu

Bonn

vorgelegt am: 3 September 2003

von Dipl.-Ing. Agr. Anja Meier

aus Köln

Referent: Prof. Dr. H.-W. Dehne
(Institut für Pflanzenkrankheiten)

Korreferent: Prof. Dr. U. Köpke
(Institut für Organischen Landbau)

Tag der mündlichen Prüfung: 19.12.2003

D 98

KURZFASSUNG

Anja Meier

Zur Bedeutung von Umweltbedingungen und pflanzenbaulichen Maßnahmen auf den Fusarium-Befall und die Mykotoxinbelastung von Weizen

In mehrjährigen Untersuchungen wurde der Einfluss pflanzenbaulicher Maßnahmen des Organischen und integrierten Anbaus auf die Pflanzengesundheit von Weizen im Rheinland erfasst. Hierbei wurden die Auswirkungen des Standorts, der Witterung, der Sortenwahl, von Fungiziden, der Bodenbearbeitung, Fruchtfolge bzw. Vorfrucht, der Anbauintensität und der Begleitflora auf den Befall der Ähren mit verschiedenen *Fusarium*-Arten sowie *Microdochium nivale* und deren Mykotoxinbelastung berücksichtigt.

Die Ährenbonitur eignete sich nur bedingt für eine Beurteilung der Befallshäufigkeit mit *Fusarium* spp., denn nur bei Inokulation mit einer *Fusarium*-Art zeigten sich auch deutliche Symptome. Der grösste Teil der Korninfektionen fand bei allen untersuchten *Fusarium*-Arten zur Blüte statt, allerdings darf bei entsprechender Witterung die Infektionsgefahr vor der Blüte (BBCH 49) bzw. bis zur Teigreife nicht unterschätzt werden. Das Artenspektrum von *Fusarium* war an allen Standorten gleich, lediglich der Anteil der einzelnen Arten am Gesamtbefall variierte, *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. poae*, *F. graminearum*, *F. tricinctum*, *F. sporotrichioides* sowie *Microdochium nivale* wurden nachgewiesen. Auf das Inokulumpotenzial hatte die Bodenbearbeitung in Wechselwirkung mit der Vorfrucht entscheidenden Einfluss. Einige Arten der Begleitflora wurden befallen und könnten somit ebenfalls als Inokulumquelle dienen; besonderes Arten, die wie *G. aparine* im Bestand mit hochwachsen, waren z. T. stärker befallen als der Weizen. Ein Vergleich der Weizensorten in verschiedenen Umwelten zeigte, dass 'Bold', 'Zentos' und 'Petrus' die geringste *Fusarium*-Anfälligkeit aufwiesen. Die Anfälligkeit der Sorten gegenüber *Fusarium* spp. war nicht mit der gegenüber *Microdochium nivale* verbunden. Weizen aus Organischem Landbau wies im Vergleich zu Proben aus integrierten Anbau einen um ca. 10 % niedrigeren *Fusarium*-Befall auf; sowie mit 100-350 µg geringere DON-Gehalte; dies beruht vermutlich vor allem auf der geringeren Anbauintensität und anderen Fruchtfolge. Im integrierten Anbau konnte der *Fusarium*-Befall bzw. die Mykotoxinbelastung durch eine termingerechte Behandlung mit Azolfungizid um bis zu 60 % reduziert werden. Die Applikation eines Strobilurin-Fungizids konnte zu einem höheren DON-Gehalt führen. Eine Fungizidapplikation als alleinige Maßnahme reicht zur Qualitätssicherung des Ernteguts meistens nicht aus, so dass weitere pflanzenbauliche Maßnahmen mit einbezogen werden sollten. Aufgrund der vorkommenden *Fusarium*-Arten sollten andere Mykotoxine als DON stärkere Beachtung finden.

ABSTRACT

Anja Meier

Towards the impact of environmental conditions and plant cultivation measures on *Fusarium* infection and mycotoxin contamination of wheat

The influence of plant cultivation measures on plant health of wheat in organic and conventional farming systems in the Rhineland was investigated in studies of several years. The effect of site, weather, cultivar choice, fungicides, soil preparation (tillage), crop rotation, previous crop, intensity of cultivation and weed on infection of wheat ears with different *Fusarium* species and *Microdochium nivale* as well as on mycotoxin contamination was investigated.

Valuation of ears was only partly suitable for the assessment of infection rate with *Fusarium* species, as distinct symptoms were only visible when infection was caused by a single *Fusarium* species. The major proportion of grain infection with all *Fusarium* species investigated occurred at the time of flowering. However, danger of infection before inflorescence (BBCH 49) and until wax-ripe stage respectively should not be underestimated when the weather is appropriate. The spectrum of *Fusarium* species isolated was the same for all sites, only the infection rate with each *Fusarium* species varied. The species *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. poae*, *F. graminearum*, *F. tricinctum*, *F. sporotrichioides* as well as *Microdochium nivale* were identified. Soil preparation in interaction with the previous crop, such as *G. aparine*, had significant impact on infection potential of the soil. Some weed population was also infected and might thus be an alternate host; especially those weed varieties developing within the standing crop were partly showed heavier infection than the wheat. Comparing wheat varieties of different environmental conditions ‘Bold’, ‘Zentos’ and ‘Petrus’ were least susceptible to *Fusarium* infection. Susceptibility to *Fusarium* infection of different varieties was not correlated with susceptibility to *Microdochium nivale* infection. Wheat from organic farming in comparison with wheat from integrated farming showed by 10 % lower infection rates and with 100-350 µg/kg also lower DON contents which is probably mainly due to lower intensity of cultivation and different crop rotation. In conventional farming, *Fusarium* infection and mycotoxin contamination could be reduced by up to 60 % when azole fungicides were applied on schedule. Application of a strobilurin fungicide could lead to increased DON content. Fungicide treatment alone is not sufficient to assure quality of grains, so that further plant cultivation measures have to be included. As a large variety of *Fusarium* species was identified, other mycotoxins than DON should be included in analysis.

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG.....	6
2	MATERIAL UND METHODEN.....	7
2.1	Versuchsorganismen.....	7
2.1.1	Pflanzen.....	7
2.1.2	Pathogene.....	9
2.2	Chemikalien und Kulturmedien.....	12
2.2.1	Agro-Chemikalien.....	12
2.2.2	Kulturmedien.....	12
2.3	Anzucht und Kultivierung der Pflanzen.....	14
2.3.1	Unter kontrollierten Bedingungen.....	14
2.3.2	Feldversuche.....	14
2.3.2.1	Sortenversuche.....	15
2.3.2.2	Versuche zur Wirkung von Fungiziden.....	17
2.3.2.3	Variation der Stickstoffdüngung.....	20
2.3.2.4	Variation der Untersaat.....	21
2.3.2.5	Variation der Bodenbearbeitung.....	22
2.3.2.6	Variation des Saattermins.....	22
2.3.2.7	Variation der Bestandesdichte.....	22
2.3.2.8	Verteilung von <i>Fusarium</i> spp. und <i>Microdochium nivale</i> im Bestand.....	23
2.4	Anzucht der Pathogene.....	23
2.4.1	Herstellung des Körnerinokulums.....	23
2.4.2	Herstellung von Sporensuspensionen.....	23
2.5	Inokulationsverfahren.....	24
2.5.1	Körner.....	24
2.5.2	Ähren bzw. einzelne Blüten.....	25
2.5.3	Blätter.....	26

2.6	Isolierung und Inkubation von <i>Fusarium</i> spp. und <i>Microdochium nivale</i>	26
2.6.1	Isolierung aus dem Boden.....	26
2.6.1.1	Plattengussverfahren mit Verdünnungsreihe.....	26
2.6.1.2	Isolierung von organischen Partikeln.....	27
2.6.1.3	Indirekte Verfahren zur Isolierung von <i>Fusarium</i> spp. im Boden.....	27
2.6.2	Isolierung von Halm, Blättern und Ähren.....	28
2.6.2.1	Isolierungsverfahren.....	28
2.6.2.2	Inkubationsbedingungen.....	28
2.7	Taxonomische Differenzierung.....	29
2.8	Erfassung des Pathogenbefalls im Bestand.....	29
2.8.1	Bewertung von Halm und Blattkrankheiten.....	29
2.8.2	<i>Fusarium</i> spp. und <i>Microdochium nivale</i>	30
2.8.3	Erfassung des <i>Fusarium</i> -Befalls an der Begleitflora.....	31
2.9	Pflanzenwachstum und Ertragsparameter.....	31
2.10	<i>In vitro</i> -Untersuchungen zur Wirksamkeit von Fungiziden.....	32
2.10.1	Myzelwachstumstest.....	32
2.10.2	Sporenceimung und Keimschlauchlängenwachstum.....	32
2.11	Bestimmung des Mykotoxingehalts.....	33
2.11.1	Probenvorbereitung.....	33
2.11.2	LC-Tandem-Massenspektrometrie	33
2.11.3	Hochleistungsflüssigkeits-Chromatographie mit DAD.....	35
2.11.4	Kompetitiver Enzym-Immunoassay.....	37
2.12	Statistische Auswertung.....	38

3	ERGEBNISSE.....	39
3.1	Variabilität beim Nachweis von <i>Fusarium</i> spp. und <i>Microdochium nivale</i> und der Belastung mit Mykotoxinen.....	39
3.1.1	Vergleich von Ährenbonitur und mikrobiologischem Nachweis der Erreger.....	39
3.1.2	Auftreten von <i>Fusarium</i> spp. an und in Weizenkörnern.....	40
3.1.3	Räumliche Heterogenität des Kornbefalls im Feld.....	41
3.1.4	Einfluss einer Getreidereinigung auf die Befallshäufigkeit.....	43
3.1.5	Vergleich von zwei Methoden der Trichothecenbestimmung.....	46
3.2	Einflussfaktoren auf das Auftreten von <i>Fusarium</i> spp. und <i>Microdochium nivale</i>	47
3.2.1	Einfluss von Standort und Jahr.....	48
3.2.1.1	Bedeutung von Standortfaktoren.....	48
3.2.1.2	Bedeutung des Jahres.....	51
3.2.2	Einfluss anderer Krankheitserreger auf den Ährenbefall.....	58
3.2.3	Einfluss der Inokulumquelle auf die Befallsentwicklung.....	61
3.2.3.1	Saatgut.....	61
3.2.3.2	Ernterückstände auf dem Boden.....	63
3.2.3.3	Begleitflora.....	72
3.2.4	Einfluss pflanzenbaulicher Maßnahmen.....	75
3.2.4.1	Vorfrucht.....	75
3.2.4.2	Bodenbearbeitung.....	76
3.2.4.3	Einfluss des Wirtsgenotyps auf die Befallshäufigkeit.....	78
3.2.4.4	Untersaat.....	95
3.2.4.5	Einfluss von Fungizidbehandlungen.....	96
3.2.4.5.1	<i>In vitro</i> -Wirkung auf Myzelwachstum und Keimung.....	97
3.2.4.5.2	Wirksamkeit auf Befall und Mykotoxin- belastung unter Freilandbedingungen.....	101
3.2.4.6	Anbauintensität.....	118

3.2.4.7 Einfluss des Anbausystems.....	123
3.3 Entwicklung von <i>Fusarium</i> spp. und <i>Microdochium nivale</i> an Weizenpflanzen.....	126
3.3.1 Halmbasis- und Blattsymptome durch <i>Fusarium</i> spp. und <i>Microdochium nivale</i>	126
3.3.2 Entwicklung des Befalls während der Vegetationsperiode.....	127
3.3.3 Befallsverlauf in der Ähre.....	130
3.3.4 Einfluss des Infektionszeitpunktes auf Ährenbefall und Mykotoxinbelastung.....	131
3.3.5 Einfluss von Temperatur und relativer Luftfeuchte auf den Ährenbefall.....	133
4 DISKUSSION.....	135
5 ZUSAMMENFASSUNG.....	163
6 LITERATURVERZEICHNIS.....	166

Abkürzungsverzeichnis:

Abb.	Abbildung
AHL	Ammoniumharnstofflösung
BBCH	Entwicklungsstadium des Getreides nach den Firmen BASF, Bayer AG, Cyanamid Agrar und Hoechst BBCH 31-32 1 bzw. 2 Knotenstadium; BBCH 37 Fahnenblatt spitzt BBCH 49 Fahnenblattscheide geöffnet; BBCH 59 Ende Ährenschieben; BBCH 63 Anfang Blüte BBCH 65 Vollblüte; BBCH 69 Ende Blüte; BBCH 75 Milchreife; BBCH 85 Teigreife; BBCH 92 Vollreife
CCC	Chlorcholinchlorid
Ca	Kalzium
Cl	Clorid
CZID	Czapek-Dox-Iprodion-Dichloran-Agar
cv.	cultivar
DAD	Dioden-Array-Detektor
Demin	Demineralisiert
DON	Deoxynivalenol
dt/ha	Dezitonne pro Hektar
EC ₅₀ -Wert	gibt Wirkstoffkonzentration (µg/ml) an, bei der das Test-Isolat zu 50 % in seinem Wachstum eingeschränkt wird
EC ₉₀ -Wert	gibt Wirkstoffkonzentration (µg/ml) an, bei der das Test-Isolat zu 90 % in seinem Wachstum eingeschränkt wird
ELISA	Enzyme Linked Immunosorbent Assay
F	Fahnenblatt
FAVE	<i>Fusarium avenaceum</i>
FCER	<i>Fusarium cerealis</i> (synonym: <i>Fusarium coorkwellense</i>)
FCUL	<i>Fusarium culmorum</i>
FGRA	<i>Fusarium graminearum</i>
FPOE	<i>Fusarium poae</i>
FSPO	<i>Fusarium sporotrichoides</i>
FTRI	<i>Fusarium tricinctum</i>

°C	Grad Celsius
g	Gramm
GC	Gaschromatograph
HPLC	Hochdruckflüssigkeits-Chromatographie
INT	Integrierter Landbau
K	Kalium
kg	Kilogramm
l	Liter
LC-MSMS	Flüssigkeitschromatograph mit Tandem-Massenspektrometrie
mm	Millimeter
mg	Milligramm
µg	Mikrogramm
min.	Minuten
MNIV	<i>Microdochium nivale</i>
N	Stickstoff
Na	Natrium
NIV	Nivalenol
n.u.	nicht untersucht
NUV-Licht	„Schwarzlicht“
OL	Organischer Landbau
p	Wahrscheinlichkeit eines Fehlers (probability)
PDA	Potato Dextrose Agar
ppm	Parts per million
rel.	relativ
r	Korrelationskoeffizient
SNA	Syntentischer nährstoffarmer Agar
spp.	species
Tab.	Tabelle
TKM	Tausendkornmasse
TS	Trockensubstanz

EINLEITUNG

Getreide ist mit einer Anbaufläche von rund 7 Millionen ha die bedeutendste Kulturpflanze in Deutschland; deren Qualität und Quantität durch *Fusarium* spp. stark beeinträchtigt wird. *Fusarium* spp. gehört zu den bedeutendsten und weitverbreiteten pilzlichen Schaderregern des Getreides. Nach dem Zeitpunkt ihres Auftretens in der landwirtschaftlichen Produktionskette werden die phytopathologisch relevanten Pilze in Feld- und Lagerpilze unterteilt. Die wichtigsten bei uns vorkommenden toxinbildenden Feldpilze gehören zu den Gattungen *Claviceps*, *Alternaria* und *Fusarium*. Zu den Lagerpilzen zählen Arten der Gattungen *Aspergillum* und *Penicillium*. Die Gattung *Fusarium* verursacht bei Nahrungs- und Futtermitteln neben quantitativen Verlusten nicht nur Qualitätseinbußen, sondern ist auch wegen des Risikos einer Kontamination des Ernteguts mit Mykotoxinen ein ernst zu nehmendes Problem in der landwirtschaftlichen Produktion. Mykotoxine sind für Warmblüter, insbesondere Menschen, giftige Naturstoffe. Sie werden von Pilzen beim Wachstum gebildet. Mehr als 4000 Pilzmetabolite mit toxischer Wirkung sind mittlerweile der Gruppe der Mykotoxine zuzuordnen. Davon treten nur 20 häufiger und in hohen Konzentrationen in Nahrungsmitteln auf (GAREIS, 1999). Auch wird ein Verbindung zwischen *Fusarium*-Befall und dem Wildwerden (Gushing) von Bier gesehen (NIESSEN et al., 1992). Die wichtigsten *Fusarium*-Toxine sind die Trichothecene, Zearalenone, Fumonisine, und das Moniliformin (Tab.1). Die Trichothecene werden in Toxine des A-Typs, hierzu zählen T2-Toxin, HT2-Toxin und Scirpenol, und des B-Typs, wozu Deoxynivalenol, 3- bzw. 15-Acetyldeoxynivalenol, Nivalenol und Fusarenon X, zählen. Zu den Zearalenonen gehören Zearalenon und die davon abgeleiteten Zearalenole. Die Gruppe der Fumonisine setzt sich aus den Fumonisinen B₁, B₂, bzw. B₃ zusammen.

Tabb. 1: Mykotoxine gebildet von den verschiedenen *Fusarium*-Arten (verändert nach DESJARDINS & PROCTOR 2001).

<i>Fusarium</i> -Art	Trichothecene	Zearalenone	Fumonisine	Moniliformin
<i>F. avenaceum</i>	-		-	+
<i>F. culmorum</i>	+	+		
<i>F. cerealis</i>	+	+		
<i>F. equiseti</i>	+	+		+
<i>F. graminearum</i>	+	+	-	
<i>F. poae</i>	+		-	
<i>F. sporotrichioides</i>	+		+	
<i>F. tricinctum</i>	-			

- = keine Produktion nachgewiesen; + = häufig

Zu den bedeutendsten Trichothecenen, von denen 150 aus Kulturen der Gattung *Fusarium* isoliert wurden, zählen die A-Trichothecene T-2 Toxin, HT2 Toxin und Diacetoxyscirpenol; zu den B-Trichothecenen gehören das am häufigsten isolierte Deoxynivalenol (DON), sowie 3-Acetyl-DON, 15-Acetyl-DON, Nivalenol (NIV) und Fusarenon X (LEPSCHY, 1992, THRANE, 1987, HERMANN et al., 1998b, VESONDER & GOLINSKI, 1987).

Ende des 19. Jahrhunderts traten in Russland tödliche Vergiftungsfälle beim Menschen auf, die im Zusammenhang mit Brotgetreide standen, das erst nach dem Winter geerntet wurde und in hohem Maße mit Pilzen der Gattung *Fusarium* und deren Toxinen kontaminiert war. Während des zweiten Weltkriegs bis 1947 fielen in Orenburg (Ural) Tausende von Menschen einer als „Alimentäre Toxische Aleukie“ bezeichneten Erkrankung zum Opfer. Vergiftungen durch Schimmelpilztoxine sind also seit Langem bekannt und in großem Ausmaß über die letzten Jahrhunderte aufgetreten (JOFFE, 1971). Im Dunkeln blieben lange Zeit allerdings die kausalen Zusammenhänge zwischen der Krankheit bzw. den Symptomen und dem Auslöser.

Das erste Trichothecen wurde 1946 als Antibiotikum aus dem Pilz *Trichothecium roseum* isoliert. Deoxynivalenol, das von *F. graminearum* und *F. culmorum* gebildet wird, wurde erstmals 1972 in Japan aus verschimmelter Gerste isoliert und als Rd-Toxin bezeichnet und unabhängig davon in der USA 1973 als Vomitoxin beschrieben (LEPSCHY, 1992). Die Bezeichnung Vomitoxin ist auch heute noch geläufig und leitet sich davon ab, dass es bei Schweinen bei hohen Konzentrationen Erbrechen auslöst (SCHWEIGHARDT, 1981). Nivalenol ist dem Deoxynivalenol sehr ähnlich, trotzdem sind Untersuchungen, die eine Aussage über die toxische Wirkung von Nivalenol zulassen, sehr spärlich. Nivalenol ist nach LEPSCHY (2000) nicht - wie in der Literatur behauptet - 10 - 100mal toxischer als Deoxynivalenol und damit von vergleichbarer Toxizität wie das T2-Toxin. Offensichtlich ist für die Pathogenese die Fähigkeit einer Trichothecenbildung von Bedeutung, da Untersuchungen von EUDES (2001) zeigten, dass *F. graminearum*-Stämme ohne Trichothecenbildung keine Ährensymptome an Sommerweizen hervorriefen. Bisher ist nicht eindeutig geklärt, inwieweit äußere Einflussfaktoren oder genetische Faktoren bei den Pilzen zur Produktion von Mykotoxinen führen (RODEMANN, 1999).

Deoxynivalenol, ein sehr häufig und in hoher Konzentration nachgewiesenes Trichothecen, führt im Tierbereich zu Futtermittelverweigerung, Erbrechen, Durchfall, Schleimhautentzündungen, zum Absterben von Embryonen und Totgeburten. In der Schweinefütterung verursacht DON verminderte Gewichtszunahmen ab einem Gehalt von 1 mg/kg in der Ration. Dabei tolerieren Geflügel und Wiederkäuer - diese aufgrund ihres mit Mikroorganismen besiedelten Pansens –

wesentlich höhere Konzentrationen als Schweine (LEW, 1997). Hinsichtlich der Gefährdung des Menschen konnten bei langfristiger Aufnahme von belasteten Nahrungsmitteln Nierenschäden bis hin zum Nierenversagen ermittelt werden (RODEMANN, 1999).

Ein *Fusarium*-Befall ist an fast allen Getreidearten wie Weizen, Triticale, Roggen, Gerste, Hafer und Mais möglich (TANAKA et al., 1988, JELINKE et al., 1989), am empfindlichsten reagiert allerdings Weizen. Weizenpflanzen können während der ganzen Wachstumsphase befallen werden, wirtschaftlich am bedeutsamsten ist der Befall zur Vollblüte. Die primär an Getreide vorkommenden *Fusarium*-Arten in der europäischen Region und in den USA sind überwiegend *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. poae*, *F. avenaceum*, *F. sporotrichioides*, *F. cerealis* und *F. tricinctum* (PARRY et al., 1995). Da diese *Fusarium*-Arten alle Mykotoxine bilden können, sind sie für die Qualität des Erntegutes von großer Bedeutung (CHELKOWSKI, 1989, PERKOWSKI ET AL., 1990, NIRENBERG UND BRESCH, 1996).

Anders als bei vielen anderen Blatt- und Ährenkrankheiten baut sich eine *Fusarium*-Epidemie zunächst weitgehend unsichtbar auf. Treten erste Ährensymptome auf, ist es für Gegenmaßnahmen zu spät. Daher gilt es, im Vorfeld so viele Risikofaktoren wie möglich zu vermeiden. Die Infektion der Ähre erfolgt meist durch Ascosporen oder Konidien, deren Verbreitung überwiegend durch Wind und Regen erfolgt (JENKINSON & PARRY, 1994b, OBST, 1997a). Für das Ausschleudern der Ascosporen wie für die Verbreitung der Konidiosporen ist Regen nötig (PARRY et al., 1995). JENKINSON & PARRY (1994a) zeigten, dass Konidiosporen durch Regentropfen bis zu 1 m horizontal und bis zu 0,6 m vertikal verbreitet werden können. Die meisten Makrokonidien werden 2 Tage nach Niederschlägen von mindestens 0,2 mm gefunden (ROSSI, 2002).

Die Infektion der Blüte, auch Primärinfektion genannt, findet zum Teil über die heraushängenden Antheren statt, die ein geeignetes Nährsubstrat bilden (DICKSON, 1922, OBST et al., 1997b). Nach der Infektion der Blüte breitet sich der Pilz über das ganze Ährchen und dann über die Spindel in der Ähre aus. Es kommt zur Sekundärinfektion (SNIJDRS & KRECHTING, 1992, WEINERT & WOLF, 1994, BECK et al., 1997a). Die Befallssymptome zeigen sich zuerst an der infizierten Deckspelze in Form verwaschener hellbrauner Läsionen, die sich später vergrößern und innen aufhellen. Der Erreger breitet sich dann auf die Nachbarährchen aus, in dem er die Ährenspindel durchdringt und sich in dieser basipetal ausdehnt und die darunter liegenden Ährchen besiedelt (BUCHENAUER & KANG, 2002). Durch die Besiedelung der Spindel werden die Nährstoffzufuhr und der Wassertransport der darüberliegenden Ährchen unterbrochen. Es kommt zur Kümmerkornbildung. Die Ährenspitze erscheint weiß,

daher wird die Krankheit auch „Partielle Weißährigkeit“ oder „Partielle Taubährigkeit“ genannt (MEYER, 1986, SNIJDERS & KRECHTING, 1992, BECK, 1997a). Bei vollständiger Krankheitsentwicklung entstehen durch einen *Fusarium*-Befall sowohl infizierte Kümmerkörner im unteren Bereich wie auch nicht infizierte Kümmerkörner im oberen Bereich der Ähre (MIELKE UND WEINERT, 1996, SAUR, 1993). Nach SNIJDERS (1992) wird die Kornfüllung auch durch die Proteinsynthese inhibierende Wirkung von Deoxynivalenol gehemmt.

Neben der Besiedlung der Ähre mit Myzel findet gleichzeitig die Bildung der Mykotoxine statt, die aufgrund ihrer Wasserlöslichkeit z.B. vom Halm in die Körner transloziert werden können (SNIJDERS & KRECHTING, 1992). Die Toxine werden nicht nur in Körnern gebildet, sondern kommen häufig auch in Spelzen, Spindeln und Halmen in höheren Konzentrationen vor (MILLER et al., 1985). Toxine können unabhängig vom Pilzmyzel in den Gefäßen sowohl akropetal wie auch basipetal transloziert werden. Deshalb geht man davon aus, dass die Trichothecen-Toxine an der Pathogenese beteiligt sind und die Abwehrreaktion des infizierten Wirtsgewebes hemmen (KANG & BUCHENAUER, 2002).

Die Befallshäufigkeit mit *Microdochium nivale* ist getrennt von der Befallshäufigkeit der *Fusarium*-Arten zu betrachten, da die Schäden durch eine Infektion mit *M. nivale* zum Teil schon im Herbst beim Feldaufgang auftreten und somit zu erheblichen Ertragseinbußen führen können. *Fusarium*-Arten verursachen in Mitteleuropa dagegen nicht nur Ertragsverluste, sondern können vor allem die Qualität des Erntegutes durch die Bildung von Mykotoxinen erheblich vermindern. Ertragsverluste durch eine *Fusarium*-Infektion entstehen zum einen durch die Reduktion der Tausendkornmasse und zum anderen durch die verringerte Anzahl Körner je Ähre (MAULER-MACHNIK, 1994). SNIJDERS (1991) stellte fest, dass ein *Fusarium*-Befall der Ähre von 1 % schon eine Ertragsminderung von 6,6 % verursachen kann.

Die Backqualität des Weizens wird nur bei sehr starkem *Fusarium*-Befall – also in Partien, die üblicherweise nicht zur Vermahlung kommen - so beeinträchtigt, dass der Teig ungleichmäßig aufgeht (MEYER, 1986). Durch den *Fusarium*-Befall, insbesondere mit *F. culmorum*, verschlechtern sich die Verarbeitungseigenschaften. Dafür ist nicht so sehr die Befallshäufigkeit ausschlaggebend, sondern vielmehr wie stark der Pilz den Mehlkörper besiedelt hat. Zu dem erhöht sich der Aschegehalt, was die Ausbeute deutlich reduziert. Die schlechtere Backqualität wird in erster Linie auf die Beeinträchtigung der Proteinqualität zurückgeführt. Die Veränderung der Korninhaltsstoffe wird auf eine erhöhte Aktivität

verschiedener Enzyme zurückgeführt (MEYER, 1986). Diese extrazellulären Enzyme werden vom Pilz abgegeben, um Inhaltsstoffe des Korns abzubauen und verfügbar zu machen (PAWELZIK, 1998). Durch Verarbeitungsprozesse wie Mahlen, Backen und Kochen kann der Toxingehalt des Endproduktes reduziert werden, aber höchstens um 50 % (MIEDANER & SCHNEIDER, 2002). Nach den gesetzlichen Bestimmungen - den EU-Interventionsrichtlinien - zählen durch *Fusarium*-Befall geschädigte Körner nicht zum einwandfreien Grundgetreide, sondern zum Schwarzbesatz. Dieser darf insgesamt einen Gewichtsanteil von höchstens 3% betragen (LINDHAUER, 1999). Für die Mühlen stellen die Separierung und die Entsorgung von befallenen Körnern einen erheblichen technischen und finanziellen Aufwand dar, da es sich um Sondermüll handelt.

Die *Fusarium*-Problematik trifft die ganze Produktionskette vom Landwirt über die Mahl-, Back-, und Futtermittelindustrie bis zum Verbraucher. Nur durch Einbeziehen aller möglichen pflanzenbaulichen, züchterischen und phytosanitären Maßnahmen kann eine Vermeidung bzw. Minderung des Pilzbefalls - und damit eine Reduktion der Toxinbelastung des Erntegutes – erzielt werden. Leider gibt es zur Zeit nur wenige Sorten, die eine geringe Anfälligkeit gegenüber Ährenfusariosen aufweisen. Zudem haben diese Sorten nur einen Marktanteil von 12 %. Hingegen werden anfällige Sorten auf rund einem Drittel der Anbaufläche angebaut. Der Grund für diesen Sachverhalt liegt in der höheren Ertragsfähigkeit bzw. geringeren Lagerneigung dieser Sorte (MIEDANER & SCHNEIDER, 2002). Es gibt derzeit weltweit keine Sorte, die nicht befallen wird (MIEDANER et al., 1999). Die Züchtung auf Resistenz gegen Ährenfusariosen ist aufwendig, da die Resistenz durch mehrere Gene vererbt wird und mehrfach im Züchtungsverlauf Resistenzprüfungen mit Inokulationen erforderlich sind. In Zukunft soll durch den Einsatz molekularer Marker die Selektionseffizienz erhöht werden (MIEDANER & SCHNEIDER, 2002).

Die Sortenresistenz allein, auch bei einer guten Ausprägung, bietet bei hohem Befallsdruck keinen sicheren Schutz vor der *Fusarium*-Infektion der Pflanze, insbesondere in Jahren mit befallsförderndem Witterungsverlauf und wenn die Faktoren pfluglose Bodenbearbeitung, Maisvorfrucht und eine feuchtwarme Witterung zum Zeitpunkt der Blüte zusammentreffen (ZIMMERMANN, 1997). Die chemische Bekämpfung stellt die direkteste Maßnahme zur Bekämpfung der Ährenfusariosen dar. Sie muss allerdings als noch nicht zufriedenstellend angesehen werden (THALMANN, 1996, OBST, 1997b). Derzeit gibt es nur wenige Präparate, die gegen Ährenfusariosen wirksam sind; sie enthalten die Wirkstoffe Metconazol und Tebuconazol. Die Wirkungssicherheit der meisten zugelassenen Fungizide reicht für den

langen Infektionszeitraum der *Fusarium*-Arten, der vom Ährenschieben bis zur Kornreife reicht, nicht aus (OBST, 1992, THALMANN, 1996).

Ziel dieser Arbeit war es, das Vorkommen der einzelnen *Fusarium*-Arten sowie deren Mykotoxine und *M. nivale* im Organischen Landbau und integrierten Anbau an unterschiedlichen Standorten bei Berücksichtigung der Standortfaktoren Witterung, Anbauintensität und Sortenwahl zu erfassen. Im Vordergrund stand dabei eine Bewertung der Möglichkeiten das Vorkommen der *Fusarium*-Arten durch pflanzenbauliche Maßnahmen zu reduzieren, die zum Teil eine direkte Wirkung auf den Erreger haben bzw. das Inokulumpotenzial reduzieren. Durch optische Bonituren wurde der Einfluss von Halm- und Blattkrankheitserregern auf den Befall durch *Fusarium*-Arten und *M. nivale* ermittelt. In Inokulationsversuchen mit den verschiedenen *Fusarium*-Arten sollte die Anfälligkeit von Weizen in Abhängigkeit des Entwicklungsstadiums der Pflanzen und der Sorten näher bestimmt werden. Zudem wurde der Wirkungsgrad von Azol bzw. Stobilurinhaltenen Fungiziden zu verschiedenen Entwicklungsstadien der Pflanze untersucht. Die Untersuchungen wurden durch gezielte Inokulationsversuche ergänzt. In der vorliegenden Arbeit sollten insbesondere folgende Versuchsfragen beantwortet werden:

- Welchen Einfluss haben Temperatur und Luftfeuchte auf den Infektionsverlauf der verschiedenen *Fusarium*-Arten.
- Was sind Inokulumquellen für den Kornbefall? Wie breiten sich die verschiedenen *Fusarium*-Arten im Bestand bzw. an der Weizenpflanze aus.
- Welchen Einfluss üben andere Blattpathogene auf das Vorkommen von *Fusarium*-Arten auf Blättern und an den Körner aus ?
- Wie beeinflusst der Standort – Witterung, Inokulumpotential - die Befallshöhe bzw. die Zusammensetzung der *Fusarium*-Arten?
- In welchem Maße wirken sich pflanzenbauliche Maßnahmen, wie Sortenwahl, Bodenbearbeitung, Fruchtfolge, Anbauintensität, Untersaaten und Fungizide, auf das Auftreten von *Fusarium* spp. und *M. nivale*, an Weizenkörner im Organischen Landbau bzw. integrierter Anbau aus?

Die vorliegende Arbeit wurde als Teilprojekt im Rahmen der interdisziplinären DFG-Forschergruppe „Optimierungsstrategien im Organischen Landbau“ (OSIOL) an der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn angefertigt. Zum Vergleich wurden Inokulations- und Bekämpfungsversuche Versuche im Integrierten Anbau durchgeführt.

2 MATERIAL UND METHODEN

2.1 Versuchsorganismen

2.1.1 Pflanzen

Die zur Zeit verfügbaren Sorten von Weizen [*Triticum aestivum* L.] unterscheiden sich in der Empfindlichkeit gegenüber *Fusarium* spp. und anderen Blattpathogenen. In den vorliegenden Versuchen wurden weniger und hoch anfällige Sorten berücksichtigt. Die wichtigsten Merkmale der Winter- und Sommerweizen-Sorten sind in den Tabellen 2 und 3 zusammengestellt.

Tab. 2: Charakterisierung der verwendeten Winterweizensorten nach der Bundessortenliste (ANONYM 1997 und 1999).

Sortenbezeichnung	Anfälligkeit für					phänot. Daten		Ertragseigenschaften und Qualität				
	Echter Mehltau	Blattseptoria	Gelbrost	Braunrost	Ährenfusariosen	Reife	Pflanzenlänge	Bestandesdichte	Kornzahl/ Ähre	TKG	Kornertrag	Qualitätsgruppe ¹
Ambras	4	5	5	6	5	5	6	3	5	7	5	A
Aristos	3	4	-	3	5	5	5	5	-	8	7	A
Astron	5	5	4	7	5	6	6	5	6	5	5	A
Batis	3	4	3	3	4	5	6	6	4	7	7	A
Bold	3	5	3	4	3	5	6	7	-	4	7	B
Carolus	5	6	-	6	5	4	4	5	4	5	3	E
Contra	5	6	5	4	7	5	4	6	8	4	8	C
Flair	4	4	4	5	5	5	5	5	8	5	9	B
Pegassos	3	4	2	3	4	5	5	6	4	7	8	A
Petrus	4	5	3	3	2	6	6	3	-	6	6	A
Previa	3	4	3	3	4	6	6	6	6	5	8	C
Rektor	6	5	4	6	4	5	6	6	5	4	4	E
Ritmo	4	5	3	5	7	6	3	6	7	5	7	B
Toronto	7	4	3	7	5	5	4	7	5	5	6	A
Winni	4	4	-	4	4	6	7	4	-	7	7	B
Xanthos	3	4	3	4	4	6	5	5	4	7	6	A
Zentos	2	5	6	9	4	6	7	5	6	6	6	E

Note 1 = sehr gering bzw. früh oder kurz, 4 = mittel, 9 = sehr spät bzw. lang oder stark;

TKM = Tausendkornmasse

¹ Qualitätsgruppen: E = Eliteweizen, A = Qualitätsweizen, B = Brotweizen, C = Futterweizen

Tab. 3: Charakterisierung der verwendeten Sommerweizensorten (ANONYM 1997 und 1999).

Sortenbezeichnung	Anfälligkeit für					phänot. Daten		Ertragseigenschaften und Qualität				
	Echter Mehltau	Blattseptoria	Gelbrost	Braunrost	Ährenfusariosen	Reife	Pflanzenlänge	Bestandesdichte	Kornzahl/ Ähre	TKG	Korntrag	Qualitätsgruppe ¹
Lavett	3	5	3	1	4	5	6	5	8	3	6	E
Nandu	5	5	6	4	6	5	6	3	6	6	6	B
Ralle	6	-	-	7	-	-	-	-	-	8	3	E
Thasos	5	5	3	5	4	5	5	5	6	5	6	E

Note 1 = sehr gering bzw. früh oder kurz, 4 = mittel, 9 = sehr spät bzw. lang oder stark;

TKM = Tausendkornmasse

¹ Qualitätsgruppen: E = Eliteweizen, A = Qualitätsweizen, B= Brotweizen, C = Futterweizen

Die in den Weizenbeständen vorkommenden Arten der Begleitflora wurden im Hinblick auf das Auftreten von *Fusarium*-Arten untersucht, die als Inokulumquelle dienen könnten (Tab. 4). Des Weiteren wurden die Kleearten *Trifolium incarnatum* [Inkarnatklee], *Trifolium pratense* [Rotklee], *Trifolium repens* [Weißklee] und *Medicago lupulina* [Gelbklee] zur Unterbrechung des Infektionsverlaufs als Untersaat eingesetzt.

Tab. 4: Begleitflora von Weizen, die auf Kontamination mit *Fusarium* spp. untersucht wurde.

Wissenschaftliche Bezeichnung	Deutscher Name
Dikotyledone Arten:	
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	Gemeines Hirtentäschelkraut
<i>Chenopodium album</i>	Weißer Gänsefuß
<i>Cirsium arvense</i>	Acker-Kratzdistel
<i>Galium aparine</i>	Klettenlabkraut
<i>Lapsana communis</i>	Gemeiner Rainkohl
<i>Matricaria</i> spp.	Kamille
<i>Myosotis arvensis</i>	Acker-Vergissmeinnicht
<i>Papaver rhoeas</i>	Klatsch-Mohn
<i>Polygonum convolvulus</i>	Winden-Knöterich
<i>Rumex crispus</i>	Krauser Ampfer
<i>Stellaria media</i>	Vogelmiere
<i>Veronica</i> spp.	Ehrenpreis
<i>Vicia hirsuta</i>	Rauhaarige Wicke
<i>Viola arvensis</i>	Acker-Stiefmütterchen
Monokotyledone Arten:	
<i>Agropyron repens</i>	Gemeine Quecke
<i>Alopecurus myosuroides</i>	Acker-Fuchsschwanz
<i>Apera spica-venti</i>	Gemeiner Windhalm
<i>Avena fatua</i>	Flughafer
<i>Poa annua</i>	Einjähriges Rispengras

2.1.2 Pathogene

Die Isolate der in Tabelle 5 zusammengefassten *Fusarium*-Arten sowie *Microdochium nivale* wurden in den Jahren 1997 - 1999 von Getreideproben aus dem Rheinland gewonnen (Tab. 5). Für einige Arten lagen Vergleichsisolate vom Centralbureau voor Schimmelcultures, Baarn, Niederlande, vor. Für die Inokulationsversuche wurden Isolate aus der institutseigenen Sammlung verwendet (Tab. 6a-b). Diese Isolate wurden im Rheinland isoliert und näherer charakterisiert. Die am häufigsten verwendeten Isolate waren *F. culmorum* FCUL20, das nach MUTHOMI (2000) sehr aggressiv ist und *in vivo* vor allem Deoxynivalenol bildet. Hingegen bildet *F. culmorum* FCUL8, das als mittel-aggressiv eingestuft wurde, *in vivo* ausschließlich Nivalenol. Nach einem Blattpathogenitätstest wurde *F. avenaceum* FAVE5 als mittel-aggressiv eingestuft (SCHADE-SCHÜTZE 1999).

Tab.5: Von Weizen isolierte *Fusarium*-Arten und *Microdochium nivale* (NELSON et al., 1983).

Sektion	Anamorph	Teleomorph
Arachnits	<i>Microdochium nivale</i> (Fries) Samuels & Hallett var. <i>nivale</i> <i>Microdochium nivale</i> var. <i>majus</i> (Wollenweber)	<i>Monographella nivalis</i> Schaffnit <i>Monographella nivalis</i> Samuels & Hallett
Sporotrichiella	<i>Fusarium poae</i> (Peck) Wollenw.* <i>Fusarium tricinctum</i> (Corda) Sacc.* <i>Fusarium sporotrichioides</i> Sherb.*	unbekannt <i>Gibberella tricincta</i> El-Gholl, Mc. Ritchie Schoulties & Ridings unbekannt
Roseum	<i>Fusarium avenaceum</i> (Fr.) Sacc.*	<i>Gibberella avenacea</i> R. J. Cook
Gibbosum	<i>Fusarium equiseti</i> (Corda) Sacc.	<i>Gibberella intrigans</i> Wollenw.
Discolor	<i>Fusarium culmorum</i> (W. G. Smith) <i>Fusarium graminearum</i> (Schwabe)* <i>Fusarium cerealis</i> (Cooke) Sacc. *, Synonym <i>Fusarium crookwellense</i>	unbekannt <i>Gibberella zeae</i> (Schw.) Pech unbekannt
Liseola	<i>Fusarium verticillioides</i> (Sacc.)* Nirenberg, Synonym <i>Fusarium moniliforme</i>	<i>Gibberella moniliformis</i> Winel.
Elegans	<i>Fusarium oxysporum</i> Schlecht. Fr.	unbekannt

* = Vergleichsisolate vorhanden

Tab. 6a: Herkunft der verwendeten Isolate von *F. avenaceum*, *F. cerealis*, *F. culmorum*, *F. graminearum* zusammen mit Tabelle 6b.

Pathogen	Herkunft	Jahr	Isolat
<i>F. avenaceum</i>	Hennef	1995	FAVE1
<i>F. avenaceum</i>	Hennef	1995	FAVE2
<i>F. avenaceum</i>	Blankenheim	1995	<u>FAVE5</u>
<i>F. avenaceum</i>	Hennef	1996	FAVE11
<i>F. cerealis</i>	Kerpen-Buir	1996	<u>FCER20</u>
<i>F. culmorum</i>	Velbert	1995	FCUL3*
<i>F. culmorum</i>	Hennef	1995	FCUL5*
<i>F. culmorum</i>	Hennef	1995	FCUL6*
<i>F. culmorum</i>	Hennef	1994	<u>FCUL8*</u>
<i>F. culmorum</i>	Bonn/Poppelsdorf	1995	FCUL11*
<i>F. culmorum</i>	Kerpen-Buir	1996	<u>FCUL20*</u>
<i>F. culmorum</i>	Kerpen-Buir	1996	FCUL21*
<i>F. culmorum</i>	Kerpen-Buir	1996	FCUL22*
<i>F. culmorum</i>	Kerpen-Buir	1996	FCUL23*
<i>F. culmorum</i>	Bonn/Poppelsdorf	1995	FCUL24*
<i>F. graminearum</i>	Dormagen	1995	FGRA1
<i>F. graminearum</i>	Hennef	1995	FGRA2
<i>F. graminearum</i>	Kerpen-Buir	1995	FGRA6
<i>F. graminearum</i>	Baarn		FGRA7
<i>F. graminearum</i>	Bonn/Poppelsdorf	1995	<u>FGRA8</u>
<i>F. graminearum</i>	Bonn/Poppelsdorf	1996	FGRA9

* = bestätigt mit Primern OTP18F/ OPT18R, FC-v/ FC-r bzw. GaoAV2/ GaoAR2 (SCHADE-SCHÜTZE, 1999).

FUS = in Inokulationsexperimenten verwendet (FCUL8 bis einschl. 1998, FCUL20 nur 1999).

Tab. 6b: Herkunft der verwendeten Isolate *F. poae*, *F. sporotrichioides*, *F. tricinctum*, *M. nivale* var. *majus*.

Pathogen	Herkunft	Jahr	Isolat
<i>F. poae</i>	Hennef	1995	<u>FPOE1</u>
<i>F. poae</i>	Blankenheim	1995	FPOE2
<i>F. poae</i>	Blankenheim	1995	FPOE5
<i>F. poae</i>	Hennef	1995	FPOE8
<i>F. poae</i>	Zülpich	1995	FPOE13
<i>F. poae</i>	Hennef	1996	FPOE21
<i>F. sporotrichioides</i>	Hennef	1995	FSPO3
<i>F. sporotrichioides</i>	Hennef	1995	FSPO4
<i>F. sporotrichioides</i>	Hennef	1995	FSPO5
<i>F. sporotrichioides</i>	Kerpen-Buir	1995	FSPO7
<i>F. sporotrichioides</i>	Baarn		<u>FSPO9</u>
<i>F. tricinctum</i>	Hennef	1995	<u>FTRI1</u>
<i>F. tricinctum</i>	Hennef	1995	FTRI2
<i>F. tricinctum</i>	Zülpich	1995	FTRI4
<i>F. tricinctum</i>	Hennef	1995	FTRI5
<i>M. nivale</i> var. <i>majus</i>	Kerpen Buir	1995	MNIV1
<i>M. nivale</i> var. <i>majus</i>	Hennef-	1995	MNIV3
<i>M. nivale</i> var. <i>majus</i>	Hennef	1995	MNIV4
<i>M. nivale</i> var. <i>majus</i>	Hennef	1994	MNIV8
<i>M. nivale</i> var. <i>majus</i>	Hennef	1995	MNIV9

FUS = in Inokulationsexperimenten verwendet

Der Befall von Weizen mit weiteren pilzlichen Krankheitserregern wurde ebenfalls bewertet. Erfasst wurden *Pseudocercospora herpotrichoides*, *Blumeria graminis*, *Septoria tritici*, *Puccinia recondita* und *Puccinia striiformis*.

2.2. Chemikalien und Kulturmedien

2.2.1. Agrochemikalien

In den Versuchen mit Agrochemikalien wurden die in Tabelle 7 aufgelisteten Wirkstoffe meistens in den vom Hersteller angegebenen Konzentrationen angewandt.

Tab. 7: In den Versuchen verwendete Fungizide und Wachstumsregler.

Wirkstoff(e)	Handelsname	g/l	Hersteller
Azoxystrobin	Amistar®	250	Zeneca
Chlorcholinchlorid	CCC®	720	BASF AG
Epoxiconazol	Opus®	125	BASF AG
Fenpropimorph + Epoxiconazol	Opus Top®	250 + 84	BASF AG
Fenpropimorph	Corbel®	750	BASF AG
Kresoxim-methyl +Epoxiconazol	Juwel ®	125 +125	BASF AG
Kresoxim-methyl + Fenpropimorph + Epoxiconazol	Juwel Top®	125 150 125	BASF AG
Metconazol	Caramba®	60	Cyanamid Agrar
Tebuconazol	Folicur®	250	Bayer AG
Trifloxystrobin + Propiconazol	Stratego®	188 125	Novartis AG

2.2.2. Kulturmedien

Die dauerhafte Aufbewahrung aller Isolate erfolgte in Erdröhrchen (Einheitserde (Fa. Klasmann) 15 %, Ackererde 15 %, Sand 15 %, Kies (2 - 4 mm) 25 %, geschrotete Weizenkörner 15 %) bei 4 °C und Dunkelheit. Die Schraubdeckelröhrchen wurden zur Hälfte gefüllt, mit 2 ml Aqua demin. befeuchtet, dreimal im Abstand von 24 Std. für 40 min bei 121 °C und 1,4 bar autoklaviert. Alle sechs Monate wurden die Erdröhrchen auf Reinheit und Vitalität kontrolliert, in dem die Geschwindigkeit des Myzelwachstums auf Agar bewertet wurde.

Verwendete Kulturmedien

Alle Nährmedien wurden bei 121 °C und 1,4 bar für 20 min autoklaviert.

Potato-Dextrose-Agar (PDA)

PDA-Extrakt (Merck) 39 g/l Aqua demin.

Synthetischer nährstoffarmer Agar (SNA, nach NIRENBERG 1976)

	g/l Aqua demin.
KH ₂ PO ₄	1,0
KNO ₃	1,0
MgSO ₄ * 7 H ₂ O	0,5
KCl	0,5
Glucose	0,2
Saccharose	0,2
Agar-Agar (Fa. Sigma)	20

Czapek-Dox-Iprodion-Dicloran-Agar (CZID, modifiziert nach ABILDGREN et al. 1987)

	g/l Aqua demin.
Czapek-Dox-Agar (Merck)	35
CuSO ₄ * 5 H ₂ O	0,005
ZnSO ₄ * 7 H ₂ O	0,01
Chloramphenicol	0,05
Agar	10
Dicloran (0,2 % in 96 %igen Ethanol)	1 ml/l Aqua demin

Nach dem Autoklavieren wurde Czapek-Dox-Agar auf 55 °C im Wasserbad abgekühlt. Antibiotika und Iprodion wurden in handwarmen, sterilen Aqua demin. gelöst und dem Agar anschließend hinzugefügt.

Penicillin	50 mg
Tetracyclin	50 mg
Streptomycin	50 mg
Roval [®] (Wirkstoff: Iprodion)	6 mg

Wasser-Agar

Agar 16 g/l Aqua demin

2.3. Anzucht und Kultivierung der Pflanzen

2.3.1. Unter kontrollierten Bedingungen

Weizenpflanzen in Containern

Die Weizenpflanzen wurden in 12 l Container-Töpfen angezogen. Die Aussaat der Sorte 'Ralle' erfolgte im Februar. Das Erds substrat setzte sich aus einer Mischung von Einheitserde (Fa. Klasmann), C-Horizont (pH 6,8) und Sand im Verhältnis 6:3:2 zusammen. Je Container wurden 15 - 20 Körner ausgesät und im Freiland in windgeschützter Lage angezogen. Über eine Tröpfchenbewässerung wurde für ausreichende Feuchtigkeit des Bodens gesorgt. Nach der Inokulation bis zur Ernte standen die Container unter einem windgeschützten lichtdurchlässigen Dach. Gedüngt wurde mit einem magnesium- und schwefelhaltigen Mehrnährstoffdünger (NPK 12 + 12 + 17 (+ 2 + 6)) zu zwei Terminen (BBCH 21 und 37) mit je 11 g/Topf. Um die Weizenpflanzen von Pathogenen befallsfrei zu erhalten, wurden, wenn nötig, die Wirkstoffe Kresoxim-methyl + Fenpropimorph (Juwel[®]) in der Aufwandmenge 1 l/ha bis zum Entwicklungsstadium BBCH 37 appliziert.

Begleitflora

Im Gewächshaus wurden die Pflanzen der Begleitflora in Pikierschalen angezogen. Die Pikiererde bestand aus Einheitserde (Fa. Klasmann) und Sand im Verhältnis 3:1. Nach ca. zwei Wochen wurden die Pflanzen vereinzelt und in größere Einzeltöpfe umgepflanzt. Die Wasserversorgung erfolgte über Bewässerungsmatten. Die Pflanzen wurden bei 20 °C ± 4 °C und 16 Std. Beleuchtung pro Tag durch Natriumdampfleuchten (Philips SGR 140) bei einer relativen Luftfeuchte von 60 – 90 % bis zur Blüte kultiviert.

2.3.2 Feldversuche

Auf Versuchsflächen der Universität Bonn, der Landwirtschaftskammer Rheinland und organisch bewirtschafteten Praxisflächen wurden 1997 - 1999 Feldversuche angelegt. Die Standorte unterschieden sich hinsichtlich ihrer Klimabedingungen und Anbausysteme (Tab. 8). Die Versuche wurden als Block- oder Spaltanlage mit vier Wiederholungen je Versuchsglied angelegt. Die Parzellengröße variierte zwischen 12 – 15 m².

Tab. 8: Klimatische Daten und Bewirtschaftungsformen der Standorte im Rheinland.

Standort	Bewirtschaftungsform	Höhe ü. NN [m]	Ndschl. Jahr [mm]	Ø Temp. [°C]
Blankenheim (Eifel)	organisch	500	860	7,3
Velbert (Bergisches Land)	integriert	240	1200	9,3
Hennef (Siegau)	org. und integr.	65	750	9,5
Meckenheim (Vorgebirge)	integriert	155	580	9,7
Kerpen-Buir (Köln-Aachener-Bucht)	integriert	100	640	10,0
Bonn	integriert	60	634	10,9

Die Aussaat erfolgte auf allen Standorten zwischen Mitte Oktober bis Anfang November. Eine Ausnahme bildete die Vegetationsperiode 1998/99, in der die Aussaat aufgrund einer lang anhaltenden Schlechtwetterlage erst Anfang Dezember erfolgen konnte. Die Saatstärke betrug im Organischen Landbau unabhängig vom Saattermin 400 Körner/m². Im integrierten Anbau wurden 330 – 400 Körner/m² gesät. Die Kontrolle der Begleitflora erfolgte im integrierten Anbau mit Herbiziden, im Organischen Landbau wurden der Striegel und/oder die Hacke eingesetzt. Die Grund- und Ährendüngung wurden mit einem mineralischen Ein- oder Mehrnährstoffdünger durchgeführt. In einigen Fällen wurde als Flüssigdünger AHL (Ammonium-Harnstoff-Lösung) eingesetzt. Im Organischen Landbau wurde in der Vegetationsperiode nicht gedüngt, die Stickstoffversorgung war Folge der Vorfruchtwirkung und der im Boden enthaltenen Restnährstoffen (Klee gras, das eingearbeitet wurde bzw. mit Stallmist gedüngte Kartoffeln).

2.3.2.1 Sortenversuche

Untersucht wurden 24 Winterweizensorten, die einzeln oder in Mischung ausgesät wurden. Die Sorten wurden an drei Standorten des Organischen Landbaus und zwei Standorten des integrierten Anbaus untersucht (Tab. 9 - 12). Die Bodenbearbeitung erfolgte mit dem Pflug.

Tab. 9: Sortenversuche im Organischen Landbau am Standort Blankenheim, Versuchsjahre 1997 - 1998.

Erntejahr	1997	1998
Vorfrucht	Klee gras gemulcht, als Gründüngung	Klee gras gemulcht, als Gründüngung
Aussaat	22.10.1996	22.10.1997
Reihenweite/	17 cm	17 cm
Saatstärke	400 Körner/m ²	400 Körner/m ²
Ernte	01.09.1997	23.09.1998

Tab. 10: Sortenversuche im Organischen Landbau am Standort Velbert, Versuchsjahre 1997 - 1998.

Erntejahr	1997	1998
Vorfrucht	Kartoffeln	Klee gras gemulcht, als Gründüngung
Aussaat	25.10.1996	23.10.1997
Reihenweite/	17 cm	17 cm
Saatstärke	400 Körner/m ²	400 Körner/m ²
Ernte	11.08.1997	07.08.1998

Tab. 11: Sortenversuche am Standort Hennef, Versuchsjahre 1997 - 1999.

Erntejahr	1997	1998	1999	
Bewirtschaftungsform	organisch	organisch	organisch	integriert
Vor-Vorfrucht		Klee gras	Ackerbohnen	Hafer
Vorfrucht	Kartoffeln	Kartoffeln	Sommerweizen	Kartoffeln
Aussaat	04.11.1996	24.10.1997	02.12.1998	01.12.1998
Reihenweite/	17 cm	17 cm	17 cm	12 cm
Saatstärke	400 Körner/m ²	400 Körner/m ²	450 Körner/m ²	450 Körner/m ²
Düngung	-	-	-	110 kgN/ha
<u>Pflanzenschutz</u>				
Variante A	-	-	-	-
Variante B				0,8 l/ha CCC 1,0 l/ha Corbel 1,0 l/ha Juwel (BBCH 32)
Variante C+D				0,8 l/ha CCC
<u>Inokulation</u>				
Variante A+B	-	-	-	-
Variante C				Körnerinokulation (BBCH 37)
Variante D				Sprühinokulation (BBCH 65)
Ernte	05.08.1997	06.08.1998	03.08.1999	05.08.1999

Tab. 12: Sortenversuche im integrierten Anbau, Standort Kerpen-Buir, Versuchsjahre 1998 - 1999.

Erntejahr	1998	1999
Vorfrucht	Zuckerrüben	Zuckerrüben
Aussaat	27.10.1997	06.11.1998
Reihenweite	12 cm	12 cm
Saatstärke	330 Körner/m ²	350 Körner/m ²
<u>Düngung:</u>		
Behandlungsstufe 1	170 kg N/ ha	/ ¹⁾
Behandlungsstufe 2	210 kg N/ ha	200 kg N/ ha AHL
Behandlungsstufe 3	210 kg N/ ha	210 kg N/ ha AHL
Behandlungsstufe 4	210 kg N/ ha	-
<u>Pflanzenschutz:</u>		
Behandlungsstufe 1	-	-
Behandlungsstufe 2	0,8 l/ha CCC+ 1 l/ha Juwel (BBCH 39)	0,8 l/ha CCC (BBCH 31) + 1 l/ha Juwel Top (BBCH 39)
Behandlungsstufe 3	0,8 l/ha CCC (BBCH 31) + 0,8 l/ha Juwel + 0,2 l/ha Corbel (BBCH 32) + 1 l/ha Juwel (BBCH 49)	0,8 l/ha CCC (BBCH 31) + 0,8 l/ha Juwel Top (BBCH 39) + 1 l/ha Folicur
Behandlungsstufe 4	-	-
Ernte	06.08.1998	02.08.1999

¹⁾ nicht berücksichtigt; - = keine Behandlung aber berücksichtigt

2.3.2.2 Versuche zur Wirkung von Fungiziden

Durchgeführt wurden die Fungizidversuche an drei Standorten des integrierten Anbaus mit Winterweizen der Sorten 'Contra' und 'Ritmo', zwei Sorten mit hoher Anfälligkeit gegenüber *Fusarium* spp. (Tab. 13 bis 15). Am Standort Meckenheim wurde 1999 zusätzlich die gering anfällige Sorte 'Petrus' angebaut. Die Bodenbearbeitung wurde bei allen Fungizidversuchen mit dem Pflug durchgeführt.

Die Aufwandmengen der Fungizide zur Bekämpfung von Fusariosen waren bei allen Präparaten 1,0 l/ha. Eine Ausnahme war Caramba[®], das mit 1,5 l/ha appliziert wurde. Bei Mischungen wurden 75 % der Aufwandmenge der Solopreparate verwendet.

Tab. 13: Fungizidversuche am Standort Hennef, Versuchsjahre 1997 - 1999.

Erntejahr	1997		1998		1999	
Vorfrucht	Kartoffeln		Kartoffeln		Hafer	
Sorte	Contra		Contra		Ritmo	
Aussaat	15.10.1996		11.11.1997		01.12.1998	
Saatstärke	350 Körner /m ²		450 Körner /m ²		450 Körner /m ²	
Düngung:	110 kg N/ ha		110 kg N/ ha		150 kg N/ ha	
<u>Pflanzenschutz:</u>						
BBCH 31-32	CCC (0,8 l/ha)		CCC (0,8 l/ha)		CCC (0,8 l/ha)	
BBCH 32-39	Opus Top [®] (1,2 l/ha) Juwel [®] (0,4 l/ha)		Corbel [®] (1,0 l/ha)			
<u>Behandlung</u>	<u>BBCH</u>	<u>Präparat</u>	<u>BBCH</u>	<u>Präparat</u>	<u>BBCH</u>	<u>Präparat</u>
<u>gegen <i>Fusarium</i> spp.:</u>						
Behandlung 1	-	keine	-	keine	-	keine
Behandlung 2	65	Folicur [®]	63	Folicur [®]	37	Amistar [®]
Behandlung 3	65	Caramba [®]	63	Caramba [®]	37	Juwel Top [®]
Behandlung 4	65	Caramba [®] Corbel [®] *	65	Folicur [®]	37+65	Folicur [®]
Behandlung 5			65	Caramba [®]	49	Amistar [®]
Behandlung 6			65	Amistar [®] +Caramba [®]	49	Juwel Top [®]
Behandlung 7			65	Folicur [®] +Caramba [®]	65	Amistar [®]
Behandlung 8					65	Juwel Top [®]
Behandlung 9					65	Folicur [®]
Behandlung 10					65	Caramba [®]
Behandlung 11					65	Stratego [®]
Ernte	07.08.1997		07.08.1998		05.08.1999	

*Reduzierte Aufwandmenge je 75 %

In einigen Versuchen galt es, die Wirkung der Fungizide bei erhöhtem Infektionsdruck zu bewerten (Tab. 16). Hierzu wurde Weizen der Sorte 'Contra' mit verschiedenen *Fusarium*-Arten inokuliert. Die Inokulation wurde mit einer Konidiensuspension oder durch Ausbringen von mit Sporen bewachsenen Hafer- oder Weizenkörnern durchgeführt. Das Körnerinokulum wurde zu BBCH 37 ausgebracht, die Sprühinokulation erfolgte zum Zeitpunkt der Vollblüte. Die Fungizide wurden zum Zeitpunkt der Weizenblüte kurativ 24 Stunden nach der Inokulation appliziert, wenn nichts anderes angegeben wurde.

Tab. 14: Fungizidversuche am Standort Meckenheim, Versuchsjahre 1997 -1999.

Erntejahr	1997		1998		1999	
Vorfrucht	Zuckerrüben		Zuckerrüben		Zuckerrüben	
Sorte	Contra		Contra		Ritmo + Petrus	
Aussaat	06.11.1996		22.10.1997		20.11.1998	
Saatstärke	400 Körner /m ²		400 Körner /m ²		400 Körner /m ²	
Düngung:	110 kg N/ ha		110 kg N/ ha		150 kg N/ ha	
<u>Pflanzenschutz:</u>						
BBCH 31-32	CCC (0,8 l/ha)		CCC (0,8 l/ha)		CCC (0,8 l/ha)	
BBCH 32-39	Corbel [®] (1,0 l/ha)		Corbel [®] (1,0 l/ha)			
<u>Behandlung</u>	<u>BBCH</u>	<u>Präparat</u>	<u>BBCH</u>	<u>Präparat</u>	<u>BBCH</u>	<u>Präparat</u>
<u>gegen Fusarium:</u>						
Behandlung 1	-	Keine	-	keine	-	Keine
Behandlung 2	65	Folicur [®]	63	Folicur [®]	37+65	Folicur [®]
Behandlung 3	65	Caramba [®]	63	Caramba [®]	65	Folicur [®]
Behandlung 4			65	Folicur [®]	65	Caramba [®] *
Behandlung 5			65	Caramba [®]	65	Stratego [®]
Behandlung 6			65	Amistar [®]		
				+Caramba [®]		
Behandlung 7			65	Folicur [®]		
				+Caramba [®]		
Ernte	07.08.1997		06.08.1998		04.08.1999	

* Behandlung erfolgte nur bei der Sorte Ritmo

Tab. 15: Fungizidversuche am Standort Kerpen-Buir, Versuchsjahre 1997 –1999.

Erntejahr	1997		1998		1999	
Vorfrucht	Zuckerrüben		Zuckerrüben		Zuckerrüben	
Sorte	Ritmo		Ritmo		Ritmo	
Aussaat	28.10.1996		23.10.1997		06.11.1998	
Saatstärke	350 Körner /m ²		350 Körner /m ²		350 Körner /m ²	
Düngung:	170 kg N/ ha		170 kg N/ ha		170 kg N/ ha	
<u>Pflanzenschutz:</u>						
BBCH 31-32	CCC (0,8 l/ha)		CCC (0,8 l/ha)		CCC (0,8 l/ha)	
BBCH 32-39	Opus Top [®] (1,0 l)		Opus Top [®] (1,0 l/ha)			
<u>Behandlung</u>	<u>BBCH</u>	<u>Präparat</u>	<u>BBCH</u>	<u>Präparat</u>	<u>BBCH</u>	<u>Präparat</u>
<u>gegen Fusarium:</u>						
Behandlung 1	-	keine	-	keine	-	keine *
Behandlung 2	65	Folicur [®]	63	Folicur [®]		keine
Behandlung 3	65	Caramba [®]	63	Caramba [®]	37+65	Folicur [®]
Behandlung 4			65	Folicur [®]	37	Amistar [®]
Behandlung 5			65	Caramba [®]	37	Juwel Top [®]
Behandlung 6			65	Amistar [®] + Caramba [®]	49	Amistar [®]
Behandlung 7			65	Folicur [®] + Caramba [®]	49	Juwel Top [®]
Behandlung 8					65	Amistar [®]
Behandlung 9					65	Juwel Top [®]
Ernte	07.08.1997		06.08.1998		04.08.1999	

* ohne Wachstumsregler

Tab. 16: Fungizidversuche mit Inokulation von *Fusarium*-Arten, Standorte Hennef und Bonn-Poppelsdorf, Versuchsjahre 1997 und 1998.

Erntejahr Standort	1997		1998
	Hennef	Bonn	Meckenheim
Vorfrucht	Kartoffeln	Kartoffeln	Zuckerrüben
Aussaat	15.10.1996	16.10.1996	22.10.1997
Saatstärke	350 Körner /m ²	350 Körner /m ²	400 Körner /m ²
Düngung:	110 N kg/ha	110 N kg/ha	110 N kg/ha
<u>Pflanzenschutz:</u>			
BBCH 31-32	CCC (0,8 l/ha)	CCC (0,8 l/ha)	CCC (0,8 l/ha)
BBCH 32-39	Corbel [®] (1,0 l) Opus Top [®] (1,2 l/ha) Juwel [®] (0,4 l/ha)		Corbel [®] (1,0 l/ha)
Inokulationsverfahren	Sprühinokulation	Sprühinokulation	Körnerinokulation
<u>Isolate:</u>	<i>F. culmorum</i> 8 <i>F. culmorum</i> 20 <i>F. culmorum</i> 22 <i>F. graminearum</i> 2 <i>F. graminearum</i> 8 <i>F. avenaceum</i> 1 <i>F. poae</i> 21 <i>F. sporotrichoides</i> 9	<i>F. culmorum</i> 5 <i>F. culmorum</i> 6 <i>F. culmorum</i> 8 <i>F. culmorum</i> 25 <i>F. culmorum</i> 26 <i>F. culmorum</i> 28 <i>F. culmorum</i> 35 <i>F. culmorum</i> 39	<i>F. culmorum</i> 8 <i>F. graminearum</i> 20 <i>F. avenaceum</i> 1 <i>F. poae</i> 1
<u>Behandlung gegen</u> <u><i>Fusarium</i> spp.</u>			
Variante 1	1 l/ha Folicur [®]	1 l/ha Folicur [®]	1 l/ha Folicur [®]
Variante 2	1,5l/ha Caramba [®]	1,5 l/ha Caramba [®]	1,5 l/ha Caramba [®]
Variante 3	-	1 l/ha Corbel [®]	
Variante 4	1,1 l/ha Caramba [®] + 0,75 l/ha Corbel [®]	0,75 l/ha Folicur [®] + 0,75 Corbel [®]	
Variante 5		1,1 l/ha Metconazol [®] + 0,75 l/ha Corbel [®]	
Ernte	07.08.1997	05.08.1997	06.08.1998

2.3.2.3 Variation der Stickstoffdüngung

In den Jahren 1998 und 1999 wurde die mineralische Stickstoffdüngung auf Flächen des integrierten Landbaus variiert. Am Standort Hennef wurde der Einfluss auf die Winterweizensorte 'Contra', am Standort Kerpen auf mehrere Sorten untersucht. Die Angaben zur Düngungsintensität sind in Tabelle 17 dargestellt.

Tab. 17: Versuche zur Variation der Stickstoffdüngung in den Jahren 1998 und 1999.

Erntejahr	1998		1998		1999	
Standort	Hennef		Kerpen-Buir		Kerpen-Buir	
Vorfrucht	Kartoffeln		Kartoffeln		Zuckerrüben	
Aussaat	15.10.1996		23.10.1997		06.11.1998	
Saatstärke	350 Körner /m ²		330 Körner /m ²		230 Körner /m ² 180 Körner /m ²	
<u>Pflanzenschutz:</u>						
Intensitätsstufe 1:						
BBCH 21+31	-		-		CCC (0,8 l/ha)	
BBCH 32-37					Juwel Top [®] 0,8 l/ha	
Intensitätsstufe 2:						
BBCH 31-32	CCC (0,8 l/ha)		CCC (0,8 l/ha)		CCC (0,8 l/ha)	
BBCH 32-37	Corbel [®] (1,0 l/ha)		Juwel Top [®] (1,0 l/ha)		Juwel Top [®] 0,8 l/ha	
Intensitätsstufe 3:						
BBCH 31-32	CCC (0,8 l/ha)		CCC (0,8 l/ha)+ Gladio [®] (0,8 l/ha)			
BBCH 32-37	Corbel [®] (1,0 l/ha)		Juwel Top [®] 0,8 l/ha			
<u>Düngung:</u>						
	BBCH	kg N/ha	BBCH	kg N/ha	BBCH	kg N/ha
Intensitätsstufe 1						
	17	0	18	60	21	60
			30	40	31	70
	49	0	49	70	-	-
Intensitätsstufe 2						
	17	55	18	60	21	80
			30	70	31	70
	49	55	49	80		
Intensitätsstufe 3						
	17	80	18	60		
			30	70		
	49	80	49	80		
Ernte	07.08.1998		06.08.1998		02.08.1999	

2.3.2.4 Variation der Untersaat

Versuche mit Kleeuntersaaten wurden am Standort Hennef 1998 auf integriert, 1999 auf organisch bewirtschafteten Flächen durchgeführt. Als Kleearten für die Untersaat wurden Weißklee (30 g/m²), Rotklee (25 g/m²), Inkarnatklee (20 g/m²) und Gelbklee (30 g/m²) im Frühjahr vor dem Ende der Bestockung des Weizens (BBCH 21 - 24) ausgesät. Gesät wurde mit einer Parzellensämaschine (Fa. Hege) zwischen die Weizenreihen. Der Reihenabstand betrug im Organischen Landbau 17 cm, im integrierten Landbau 12 cm. In beiden Versuchen wurden keine Pflanzenschutzmaßnahmen durchgeführt.

2.3.2.5 Variation der Bodenbearbeitung

Untersucht wurde der Einfluss wendender und nicht wendender Primärbodenbearbeitung. Der erste Bodenbearbeitungsversuch wurde 1998 mit Sommerweizen ('Lavett') nach Vorfrucht Ackerbohnen auf Flächen des Organischen Landbaus angelegt. Der Folgeversuch 1999 ebenfalls mit Sommerweizen (Sorten: 'Thasos' und 'Nandu') nach Vorfrucht Winterweizen auf Flächen des integrierten Anbaus.

2.3.2.6 Variation des Saattermins

Am Standort Kerpen-Buir wurde Winterweizen 1999 zu zwei Terminen ausgesät. Die erste Aussaat erfolgte im Herbst am 06.11.1998, die zweite am 09.01.1999. Es wurde Saatgut der *Fusarium*-anfälligen Sorte 'Contra' sowie der gering anfälligen Sorte 'Bold' verwendet (Tabelle 18).

Tab. 18: Versuchsdurchführung der Versuche zur Variation des Saattermins in Kerpen in der Vegetationsperiode 1998/1999.

Saattermin	06.11.1998	09.01.1999
Sorte	Contra/Bold	Contra/Bold
Vorfrucht	Kartoffel	Kartoffel
Saatstärke	350 Körner /m ²	400 Körner /m ²
Düngung	210 kg N/ha	210 kg N/ha
Pflanzenschutz		
BBCH 31/32	CCC (0,8 l/ha)	CCC (0,8 l/ha) + Gladio [®] (0,6 l/ha)
BBCH 39	Juwel Top [®] (1,0 l/ha)	Juwel Top [®] (1,0 l/ha)
Ernte	02.08.1999	02.08.1999

2.3.2.7 Variation der Bestandesdichte

Der Einfluss der Bestandesdichte auf den *Fusarium*-Befall wurde am Standort Kerpen-Buir 1999 an der Winterweizensorte 'Flair' untersucht. Dafür wurde die Saatstärke mit 180 Körner/m², 280 Körner/m² bzw. 350 Körner/m² variiert. Die Aussaat erfolgte am 06.11.98, die Ernte am 02.08.99. Alle Varianten wurden mit 210 kg N/ha AHL (Ammoniumharnstofflösung) in drei Gaben gedüngt. Als Pflanzenschutzmaßnahmen wurden der Halmverkürzer CCC (0,8 l/ha) zu BBCH 31/32 und das Fungizid Juwel Top[®] (1,0 l/ha) zu BBCH 39 eingesetzt.

2.3.2.8 Verteilung von *Fusarium* spp. und *Microdochium nivale* im Bestand

Um die Verteilung von *Fusarium* spp. und *Microdochium nivale* auf dem Feld zu untersuchen wurden in Kerpen-Buir Ähren aus Praxisflächen gezogen. Es wurden 1998 und 1999 von einer 1 ha großen Fläche 30 Stichproben in regelmäßigen Abständen erhoben. Eine Stichprobe bestand aus 4 Wiederholungen in je 0,25 m². Die Proben wurden kurz vor der Ernte gezogen, mit einem Einzelährendräscher gedroschen und anschließend gereinigt.

2.4 Anzucht der Pathogene

2.4.1 Herstellung des Körnerinokulums

Zur Erhöhung des Inokulumpotentials an der Bodenoberfläche wurde in Anlehnung an das von OBST et al. (1995) beschriebene Verfahren das Inokulum auf Getreidekörnern angezogen. In Vorversuchen eigneten sich sowohl Weizen als auch Hafer zur Anzucht, jedoch bildeten die Arten *F. graminearum* und *F. poae* auf Hafer mehr Konidien. Es wurden 400 g ungebeiztes Getreide 24 Std. vorgequollen, in sterilisierbare Polypropylen-Beutel ausgestattet mit Filter (Fa. SACO₂, Gent, Belgien) gefüllt und zugeschweißt. Nach dreimaligem Autoklavieren bei 121 °C und 1,4 bar für 20 min. wurden die Körner mit einem Impfstück, das mit einem Korkbohrer (Ø 0,5 cm) aus PDA-Platten mit frisch angezogenem Myzel von *Fusarium* spp. ausgestanzt worden war, angeimpft. Die Inkubation erfolgte je nach *Fusarium*-Art für 3 - 6 Wochen bei 21 ± 2 °C unter langwelligem NUV-Licht bei einem Tag-Nacht-Rhythmus von 16/8 Std.. Um ein gleichmäßiges Bewachsen der Körner mit *Fusarium* spp. zu gewährleisten, wurden die Tüten alle zwei Tage gründlich geschüttelt.

2.4.2 Herstellung von Sporensuspensionen

Zur Herstellung der Sporensuspension für die Ähreninokulation bzw. Blüteninokulation der Begleitflora wurden die Konidien von bewachsenen Körnern, von bewachsenem PDA in Petrischalen oder aus flüssigem Mungbohnen-Flüssigmedium gewonnen.

Suspension von PDA-Petrischalen

Die Anzucht der Sporen erfolgte auf Potato Dextrose-Agar. Hierfür wurden die Isolate auf dem SNA-Medium (14 - 21 Tage) vorgezogen und die Sporen dann mit einer Impfnadel

streifenförmig auf die PDA übertragen. Nach ca. 14- bis 21-tägiger Inkubation unter NUV-Licht mit Tag-Nacht-Rhythmus und $21 \pm 2^\circ\text{C}$ waren die Konidien gebildet.

Die PDA-Platten mit den Sporen wurden mit Leitungswasser drei Minuten überschichtet und dann mit einem desinfizierten Gummispachtel abgeschwemmt und zur Abtrennung des Myzels durch eine doppelte Lage Verbandsmull filtriert.

Suspension von bewachsenen Körnern

Die Sporen wurden wie in Kap. 2.4.1 beschrieben angezogen. Die Körner wurden mit Leitungswasser abgeschwemmt und durch eine doppelte Lage Verbandsmull filtriert.

Mungbohnen-Flüssigmedium (modifiziert nach BAI & SHANER, 1996)

20 g Samen von Mungbohnen wurden 30 min abgekocht, die Flüssigkeit in einen 1 l Erlenmeyerkolben gefüllt und anschließend autoklaviert. Nach dem Abkühlen wurde ein Myzelstück übertragen. Die Inkubation erfolgte unter ständigem Schütteln unter NUV-Licht mit Tag-Nacht-Rhythmus und $21 \pm 2^\circ\text{C}$. Nach ca. 2 - 4 Wochen je nach *Fusarium*-Art hatten sich die Sporen gebildet. Das Flüssigmedium wurde anschließend über vierfachem Verbandsmull abfiltriert.

Mit Hilfe einer Fuchs-Rosenthal-Kammer wurde die Sporendichte ermittelt und anschließend auf die gewünschte Sporendichte eingestellt. Inokuliert wurde mit einer Sporendichte von $1 \cdot 10^5$ - $5 \cdot 10^5$ Sporen/m². Um die Anhaftung der Sporen zu verbessern, wurde der Sporensuspension Tween (0,01 %) zugesetzt.

2.5 Inokulationsverfahren

2.5.1 Körner

Für eine gezielte Erhöhung des Inokulumpotenzials auf dem Boden wurden die bewachsenen Körner zum Entwicklungsstadium BBCH 37 des Weizens ausgebracht. Die Parzellen hatten eine Größe von 3 – 5 m²; es wurden 100 - 150 g/m² bewachsene Körner pro Parzelle auf dem Boden verteilt. In der Mehrzahl der Versuche wurde eine Mischung von vier *Fusarium*-Arten eingesetzt. Nach der Anzucht auf den Körnern wurden die Inokula kurz vor der Ausbringung,

nach vorheriger Bestimmung der Sporendichte auf den Körnern, im entsprechenden Verhältnis gemischt.

2.5.2 Ähren bzw. einzelne Blüten

Ähren-Inokulation

Die Inokulation von *Fusarium* spp. erfolgte in Form einer Sprühinokulation, bevorzugt zur Vollblüte (BBCH 65). Die Ähren der Containerpflanzen wie auch der Freilandpflanzen in den Kleinparzellen wurden üblicherweise mit $5 \cdot 10^5$ Sporen/ml inokuliert. Die *Fusarium*-Arten wurden einzeln wie auch als Cocktail mit einem Handsprüher ausgebracht. In den Containern wurden durchschnittlich 20 - 25 Ähren mit 25 ml Sporensuspension inokuliert. In den Kleinparzellen im Feld wurden 150 ml/m^2 ausgebracht. Die Blüten der Begleitflora wurden ebenfalls mit 25 ml Sporensuspension inokuliert. Alle verblühten oder noch unfertigen Blüten wurden entfernt.

Die Inokulation wurde immer in den Abendstunden durchgeführt, zur Sicherung einer hohen rel. Luftfeuchtigkeit wurden die Pflanzen anschließend für 12 Stunden mit einer PE-Folie überzogen.

Inokulation von Einzelblüten

Für die Einzelblüteninokulation wurden zu BBCH 65 mit einer Eppendorfpipette $4 \mu\text{l}$ einer Sporensuspension von 10^5 Sporen/ml auf die mittlere Blüte des Ährchens in der Mitte der Ähre aufgebracht. Die Hälfte der Weizenpflanzen wurde nach der Inokulation für vier Wochen morgens und abends mit Wasser benetzt. Niederschlag von außen wurde durch ein Schutzdach verhindert.

Variation der Inkubationsbedingungen

Um den Einfluss von Temperatur und Feuchte untersuchen zu können, wurden die Pflanzen in Containern 14 Tage nach der Inokulation unter kontrollierten Bedingungen (Klimakammer: Fa. Weiß) gehalten und anschließend zur Abreife unter ein Schutzdach gestellt. Die Inokulation der Ähren erfolgte in die Vollblüte mit $2,5 \cdot 10^5$ Sporen/ml. Die Pflanzen wurden bei zwei verschiedenen Temperaturen ($15 \text{ }^\circ\text{C}$ bzw. $25 \text{ }^\circ\text{C}$) und relativen Luftfeuchten (80 % bzw. 95 %) inkubiert.

2.5.3 Blätter

Die Blätter der Begleitflora wurden abgeschnitten und mit einem Kopierrädchen mechanisch leicht verletzt. Die verletzten Blätter wurden mit dem Handsprüher mit einer Sporensuspension ($2,5 \cdot 10^5$ Sporen/ml) benetzt und anschließend in einer Feuchtekammer für eine Woche inkubiert. Um das Anhaften der Sporen zu verbessern, wurde der Sporensuspension Tween 20 (0,01 %) zugesetzt. Als Negativ-Kontrolle wurden die verletzten Blätter mit Aqua demin. und Tween 20 besprüht.

2.6 Isolierung und Inkubation von *Fusarium* spp. und *Microdochium nivale*

2.6.1 Isolierung aus dem Boden

Die Bodenproben wurden zu den Entwicklungsstadien BBCH 37, 59 bzw. 65 - 69 des Weizens gezogen. Die Probe wurde mit einem Zwiebelstecher 15 cm tief ausgehoben, 100 Proben /ha wurden gezogen. Vier Einstiche ergaben eine Probe mit einem Gewicht von 300 – 500 g. Die Trockenmasse wurde von jeder Probe bestimmt. 20 g Probenmaterial wurde bei 60 °C für 24 h getrocknet und anschließend erneut bei Raumtemperatur gewogen. Die Berechnung erfolgte nach folgender Formel :

$$\text{Trockenmasse [\%]} = (\text{Rückwaage [mg]} / \text{Einwaage [mg]}) * 100$$

2.6.1.1 Plattengussverfahren mit Verdünnungsreihe

Zur Bestimmung des Inokulumpotenzials vom *Fusarium* spp. im Boden wurden aus der gut durchmischten Probe 10 g Boden entnommen. Das zu untersuchende Probenaliquot wurde unter sterilen Bedingungen im Verhältnis 1:10 mit autoklavierter Ringerlösung (NaCl 2,25 g/l, KCl 105 g/l, $\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ 0,12 g/l, Natriumbicarbonat 0,05 g/l) gelöst. Aus der Probenlösung wurde in dreifacher Wiederholung eine dezimale Verdünnungsreihe bis zur Verdünnungsstufe 10^{-4} angelegt. Auf jede CZID-Agar-Platte wurden 0,1 ml der Suspension im Oberflächenverfahren ausplattiert. Die Petrischalen wurden dann unter NUV-Licht bei $21 \pm 2^\circ\text{C}$ inkubiert. Nach 3, 5 bzw. 7 Tagen wurden die Platten kontrolliert und die wachsenden Pilzkolonien ausgezählt. Die ermittelten gesamten Pilzkeimzahlen und *Fusarium*-Kolonien wurden in koloniebildenden Einheiten (cfu)/g Boden angegeben. Zur näheren Bestimmung wurden die Kolonien auf Spezialmedien überimpft und mikroskopisch identifiziert (Kap. 2.6).

2.6.1.2 Isolierung von organischen Partikel

Um die organische Substanz vom Boden zu trennen, wurden 300 – 500 g Boden nach HÄNI (1979) ausgewaschen. Hierfür wurden zwei verschiedene Siebgrößen gewählt, die die Partikel der organischen Substanz auffingen. Die Fraktionen bestanden aus Partikeln der Größe 2 – 20 mm bzw. der Größe 0,8 – 2 mm. Die Partikel wurden oberflächlich mit 1,3 % Natriumhypochlorid (NaOCl) sterilisiert und anschließend auf CZID-Agar ausgelegt. Die Inkubation der Platten erfolgte 7 Tage unter NUV-Licht mit Tag-Nacht-Rhythmus bei 21 ± 2 °C.

2.6.1.3 Indirekte Verfahren zur Isolierung von *Fusarium* spp. im Boden

Ködermethode

Für den Ködertest (modifiziert nach HÄNI, 1979) wurden 60 g feuchter (25% w/w) Boden in Petrischalen gefüllt, in die 20 totautoklavierte Weizenkörner gegeben wurden. Die Inkubation erfolgte bei 21 ± 2 °C bei NUV-Licht und einem Tag-Nacht-Rhythmus von 16/8-Stunden für 21 Tage. Anschließend wurden die Körner dem Boden entnommen und auf CZID-Platten ausgelegt und inkubiert (Kap. 2.5.2.1)

Testpflanzenmethode (modifiziert nach HÄNI, 1979)

Von den Bodenproben wurden jeweils 60 g in große Petrischalen (Ø 120 mm) gefüllt, in die jeweils 10 keimfähige, ungebeizte Weizenkörner gelegt wurden. Die zur Keimung ins Gewächshaus gestellten Weizenkörner wurden nach 12 Tagen mit Aqua demin abgewaschen und auf dem Spezialmedium CZID ausgelegt. Die auf CZID-Agar ausgelegten Weizenkeimlinge wurden bei 21 ± 2 °C und NUV-Licht (Tag-Nacht-Rhythmus) für 7 Tage inkubiert (Kap. 2.5.2.1).

Herstellen von Bodenpellets

Die Bodenpellets wurden mittels eines speziellen Geräts (Institutseigene Herstellung) hergestellt. Auf CZID-Agar-Platten wurden 25 Pellets plattiert, der Durchmesser eines Pellets betrug 0,5 cm. Die Pellets wurden unter NUV-Licht mit einem Tag-Nacht-Rhythmus von 16/8-Stunden bei 21 ± 2 °C für 5 Tage inkubiert. Anschließend wurde ermittelt, aus wie

vielen Pellets *Fusarium* spp. ausgewachsen waren; die Pilze wurden zur näheren Identifizierung überimpft (Kap. 2.6)

2.6.2 Isolierung von Halmen, Blättern und Ähren

2.6.2.1 Isolierungsverfahren

Die Erhebung der Befallshäufigkeit von *Fusarium* spp. erfolgte an Halmen, Blättern und Ähren. Dazu wurden aus jeder Variante nach dem Zufallsprinzip je 20 Haupthalme entnommen. Nach der Ernte wurden 200 Körner je Variante aus vier Wiederholungen untersucht. Die Samen der Begleitflora wurden wie die Weizenkörner behandelt.

Blätter, Halme und Spelzen wurden für zwei Minuten mit Natriumhypochlorid (1,3 %) und Tween 20 (0,01 %) oberflächlich desinfiziert und anschließend zweimal mit sterilem Wasser gespült und auf Filterpapier getrocknet. Die Körner wurden drei Minuten mit der Natriumhypochlorid-Lösung behandelt. Die oberflächlich desinfizierten Halme und Körner wurden in den noch flüssigen (50 – 55 °C) Selektiv-Agar CZID getaucht, für die Blätter wurde der Agar vorher abgekühlt.

2.6.2.2 Inkubationsbedingungen

Die Inkubation des Pflanzenmaterials auf CZID-Agarplatten erfolgte bei $22 \pm 2^\circ\text{C}$ und 16 Stunden NUV-Licht für 7 Tage, inokuliertes Material mußte aufgrund des stärkeren Wachstums nach 5 Tagen ausgewertet werden. Die Differenzierung der *Fusarium*-Arten erfolgte mikroskopisch anhand der gebildeten Mikro- und Makrokonidien. Eine artspezifische Sporenbildung ist auf dem Nährmedium SNA am besten möglich. Ferner wurden die Pathogene auf PDA überimpft. Auf PDA zeigten die Pathogene zusätzlich Unterschiede in der Myzelfärbung und im Wachstum. Die Inkubation der SNA- und PDA-Platten erfolgte unter den gleichen Bedingungen wie für die CZID-Platten, aber mit einer um zwei bis drei Wochen längeren Inkubationszeit.

Microdochium nivale konnte anhand des eisblumenartigen Myzelwachstums meist makroskopisch auf dem Selektivagar CZID identifiziert werden. Um Sporen von *Microdochium nivale* zu erhalten, wurde die Temperatur nach fünftägiger Inkubation von $22 \pm 2^\circ\text{C}$ auf 10°C gesenkt.

2.7 Taxonomische Differenzierung

Die taxonomische Zuordnung erfolgte nach mikroskopischer Differenzierung der *Fusarium*-Arten mit dem Leitz-DMRB Lichtmikroskop (Fa. Leitz) nach WOLLENWEBER (1935), NIRENBERG (1976) und NELSON et al. (1983). Zusätzlich standen für die Bestimmung Vergleichsisolate der Arten *Fusarium avenaceum*, *F. cerealis*, *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. poae*, *F. tricinctum*, und *F. verticillioides* vom Centralbureau voor Schimmelcultures, Baarn, Niederlande, zur Verfügung. Die mikroskopischen und stereomikroskopischen Fotografien wurden mit dem Photoautomat WILD MPS 48/52 mit 100 ASA-Diafilmen angefertigt.

2.8 Erfassung des Pathogenbefalls im Bestand

2.8.1 Bewertung von Halm und Blattkrankheiten

Während der Vegetationsperiode wurden bis zu vier Bonituren des Befalls durch Blattpathogene durchgeführt. Ab dem Entwicklungsstadium BBCH 31 (Ein-Knoten-Stadium) bis zu BBCH 75 (Milchreife) wurden *Septoria tritici*, *Blumeria graminis* und *Puccinia recondita* und *Puccinia striiformis* erfasst. Es wurden die indikations- und ertragsrelevanten Blattetagen untersucht (Tab.19)

Tab. 19: Relevante Entwicklungsstadien des Weizens für die Bewertung von Blattkrankheiten.

BBCH-Stadium	relevante Pflanzenorgane*
31 Ein-Knoten-Stadium	F-2, F-3, F-4, F-5
37 Fahnenblatt spitzt	F-1, F-2, F-3
47 Fahnenblattscheide öffnet sich	F, F-1, F-2, F-3
59 Ende Ährenschieben	F, F-1, F-2, F-3
65 Voll-Blüte, 50% reife Antheren	F, F-1, F-2, F-3
75 Milchreife	F, F-1, F-2, Ähre
85 Teigreife	F, F-1, Ähre

* F = Fahnenblatt

Blumeria graminis

Befall mit Echten Mehltau durch *Blumeria graminis f. tritici* ist durch die Bildung von weißlichen, watteartigen Pusteln erkennbar, in denen sich später schwarze Cleistothecien bilden. Die ersten Pusteln bilden sich zunächst an den unteren Blättern und am Halm, bei anhaltendem Infektionsdruck später auch an den oberen Blattetagen. Die Bestimmung der

Befallsstärke erfolgte makroskopisch durch Schätzung des prozentualen Anteils der befallenen Blattfläche.

Septoria tritici

Auf befallenen Blättern bilden sich zunächst gelbliche, später braune unregelmäßige Nekrosen aus. In den Blattflecken sind nach Niederschlägen makroskopisch die in Reihe angeordneten schwarzen Pyknidien zu erkennen. Es wurde der Anteil nekrotisierter Gesamtfläche mit Pyknidien geschätzt.

Puccinia recondita

Braunrost durch *Puccinia recondita* bildet rostbraune ovale Pusteln (Uredosporenlager), die auf der Blattoberseite zu finden sind. Die Befallsstärke wurde durch Schätzung des prozentualen Blattbefalls ermittelt.

Puccinia striiformis

Bei *Puccinia striiformis*, dem Erreger des Gelbrosts, bilden sich an den Blättern orange Sporenlager (Uredosporen). Die weitere Verbreitung erfolgt entlang der Blattadern. So entstehen die typischen Längsstreifen aus Uredosporen. Aufgrund der klaren Symptome war hier ebenfalls eine prozentuale Befallsschätzung möglich.

Pseudocercospora herpotrichoides

Zur Befallsermittlung des parasitären Halmbrochs durch *Pseudocercospora herpotrichoides* wurden zum Entwicklungsstadium BBCH 32 - 37 20 Haupttriebe aus dem Bestand entnommen und die Halmbasis mit verdünnter Tinten-Essigessenz (1:9) angefärbt (MAULER-MACHNIK & NASS 1990). Durch die Anfärbung zeigten sich bei einer 60 - 100fachen Vergrößerung die spezifischen „Infektionskissen“ von *P. herpotrichoides*. Die Befallshäufigkeit errechnete sich aus dem prozentualen Anteil befallener Halme der gesamten Haupttriebe.

2.8.2 *Fusarium* spp. und *Microdochium nivale*

Die Erhebung zur Befallshäufigkeit mit *Fusarium* spp. erfolgte ab dem Entwicklungsstadium BBCH 65 (Vollblüte) bis zum Abreifen des Bestandes. Die Inokulationsversuche wurden jede Woche bis zur Abreife optisch bonitiert. Der Ährenbefall mit *Fusarium* spp. und *Microdochium nivale* wurde nach DIEHL (1984) in einer Boniturskala von 0 bis 7 eingeteilt

(Tab. 20). Die *Fusarium*-Arten wurden durch Überimpfen von Selektiv-Nährmedium isoliert und mikroskopisch identifiziert (vgl. Kap. 2.5.2.1).

In den Versuchen ohne Inokulation wurden aus dem Bestand je Variante 20 ährentragende Halme entnommen und bonitiert. Da Verbräunungen am Blatt keine Aussage über die *Fusarium*-Art oder *Microdochium nivale* zulassen, wurden die symptombehafteten Blätter mikroskopisch weiter untersucht (vgl. Kap.2.5.2.1).

Tab. 20: Boniturschema für die Partielle Taubährigkeit durch *Fusarium* spp. und *Microdochium nivale* an Weizen (nach DIEHL 1984).

Boniturnote	Symptombeschreibung	mittlere Befallsstärke [%]
0	kein Befall	0,0
1	Teil eines Ährchens ausgebleichen	0,5
2	ein Ährchen ganz ausgebleichen	3,0
3	zwei Ährchen ganz ausgebleichen	7,5
4	drei Ährchen ganz ausgebleichen oder bis zu 25 % der Ähre ausgebleichen	17,5
5	bis zu 50 % der Ähre ausgebleichen	37,5
6	bis zu 75 % der Ähre ausgebleichen	62,5
7	bis zu 100 % der Ähre ausgebleichen	87,5

2.8.3 Erfassung des *Fusarium*-Befalls an der Begleitflora

Die Samen der meisten Gräser wurden vor der Ernte gesammelt. Der größte Teil der übrigen Begleitflora wurde bei der Reinigung des Ernteguts gewonnen. Die Samen wurden oberflächlich desinfiziert und auf dem Selektivmedium CZID ausgelegt und für 7 Tage unter NUV-Licht mit Tag-Nacht-Rhythmus und $22 \pm 2^\circ\text{C}$ inkubiert. Wenn *Fusarium* spp. aus den Samen wuchs, wurde der Pilz überimpft und mikroskopisch identifiziert.

2.9 Pflanzenwachstum und Ertragsparameter

Die Erfassung des Pflanzenwachstums erfolgte im Frühjahr zu Vegetationsbeginn mit der Ermittlung des Feldaufgangs. Hierzu wurde in jeder dritten, fünften und siebten Saatreihe ein Meter fortlaufend abgesteckt und die Anzahl Pflanzen ausgezählt. Kurz vor der Ernte wurden an denselben Stellen die ährentragenden Halme ermittelt.

Der Flächenertrag wurde aus dem Parzellenertrag hochgerechnet. Die Kornfeuchte wurde aus 100 g Proben ermittelt, die 24 Stunden bei 105°C getrocknet worden waren. Aufgrund der Massendifferenz errechnete sich die Kornfeuchte. Der Ertrag wurde in dt/ha bei einer

Kornfeuchte von 14 % angegeben. Das Getreide wurde mit der Getreidereinigung für Einzelparzellen (Fa. Mini Petkus) gereinigt, um marktfähiges Getreide zu erhalten. Des Weiteren wurde die Tausendkornmasse erhoben, indem je Variante zehn mal 100 Körner gezählt wurden (Fa. Pfeuffer, Contador).

2.10 *In vitro*-Untersuchungen zur Wirksamkeit von Fungiziden

2.10.1 Myzelwachstumstest

Die Wirkung der fungiziden Wirkstoffe auf die *Fusarium*-Arten wurde in Abhängigkeit der Wirkstoffkonzentration untersucht. Hierfür wurden entweder der reine Wirkstoff in Aceton bzw. Ethanol gelöst, oder das formulierte Präparat untersucht. Untersucht wurden die in der Tabelle 21 aufgeführten Fungizide in den Konzentrationen 0,0 ppm, 0,05 ppm, 0,1 ppm, 0,5 ppm, 1,0 ppm, 5,0 ppm und 10 ppm.

Tab. 21: Untersuchte Fungizide und ihr Wirkstoff.

Präparat	Wirkstoff
Amistar ®	Azoxystrobin
Caramba ®	Metconazol
Folicur ®	Tebuconazol
Corbel ®	Fenpropimorph
Opus ®	Epoxiconzol

Die Wirkstofflösung wurde dem Kulturmedium PDA nach Autoklavieren und Abkühlen auf 50 °C zugesetzt, gemischt und mit einer Agargießmaschine (Fa. AES Laboratoire) zu 20 ml je Petrischale (Ø 8,5 cm) gegossen. Nach 24 Stunden wurde ein mit Myzel bewachsenes Impfstück (Ø 0,5 cm) ausgestanzt und mit der Myzelseite nach unten auf das fungizidhaltige Nährmedium übertragen. Die Inkubation erfolgte 9 Tage lang bei $22 \pm 2^\circ\text{C}$ und einem 16/8-Stunden Tag-Nacht-Rhythmus. Alle drei Tage wurde der Myzelzuwachs bestimmt. Ermittelt wurde der ED₅₀- und ED₉₀-Wert der Fungizide (Wirkstoffkonzentration bei der eine Wachstumshemmung von 50 % bzw. 90 % des Pilzes erreicht wird).

2.10.2 Sporenkeimung und Keimschlauchlängenwachstum

Im Sporenkeimungs- und Keimschlauchlängentest wurde der Einfluss von Fungiziden in unterschiedlichen Konzentrationen auf das Auskeimen und das

Keimschlauchlängenwachstum getestet. Die Vitalität der Sporen wurde in jedem Test in einer Kontrolle überprüft. Um eine optimale Keimung der Sporen zu gewährleisten und die mikroskopische Auswertung zu ermöglichen, wurde ein 2 %-iger Wasseragar verwendet. Die Wirkstofflösung wurde dem Kulturmedium nach dem Autoklavieren und Abkühlen des Agars auf 50 °C zugesetzt und mit einer Agargießmaschine (Fa. AES Laboratoire) zu 10 ml je Petrischale (Ø 8,5 cm) gegossen. Nach dem Erkalten des Mediums wurden mit einem sterilen Korkbohrer (Ø 0,8 cm) Agarstücke ausgestanzt. Die Agarstücke wurden auf sterile Objektträger transferiert. Die Objektträger mit den Agarstücken wurden in eine Feuchtekammer mit Gitternetz gelegt, unter dem sich steriles Wasser befand. 10 µl einer Sporensuspension mit einer Sporendichte von $5 \cdot 10^3$ /ml wurden auf jedes Agarstück pipettiert und für 10 Stunden bei $22 \pm 2^\circ\text{C}$ inkubiert. Die Auswertung der Sporen erfolgte mikroskopisch bei 200facher Vergrößerung. Die Pilze wurden mit Phenol abgetötet und mit Lactophenol-Baumwollblau angefärbt. Für jede Konzentration und *Fusarium*-Art wurden drei Wiederholungen mit jeweils 50 Sporen ausgewertet.

2.11 Bestimmung des Mykotoxingehalts

2.11.1 Probenvorbereitung

Nach der Reinigung des Ernteguts wurden aus jeder Wiederholung 100 g Körner abgewogen, zu einer Probe gemischt und bis zur mykotoxikologischen Analyse bei -18°C aufbewahrt. Anschließend wurde die Körnerprobe mit einer Getreidemühle (Fa. Jupiter) vermahlen.

2.11.2 LC-Tandem-Massenspektrometrie

Die Trichothecen-Konzentration der Körner wurde mittels eines Hochdruckflüssigkeits-Chromatographen mit zwei nachfolgenden Massenspektrometern bestimmt (FECHNER pers. Mitt.*). Für die β -Trichothecene Nivalenol und Deoxynivalenol lag die Nachweisgrenze bei 20 µg/kg. Die β -Trichothecene 3-Acetyl-DON und 15-Acetyl-DON sowie die beiden α -Trichothecene konnten auch im Bereich unter 20 µg/kg nachgewiesen werden.

*Die Bestimmung der Trichothecene wurde in der Zusammenarbeit mit der Bayer AG, in Monheim, durchgeführt.

Extraktion

Die Extraktion wurde nach der von FECHNER (pers. Mitt.) beschriebenen Methode durchgeführt. 5 g der gemahlten Probe wurden mit 50 ml Methanol/Wasser (7:3 v/v) in einem Becherglas (150 ml) mit einem Ultraturrax homogenisiert. Der Extrakt wurde über die Filterhilfe Celite filtriert, mit 50 ml Methanol nachgespült, in einen Rundkolben überführt und im Rotationsverdampfer bis zu einem wässrigen Rest (5 ml) eingengt. Nach Abkühlen auf Raumtemperatur und Zugabe von 10 ml einer 15 % NaCl-Lösung (150 g NaCl in 1000 ml Wasser, 1 ml Essigsäure) wurde der Extrakt über eine Chem-Elut 1020[®] Kartusche (Fa. Varian) gereinigt. Nach einer Einwirkzeit von 10 min. wurde die erste Fraktion mit 200 ml Dichlormethan eluiert. Die erste Fraktion enthält Nivalenol und in geringen Mengen weitere Toxine. Im Anschluss wurde die zweite Fraktion mit 200 ml Ethylacetat eluiert, in dem Deoxynivalenol, 3-Acetyl-DON, 15-0-Acetyl-DON, T2-Toxin, HT2-Toxin sowie die Zearalenone gelöst waren. Die einzelnen Fraktionen wurden gemeinsam am Rotationsverdampfer bis zur Trockene eingengt. Der Rückstand wurde mit 2,5 - 5 ml Wasser/Methanol/Ammoniumacetat/Essigsäure (750 + 250 + 100 mg + 0,1 ml) aufgenommen. Es wurde eine Endkonzentration von mehr als 20 ng/ml angestrebt. Anschließend wurde die Probe 1 min. im Ultraschallbad geschwenkt. Ein Teil dieser Lösung (ca. 4,5 g) wurde in einer Eppendorf-Zentrifuge für ca. 5 min bei 2000 g zentrifugiert. Die Extrakte wurden in Vials umgefüllt und bis zur Messung bei -18 °C eingefroren. Die Parameter der LC-MSMS sind in Tabelle 22 aufgeführt.

Tab. 22: LC-MSMS Messeinrichtung und Parameter für die Trichothecen-Bestimmung.

Hochleistungsflüssigkeits-Chromatograph	HP 1100 mit binärem Pumpensystem, Vakuumentgaser und Säulenofen	
Injektionsvolumen	50 µl	
Ofentemperatur	40 °C	
Massenspektrometer	PE-Sciex API 365 mit Turbo Ionspray Interface	
Trägergas	Stickstoff	
Stationäre Phase	Trennsäule	LiChrospher 100 C18, 5µm, 125*4mm
	Mobile Phase	Methanol + 0,1 ml Essigsäure + 77 mg Ammoniumacetat
Retentionszeit	Nivalenol	4,2 min
	Deoxynivalenol	2,8 min
	3-Acetyl-Deoxynivalenol	7,6 min
	15-0-Acetyl-Deoxynivalenol	7,6 min
	T2-Toxin	13,2 min
	HT2-Toxin	12,8 min

Die Auswertung erfolgte gegen externe Standardlösungen in Methanol/Wasser (75:25) und nach folgender Formel.

$$R = \frac{A_p * C_s * V_e}{A_s * EW}$$

A_p = Peakfläche der Probe
 C_s = Peakfläche der Standardlösung
 V_e = Konzentration der Standardlösung
 [µg/kg]
 A_s = Endvolumen der Probenlösung
 EW = Einwaage der Probe [kg]
 R = Toxingehalt der Probe [mg/kg]

Die Wiederfindungsrate wurde ermittelt, indem Proben mit Standard-Toxinen (20 µg/kg bzw. 100 µg/kg) angereichert wurden.

Nivalenol	70 %
Deoxynivalenol	105 %
3-Acetyl-deoxynivalenol	105 %
15-O-Acetyl-deoxynivalenol	104 %
T2-Toxin	70%
HT2-Toxin	80%

2.11.3 Hochleistungsflüssigkeits-Chromatographie mit DAD

Die Bestimmung des Mykotoxingehalts von hochbelastetem Kornmaterial erfolgte mit Hilfe eines Hochleistungsflüssigkeits-Chromatographen HP1050 (Fa. Hewlett Packard). Mittels HPLC wurden Deoxynivalenol (DON), 3-Acetyl-Deoxynivalenol (3-Acetyl-DON) und 15-Acetyl-Deoxynivalenol (15-Acetyl-Deoxynivalenol) und Nivalenol (NIV) erfasst.

Die Messung erfolgte unter den in Tab. 23 beschriebenen Bedingungen und wurde über die Software HPChem 3.4.1. (Fa. Hewlett Packard) gesteuert. Da die Nachweisgrenze bei 1 ppm lag, konnte nur hochbelastetes Material untersucht werden. Der Vorteil dieser Methode liegt in der schnellen Aufarbeitung der Proben.

Extraktion

In einer Schottflasche wurden 5 g gemahlenes Getreide abgewogen. Die Extraktion erfolgte mit 25ml Acetonitril-Wasser (75 : 25, CH₃CN 96 %). Die Probe wurde bei Raumtemperatur für 30 min auf einem Schüttler geschüttelt und anschließend über einen Faltenfilter (125mm) in einen Rundkolben filtriert. Mit einem Rotationsverdampfer wurde die Probe bis zur Trockene eingengt und in 5 ml Acetonitril-Wasser (3 : 1) aufgenommen. Das Probenaliquot wurde durch eine Romer Cleanup-Säule (Fa. Coring-System) gereinigt und der Überstand in Vials gefüllt.

In Abhängigkeit von der erwarteten Mykotoxin-Konzentration wurden 5 – 20 µl injiziert. Die Auswertung erfolgte gegen externe Standardlösungen in Acetonitril-Wasser (3 : 1) und nach folgender Formel (SCOTT, 1990).

$$\text{Toxingehalt in } \mu\text{g/kg} = \frac{P \cdot C \cdot V' \cdot L}{P' \cdot V \cdot W}$$

P = Peakfläche der Probe
 P' = Peakfläche vom Standard
 C = Konzentration vom Standard
 W = Probenmenge [g]
 V' = Injektionsvolumen des Standards
 V = Injektionsvolumen der Probe
 L = Menge in der das eingengte Toxin gelöst wird

Tab. 23: HPLC-Meßeinrichtung und Parameter für die Trichothecen-Bestimmung.

Detektor	Dioden-Array-Detektor Messung: DAD A bei 220nm DAD B bei 245 nm	
Mobile Phase	Acetonitril-Wasser	
Stationäre Phase	Hilbar [®] pre-packed RT-125-4 Lichrosorb [®] RP 18 (5µm) (Fa. Merk)	
Trennsäule		
Injektionsvolumen	2 - 20µl	
Retentionszeit	Nivalenol	4,8 min
	Deoxynivalenol	5,6 min
	3-Acetyl-DON	7,6 min
	15-Acetyl-DON	8,2 min

2.12.4 Kompetitiver Enzym-Immunoassay

Die quantitative Bestimmung niedrigerer Deoxynivalenol-Gehalte erfolgte mittels eines kompetitiven Enzym-Immunoassays (ELISA) der Firma R-Biopharm GmbH (Ridascreen[®] DON, Art. No. R2901). Die rechnerische Nachweisgrenze für Getreide liegt nach Angaben des Herstellers bei 1,25 µg DON/kg, die Wiederfindungsrate bei 80 – 90 %. Bei der Detektion wurden die Derivate 3-Acetyl-Deoxynivalenol und 15-Acetyl-Deoxynivalenol mit erfasst.

Extraktion

Zur Deoxynivalenol-Extraktion wurden aus einer homogenen Probe 2 g Vollkornmehl entnommen, mit 10 ml eines Acetonitril-Wassergemisches (84/16 v/v) versetzt und für zwei Stunden horizontal geschüttelt. Der Probenansatz wurde über einen Faltenfilter (125 mm) abfiltriert. Vom Extrakt wurde 1 ml in Reaktionsgefäße überführt und bei 45 °C unter einem schwachem N₂-Strom bis zur vollständigen Trockene eingengt.

Acetylierung

Der Rückstand wurde mit 0,1 ml des Reagenz 1 (Dimethylaminopyridin in Acetonitril) und 0,1 ml des Reagenz 2 (Essigsäureanhydrid in Acetonitril) gut vermischt und bei Raumtemperatur eine Stunde inkubiert. Anschließend wurde der Ansatz mit 0,8 ml dest. Wasser vermischt. Es wurden 20 µl des Ansatzes entnommen und mit 180 µl Puffer gemischt. Wurde ein hoher Deoxynivalenol-Gehalt erwartet, wurde der Ansatz in 1:10 –Verdünnungsschritten bis zu 1:100000 verdünnt.

Testdurchführung

Alle Reagenzien wurden vor Gebrauch auf Raumtemperatur gebracht. Die als Konzentrat vorliegende Acetyl-Deoxynivalenol-Enzymkonjugat und Anti-Acetyldeoxynivalenol-Antikörper wurden jeweils mit Puffer 1:11 verdünnt. Nach Einsetzen der Mikrotiter-Streifen wurden 50 µl verdünntes Enzymkonjugat und 50 µl Probe bzw. Standardlösung, die in den Konzentrationen 0 ppt, 25 ppt, 50 ppt, 100 ppt, 200 ppt und 400 ppt mit jedem Kit mitgeliefert wurden, in die Kavitäten pipettiert. Unmittelbar danach wurden 50 µl der verdünnten Antikörperlösung hinzu pipettiert, durchmischt und zwei Stunden bei Raumtemperatur und Dunkelheit inkubiert. Die Kavitäten wurden danach geleert, mit 200 µl sterilisiertem Wasser gespült, die Restfeuchtigkeit wurde durch kräftiges Ausschütteln auf saugfähigen Labortüchern entfernt. Im nächsten Schritt wurden je Kavität 50 µl Substrat (Harnstoffperoxid) und 50 µl Chromogen hinzugeben, durchgemischt und 30 min bei

Raumtemperatur und Dunkelheit inkubiert. Anschließend wurden 100 µl Stop-Reagenz in jede Kavität pipettiert, durchmischt und die Extinktion bei 450 nm photometrisch innerhalb von 60 min gemessen.

Auswertung

Die Extinktionswerte der Probe bzw. der Standards wurden nach folgender Formel errechnet

$$\text{Extinktion \%} = \frac{\text{Extinktion Probe (Standard)}}{\text{Extinktion Nullstandard}} * 100$$

Anhand der Standards wurde eine Eichreihe erstellt. Mit Hilfe der Eichgeraden wurde der DON-Gehalt in ng/kg errechnet. Um die tatsächliche Konzentration zu erhalten, wurde die DON-Konzentration unter Berücksichtigung der Trockenmasse der Probe mit dem entsprechenden Verdünnungsfaktor multipliziert.

2.12 Statistische Auswertung

Die ermittelten Daten wurden varianzanalytisch mit Hilfe der Statistiksoftware SigmaStat® (Version 2.0 for Windows® 95) verrechnet. Die Versuche wurden als ein- oder zweifaktorielle Block- oder Spaltanlagen angelegt und ausgewertet. Die Daten wurden zuerst auf ihre Normalverteilung überprüft. Lag keine Normalverteilung vor, wurde der nicht parametrische Kruskal-Wallis-Test verwendet (KÖHLER et al. 1996). Bei Erfüllen der Normalverteilung wurden die Daten mit Hilfe des Tukey-Tests auf statistische Signifikanzen überprüft (KÖHLER et al., 1996). In den Abbildungen sind signifikant unterschiedliche Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben kenntlich gemacht. Die Berechnung der Korrelationskoeffizienten erfolgte mit Hilfe des Tabellenkalkulationsprogramms Microsoft Excel 7.0.

3 ERGEBNISSE

3.1 Variabilität beim Nachweis von *Fusarium* spp. und *Microdochium nivale* und der Belastung mit Mykotoxinen

Für die Bewertung des Kornbefalls mit *Fusarium* spp. und *Microdochium nivale* sind Kenntnisse über die Variabilität des Befalls und deren Ursache unerlässlich. Daher wurden I) die Bonituren von Ährensymptomen und die mikrobiologisch erfasste Befallshäufigkeit als Methoden zur Erfassung des Ährenbefalls miteinander verglichen, II) der Einfluss einer Oberflächen-Desinfektion auf die Befallshäufigkeit der Körner, III) die räumliche Heterogenität des Ährenbefalls im Feld, sowie IV) der Einfluss einer Getreidereinigung auf die Belastung der Körner. Als Bezugsgröße des Befalls wurde die Befallshäufigkeit von oberflächlich desinfizierten Körnern gewählt.

3.1.1 Vergleich von Ährenbonitur und mikrobiologischem Nachweis der Erreger

Da die Isolierung von *Fusarium* spp. und *Microdochium nivale* über Nährmedien sehr zeitaufwendig ist und so die Untersuchung größerer Probenmengen verhindert wird, wurde die optische Bonitur der Ährensymptome im Feld als eine Alternative zur *in vitro* Ermittlung der Befallsintensität mit *Fusarium* spp. erachtet (Abb. 1).

Der Vergleich beider Methoden zeigte, dass ein geringer Befall der Körner (bis 10 % Befallshäufigkeit) optisch nicht erfasst wurde. War eine optische Bonitur möglich, was in Versuchen ohne zusätzliche Inokulation selten vorkam, konnte keine Korrelation zwischen beiden Methoden ermittelt werden ($r = 0,4$, $p \geq 0,05$). Ein ähnliches Ergebnis ergab sich für das Verhältnis zwischen DON-Gehalt und der optischen Bonitur der Weizenähren ($r = 0,2$, $p \geq 0,05$). Hingegen erwies sich die optische Bonitur für Versuche mit zusätzlicher Inokulation als geeignet. Bei Befallshöhen zwischen 40 % und 100 % war eine Korrelation von $r = 0,8$ ($p \leq 0,05$; $n = 30$) mit der Isolierung der *Fusarium*-Arten von Körnern vorhanden.

Durch die optische Bonitur konnten die auftretenden Arten nicht unterschieden werden. Die Differenzierung der *Fusarium*-Arten und von *Microdochium nivale* war stichprobenartig nur über die mikroskopische Differenzierung möglich.



Abb. 1: Ähren- bzw. Spelzensymptome nach Inokulation mit *F. culmorum*.

3.1.3 Auftreten von *Fusarium* spp. an und in Weizenkörnern

Durch eine oberflächliche Desinfektion mit Natriumhypochlorid (1,3 % für 3 min) wurden die an der Oberfläche der Körner anhaftenden Mikroorganismen weitgehend abgetötet. Besonders Saprophyten der Gattungen *Alternaria* und *Epicoccum* wurden durch die Behandlung der Körner signifikant um 37 - 43 % reduziert (Abb. 2). Der Gesamtanteil an *Fusarium* spp. wurde ebenfalls signifikant um 10 % reduziert. Die Isolierungsrate einer schnell wachsenden *Fusarium*-Art wie *F. poae* wurde durch eine oberflächliche Desinfektion um bis zu 25 % reduziert, hingegen konnten die langsamer wachsenden Arten wie *F. graminearum* und *F. avenaceum* besser isoliert werden. Die Isolierungsrate von *F. culmorum* unterschied sich mit und ohne Oberflächendesinfektion im Durchschnitt um 2 %.

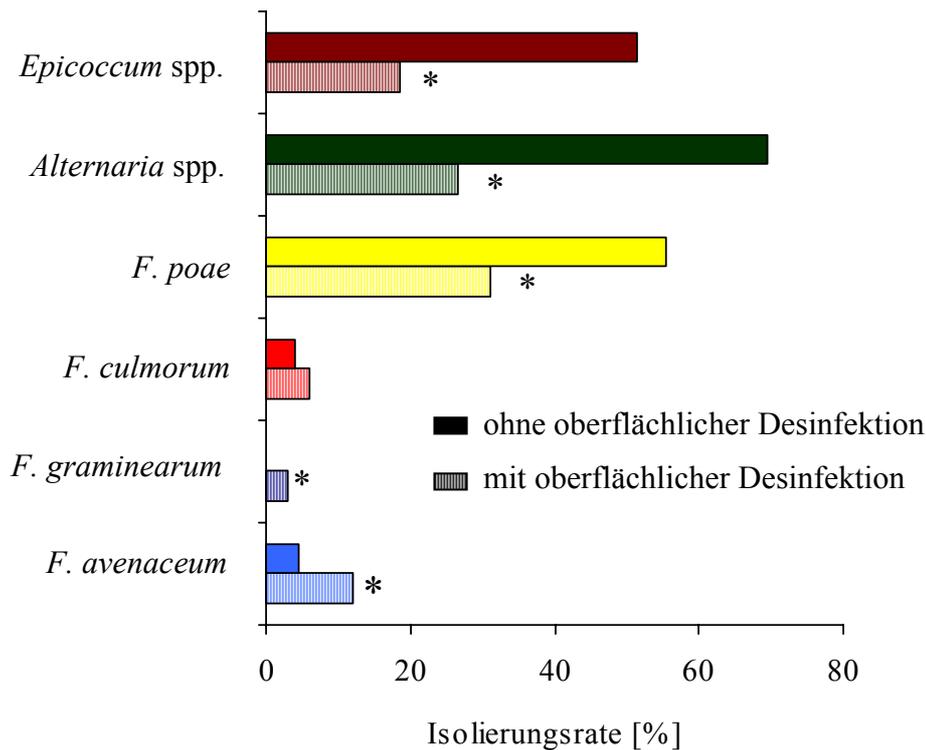


Abb. 2: Einfluss der oberflächlichen Desinfektion von Weizenkörnern auf die Isolierungsrate von *Fusarium* spp., *Epicoccum* spp. und *Alternaria* spp. (* signifikante Unterschiede zwischen den Wertepaaren; Tukey-Test, $p \leq 0,05$).

3.1.4 Räumliche Heterogenität des Kornbefalls im Feld

Die Erhebungen zur räumlichen Verteilung von *Fusarium* spp. und *Microdochium nivale* wurden 1998 und 1999 am Standort Kerpen durchgeführt. Dafür wurden auf einer Fläche von 1 ha kurz vor der Ernte Kornproben an 30 Stellen nach dem in Abbildung 4 dargestellten Schema entnommen; die Pflanzen hatten keine Ährenbehandlung gegen *Fusarium* spp. erhalten. Die 30 Kornproben/ha zeigten, dass zwischen der Befallshäufigkeit der Stichproben keine signifikanten Unterschiede vorlagen (Tukey-Test, $p \leq 0,10$).

Die Befallshäufigkeit der Körner mit *Fusarium* spp. differierte 1998 und 1999 zwischen 0 - 8,5 % (Abb. 3). Das Auftreten von *Microdochium nivale* variierte 1998 zwischen 1 - 15 %, im nächsten Jahr dagegen nur zwischen 0 - 1,5 %. Auch die Verteilung der einzelnen *Fusarium*-Arten auf dem Feld ließ keinen Rückschluss zu, dass die Stichproben sich signifikant unterschieden.

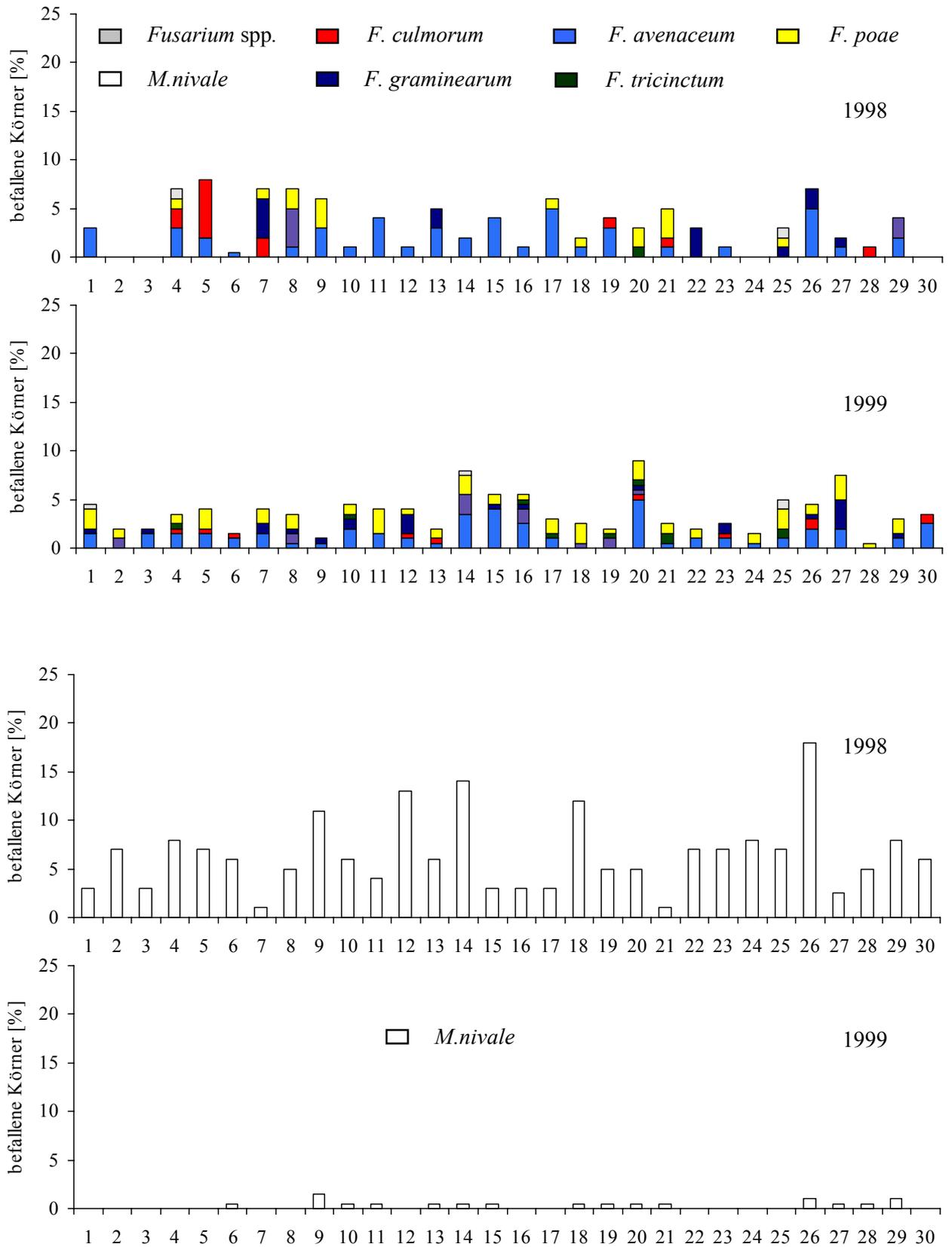


Abb. 3: Variabilität der Befallshäufigkeit und der Zusammensetzung von *Fusarium*-Arten und von *M. nivale* an Weizenkörnern zur Zeit der Ernte aus 30 Proben von einer Fläche von 1 ha ('Ritmo', Kerpen-Buir 1998 und 1999).

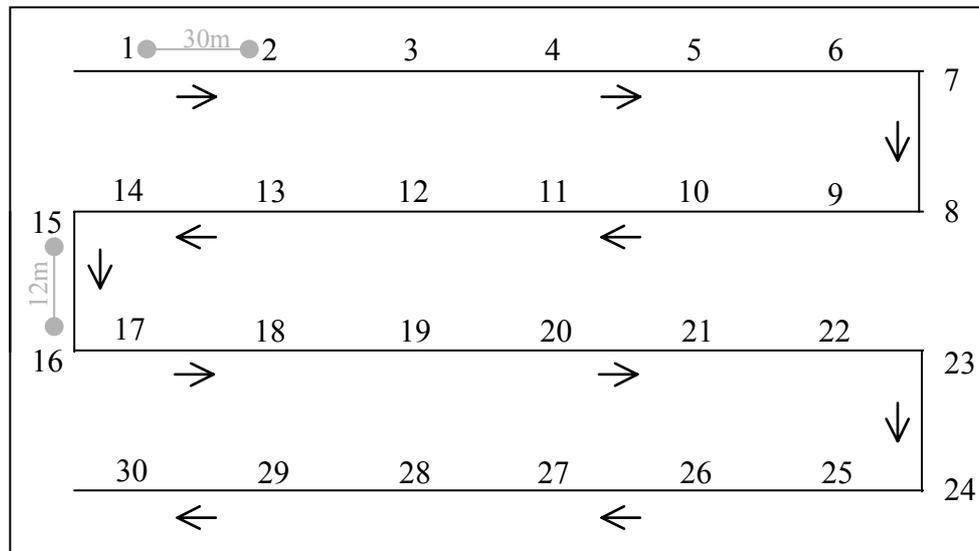


Abb. 4: Räumliche Verteilung der Probenahme-Orte von Weizenähren auf dem Feld (Kerpen 1998 und 1999).

3.1.5 Einfluss einer Getreidereinigung auf die Befallshäufigkeit

An Kornproben von den Standorten Kerpen-Buir und Hennef wurde 1997 und 1999 der Besatz mit *Fusarium*-Arten und *M. nivale* an den gereinigten Körnern mit der Fraktion der Kümmerkörner (< 2,2 mm Korngröße) verglichen (Abb. 5). Der Anteil der mit *Fusarium* spp. infizierten Kümmerkörner lag bei 1 – 15 % und machte am Gesamtbefall weniger als 1 % aus. (Abb. 6). Kümmerkörner der sehr anfälligen Sorte 'Ritmo' vom Standort Kerpen wiesen eine Befallshäufigkeit von 15 % auf. Dies lag unter der der marktfähigen Körner mit 32,5 %. Allerdings machte der Kümmerkornanteil am Gesamtertrag nur 1,6 % aus.

Am Standort Hennef wurden in beiden Jahren die Sorten 'Pegassos' und 'Petrus' aus dem Organischen Landbau untersucht. 1997 waren beide Sorten gleichermaßen stark mit *Fusarium* spp. infiziert, wobei der *Fusarium*-Besatz der Kümmerkörner 4 % betrug und den Gesamtbefalls unwesentlich erhöhte, da der Kümmerkornanteil nur 3 % des Gesamtertrages ausmachte. Im Jahr 1999 unterschieden sich die Sorten in ihrer Befallshäufigkeit, was sich auch in der Kümmerkorn-Fraktion, die zu 1 % ('Petrus') bzw. 5 % ('Pegassos') infiziert war, zeigte. Die gleichen Sorten wurden 1999 auch auf Flächen des integrierten Landbaus untersucht. Das Befallsniveau der marktfähigen Körner wie auch der Kümmerkörner lag hier mit 8 – 10 % bzw. 3 – 6 % über dem des Organischen Landbaus mit 3 – 6 % bzw. 1 – 5 %, allerdings lag der Kümmerkornanteil des Gesamtertrags im integrierten Anbau nur bei 1 %, im Organischen Landbau bei 2,5 %.

Am Standort Hennef wurde von 7 Sorten die Kümmerkornfraktion auf den Besatz mit den verschiedenen *Fusarium*-Arten untersucht (Abb. 7). Ein Vergleich der *Fusarium*-Arten an den marktfähigen Körnern und der Kümmerkorn-Fraktion zeigte, dass sich die Zusammensetzung unterschied. In der Kornfraktion kamen *F. culmorum*, *F. avenaceum* und *F. poae* mit 28 % gleich häufig vor, in der Kümmerkornfraktion hingegen waren hauptsächlich *F. culmorum* (73 %) *F. avenaceum* (9 %) vorhanden. *F. graminearum* trat, wie *F. culmorum*, mit 15 % gegenüber 7 % häufiger in der Kümmerkornfraktion auf.



Abb. 5: Kümmerkornbildung nach Inokulation mit *Fusarium*-Sporen (von links *F. culmorum* 74 %, ohne Inokulation, *F. graminearum* 67 % und *F. poae* 40% befallene Körner).

Für *M. nivale* zeigte sich ein ähnliches Befallsbild wie bei *Fusarium* spp. (Abb. 8). Durch das Herausreinigen der Kümmerkornfraktion wurde 1997 im integrierten Landbau am Standort Kerpen eine Reduktion des Gesamtbefalls von weniger als 1 % erreicht, da der Kümmerkornanteil vom Gesamtertrag bei weniger als 2 % lag; die Kümmerkörner waren zu 26,5 % befallen, die marktfähigen Körner zu 32,5 %. Ähnlich sah es im Organischen Landbau am Standort Hennef bei der Sorte 'Pegassos' mit 4,5 % und bei der Sorte 'Petrus' mit 13 % Kümmerkornbefall aus. Im Jahr 1999 war der gesamte Besatz mit *M. nivale* sowohl im Organischen wie auch im integrierten Anbau mit höchstens 2 % sehr gering.

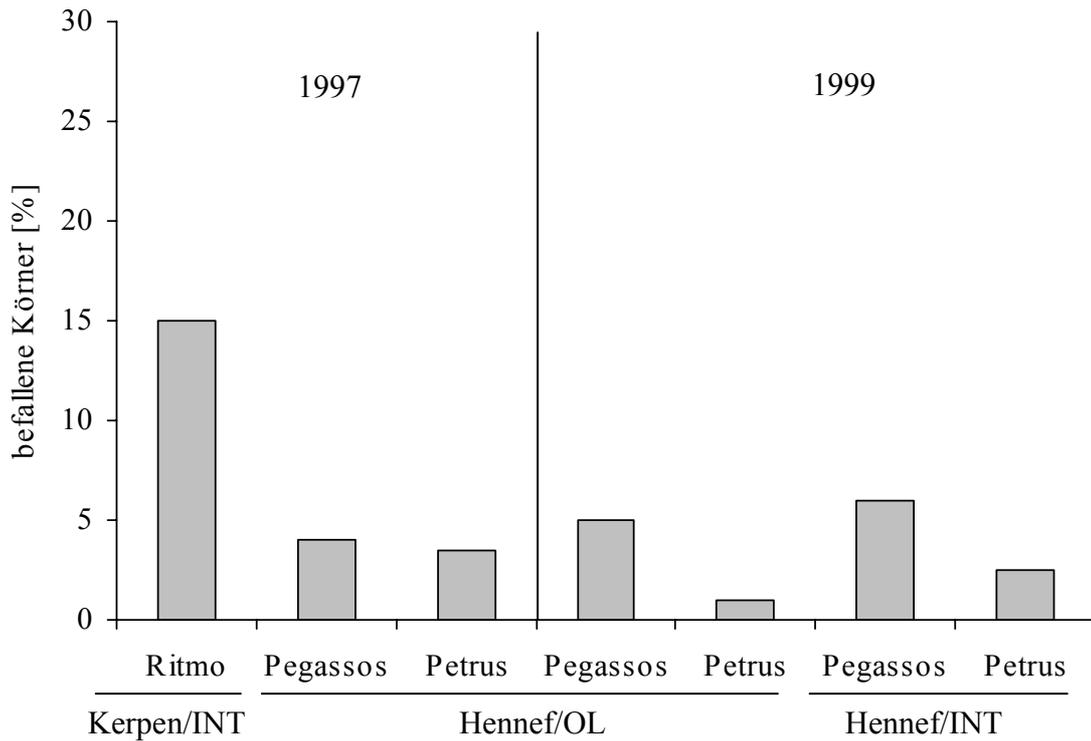


Abb. 6: Auftreten von *Fusarium* spp. an Kümmerkörnern der Sorten 'Ritmo', Petrus und Pegassos an den Standorten Kerpen und Hennef in den Jahren 1997 und 1999 (OL= Organischer Landbau; INT= integrierter Anbau).

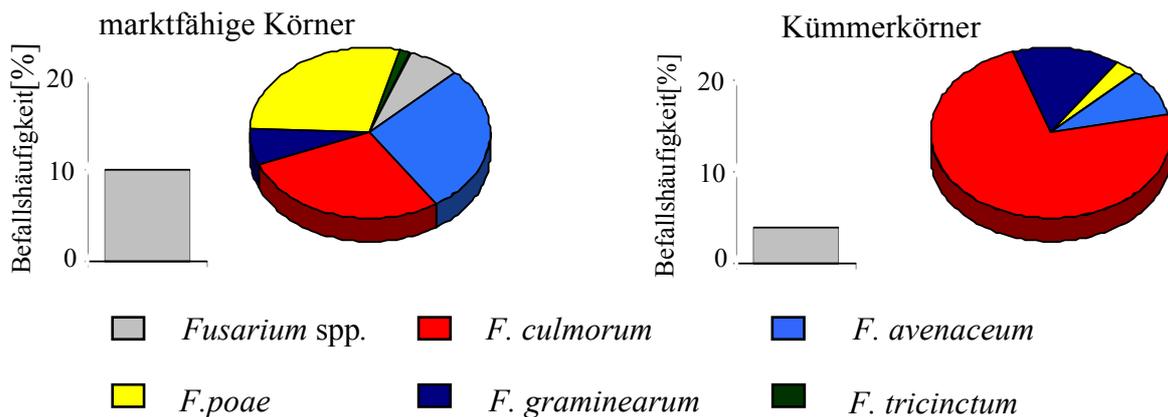


Abb. 7: Vergleich der Zusammensetzung der *Fusarium*-Arten an Kümmerkörnern ($\leq 2,2$ mm Korngröße) und den marktfähigen Körnern (\varnothing 7 Sorten, Hennef 1997).

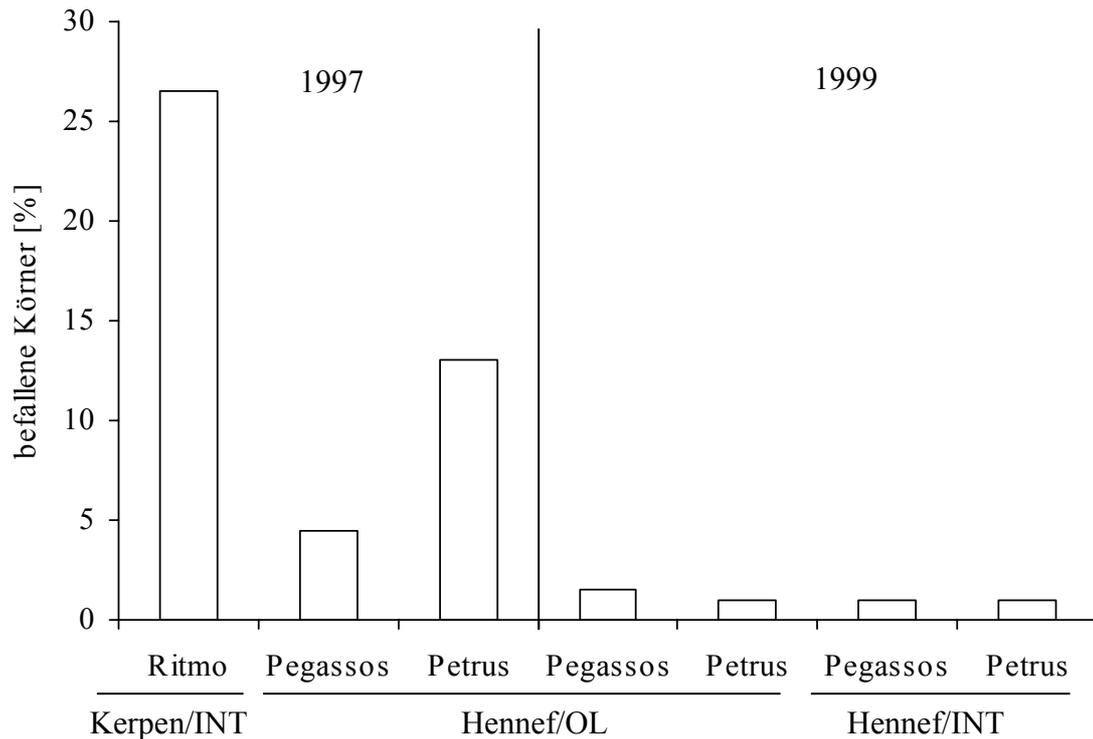


Abb. 8: Auftreten von *Microdochium nivale* an Kümmerkörnern der Sorten Ritmo, Petrus und Pegassos von den Standorten Kerpen-Buir und Hennef in den Jahren 1997 und 1999 (OL= Organischer Landbau; INT= integrierter Anbau).

3.1.2 Vergleich von zwei Methoden der Trichothecenbestimmung

Da mittels LC-MSMS mehrere Toxine in einem Durchlauf detektiert werden können und auch die Nachweisgrenze sehr niedrig ist, wurde ein Vergleich mit dem ansonsten standardmäßig angewendeten ELISA* durchgeführt. Da der ELISA-Test DON, 3-Acetyl-DON und 15-Acetyl-DON zusammen erfasst, wurden diese Trichothecene, die mittels LC-MSMS einzeln erfasst werden, für die Vergleichbarkeit der Daten summiert. Die untersuchten 57 Proben ohne zusätzliche Inokulation zeigten eine sehr enge Korrelation zwischen den erhobenen DON-Werten mit ELISA bzw. LC-MSMS ($r = 0,90$, Abb. 1). Im Durchschnitt wurden mit dem LC-MSMS, um 32 % niedrigere Werte gemessen als mit dem ELISA. Nur bei zwei Proben waren die LC-MSMS Werte um 30 $\mu\text{g}/\text{kg}$ höher als die mittels ELISA bestimmten Gehalte. Je höher die DON-Gehalte waren, desto größer waren die Abweichungen der DON-Werte zwischen den beiden Methoden.

*Die Bestimmung der DON-Gehalte mittels ELISA wurden von Frau Dr. B. Birzele, Abt. Landwirtschaftliche und Lebensmittel-Mikrobiologie, Institut für Pflanzenkrankheiten der Universität Bonn, vorgenommen

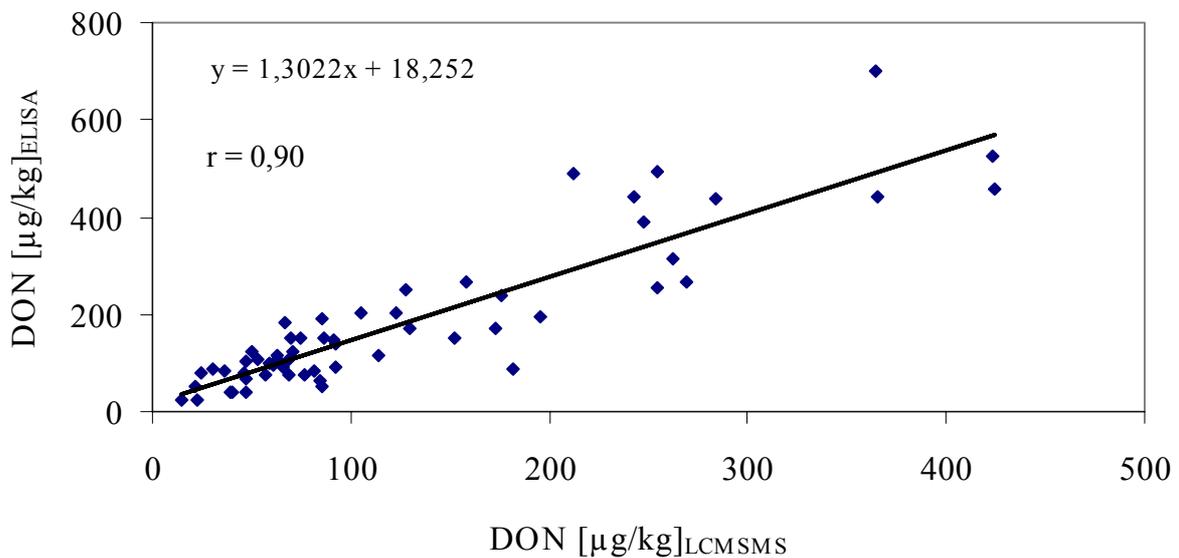


Abb. 1: Korrelation zwischen den mittels ELISA bzw. LC-MSMS quantifizierten Deoxynivalenol-Gehalten von Weizenkörnern (n = 57).

3.2 Einflussfaktoren auf das Auftreten von *Fusarium* spp. und *Microdochium nivale*

Für die Entwicklung einer Krankheit sind neben der Anfälligkeit der Wirtspflanzen das Vorhandensein eines Primärinokulums sowie befallbegünstigende Umweltbedingungen notwendig. Es gibt Einflussfaktoren wie Standort und Jahr, auf die kein Einfluss ausgeübt werden kann, aber auch beeinflussbare wie Anbausystem, Vorfrucht bzw. Fruchtfolge, die langfristig einen Einfluss auf die Befallsituation ausüben können. Zu den kurzfristigen Einflussfaktoren zählen die Bodenbearbeitung, Untersaat, Sortenwahl, Anbauintensität sowie Fungizidmaßnahmen zur direkten Bekämpfung. Im Folgenden wurde die Bedeutung der verschiedenen Faktoren für den Ährenbefall von Weizen näher untersucht.

3.2.3 Einfluss von Standort und Jahr

Das Vorkommen von *Fusarium* spp. und *Microdochium nivale* ist regional sehr unterschiedlich und abhängig von der Temperatur und Niederschlagsverteilung während der Vegetationszeit und nicht zuletzt vom Ausgangsinokulum an einem Standort. Daher wurde das Auftreten des Ährenbefalls an Standorten mit unterschiedlichen klimatischen Verhältnissen zum Teil mehrjährig untersucht, um die Bedeutung insbesondere der Umweltbedingungen erfassen zu können.

3.2.3.1 Bedeutung von Standortfaktoren

Das Auftreten von *Fusarium*-Arten und *M. nivale* variierte in Abhängigkeit von der jahreszeitlichen Witterung und dem Inokulumpotenzial in einem Jahr von Region zu Region. Im Jahr 1997 waren durchschnittlich 16 % der untersuchten Weizenkörner mit mykotoxinbildenden *Fusarium*-Arten und 14 % mit *M. nivale* infiziert. Der Befall variierte sowohl für *Fusarium* spp. als auch für *M. nivale* erheblich zwischen den Standorten (Abb. 9). Am Standort Kerpen-Buir und Wolfratsweiler war der Befall mit *Fusarium* spp. mit 34 % bzw. 32 % um das 10-fache höher als der am Standort Schöttlingen und Velbert mit 3 % bzw. 4 %. Das Befallsniveau von *Fusarium* spp. korrelierte nicht mit dem von *M. nivale* ($r = 0,2$, $p \geq 0,05$). An den Standorten Kerpen und Wolfratsweiler traten sowohl *Fusarium* spp. als auch *M. nivale* an 31 – 34 % bzw. an 25 – 29 % der Körner auf. In Velbert hingegen wurde nur von 3,5 % der Körner *Fusarium* spp., aber von 27 % *M. nivale*, isoliert.

Neben der Befallshäufigkeit von *Fusarium* spp. unterschied sich auch die Zusammensetzung der *Fusarium*-Arten zwischen den Standorten beachtlich (Abb. 10). An allen Standorten, mit Ausnahme von Schöttlingen, trat *F. avenaceum* auf. *F. poae* wurde an den Standorten Schöttlingen und Niedertrebra nicht aus dem Erntegut isoliert. In Kerpen-Buir und Velbert konnte dagegen *F. tricinctum* nicht nachgewiesen werden. Im Durchschnitt aller Standorte wurde *F. avenaceum* von 55 % der mit *Fusarium* spp. befallenen Körner isoliert, 14 % waren mit *F. graminearum*, 11 % mit *F. poae*, 8 % mit *F. tricinctum* und 6 % mit *F. culmorum* infiziert.

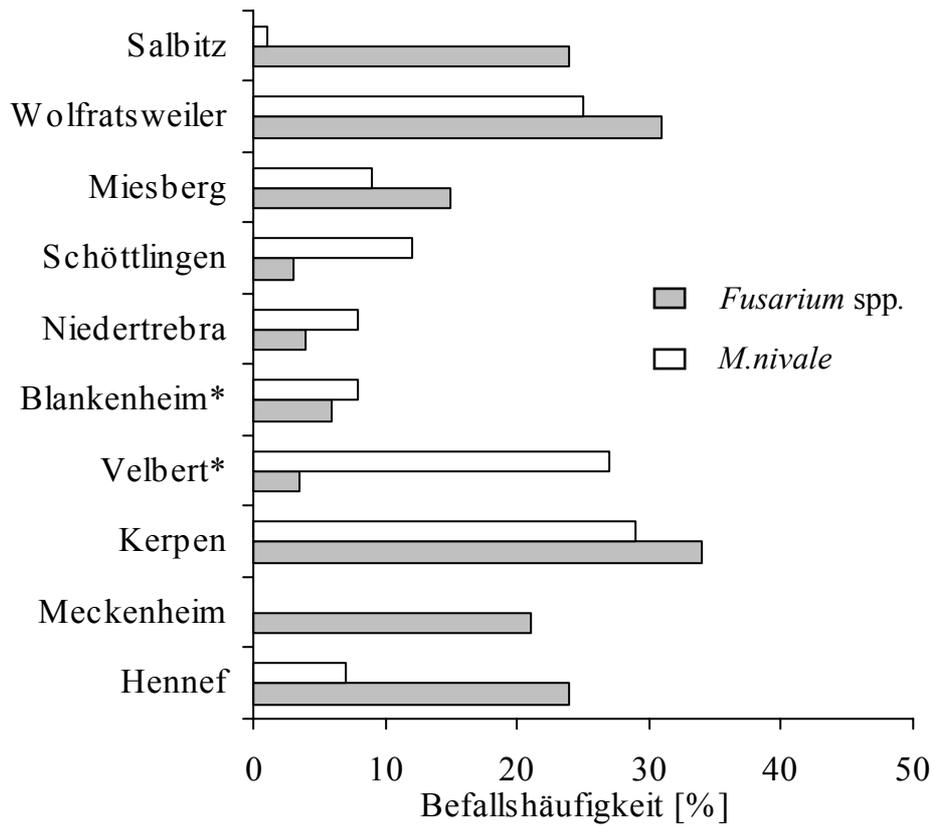


Abb. 9: Befallshäufigkeit von *Fusarium* spp. und *M. nivale* an Weizenkörnern von 10 Standorten in Deutschland, 1997 (Sorte 'Ritmo' oder 'Contra'; * Standorte des Organischen Landbaus).

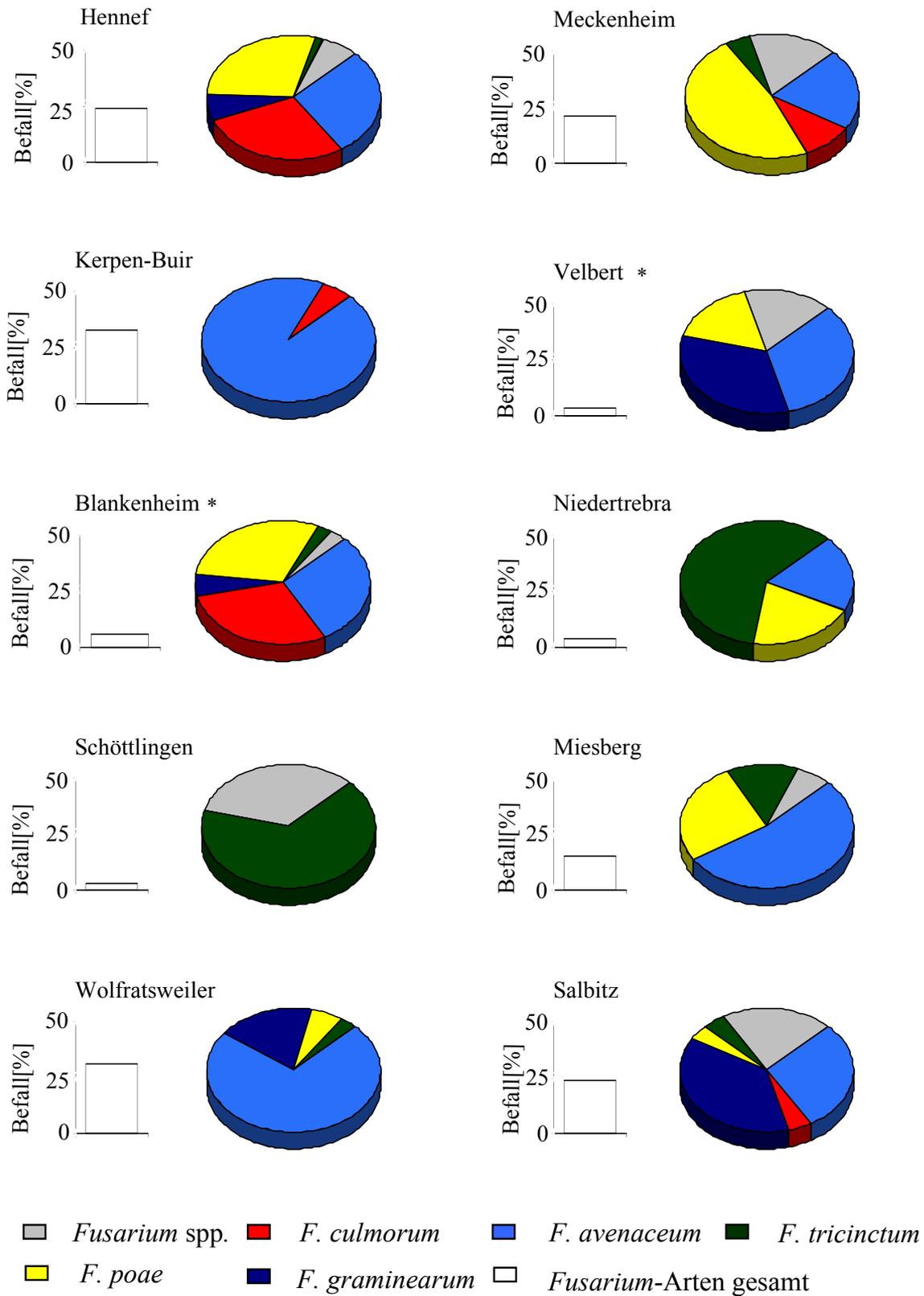


Abb. 10: Anteil der Fusarium-Arten am Gesamtbefall von Weizenkörnern an 10 Standorten in Deutschland im Jahr 1997 (Sorte 'Ritmo' oder 'Contra'; * Standorte des Organischen Landbaus).

3.2.3.2 Bedeutung des Jahres

Vorkommen und Intensität der Ährenfusariosen hängen stark von der Temperatur und der Niederschlagsverteilung während der Vegetationsperiode ab. Die Wahl der Standorte erfolgte aufgrund von Unterschieden in den klimatischen Bedingungen. In Tabelle 24 werden die Witterungsdaten der Standorte Hennef, Velbert, Blankenheim aus den Jahren 1997 - 1999 dargestellt und mit dem langjährigen Mittel verglichen. Die größte Bedeutung kommt der Niederschlagsmenge in den Monaten Mai und Juni zu, da in dieser Zeit (BBCH 49 – 75) die größte Infektionsgefahr für den Weizen besteht.

Tab. 24: Durchschnittliche Tagestemperaturen und Niederschläge der Monate April bis Juli an den Standorten Hennef, Velbert und Blankenheim in den Jahren 1997 - 1999.

Standort	April		Mai		Juni		Juli	
	Ø Temp. [C°]	Ndschl. [mm]						
1997								
Hennef	7,7	58	14,0	40	16,9	108	18,2	75
Velbert	8,5	58	13,2	93	16,2	135	17,7	58
Blankenheim	5,5	61	10,8	88	13,7	141	15,1	77
1998								
Hennef	10,2	39	15,5	102	16,8	127	16,6	69
Velbert	9,0	119	15,3	102	16,0	152	16,1	88
Blankenheim	6,6	83	12,7	69	14,6	86	14,3	35
1999								
Hennef	10,1	75	15,0	62	15,8	85	19,8	49
langjähriges Mittel								
Hennef	8,7	57	13,2	76	16,2	86	17,8	84
Velbert		69		73		96		89
Blankenheim		65		66		76		73

Die Niederschlagsmenge war 1997 am Standort Hennef im Mai geringer, im Juni höher als im langjährigen Mittel. An den Standorten Velbert und Blankenheim fielen im Mai bis Juni mehr Niederschlag als im langjährigen Mittel. Die Monate April und Juli waren 1998 am Standort Hennef trockener als das langjährige Mittel, im Mai und Juni regnete es dagegen mehr als im langjährigen Mittel. Am Standort Velbert war der Zeitraum April bis Juli feucht, 135 mm über dem langjährigen Mittel. Der Eifelstandort Blankenheim war im Vergleich zu den beiden anderen Standorten 1998 relativ trocken, in den Monaten April bis Juli fielen kaum mehr als

im langjährigen Mittel. 1999 war ein trockenes Jahr, nach einem noch recht nassen April folgten ein trockener Mai, durchschnittliche Niederschläge im Juni und ein sehr trockener und heißer Juli.

In Abbildung 11 sind die Niederschlagswerte und Temperaturen zum Zeitpunkt der Blüte, dem empfindlichsten Entwicklungsstadium des Weizens für eine Infektion für *Fusarium* spp. und *M. nivale*, der drei Standorte für die Jahre 1997 und 1998 dargestellt. Am Standort Velbert kam es in beiden Jahren zum Zeitpunkt der Blüte zu Niederschlägen von 28 – 34 mm und Durchschnittstemperaturen von 13,8 °C (1997) bzw. 12,7 °C (1998). In Blankenheim blühte der Weizen 1997 erst Ende Juni, wobei Niederschläge von 15 mm auftraten bei einer Temperatur von 12,7 °C. Im nächsten Jahr begann die Weizenblüte am 17. Juni. Mit nur 3 mm Niederschlag und Temperaturen um 16,8°C war es zu dieser Zeit sehr trocken und warm. Der Standort Hennef war in beiden Jahren zum Zeitpunkt der Blüte mit 31 mm (1997) bzw. 44 mm (1998) der niederschlagsreichste. Dabei fielen 1997 zu Beginn der Blüte 25 mm an einem Tag, darauf folgte eine Trockenperiode mit durchschnittlichen Temperaturen von 19,2 °C. Die Temperaturen lagen 1998 durchschnittlich bei 15,8 C. Am Standort Hennef blühte der Weizen 1999, trotz geringer Temperaturen von 13,9 °C und Niederschlagswerten von nur 7,8 mm, sehr früh.

Das häufigste Pathogen an den Weizenkörnern war *M. nivale* mit durchschnittlich 15 % Befallshäufigkeit über alle Standorte und Jahre (Abb. 12). Im Vergleich dazu traten die *Fusarium*-Arten mit 7,5 % nur halb so häufig auf. Eine Ausnahme stellte der Standort Blankenheim dar, wo der Befall mit *M. nivale* 1997 gleich hoch bzw. 1998 niedriger war als der mit *Fusarium* spp..

Im Jahr 1997 war Weizen am Standort Velbert mit 26 % signifikant stärker mit *M. nivale* befallen als an den beiden anderen Standorten. Die Befallshäufigkeit am Standort Hennef war mit 15 % befallenen Körnern zudem signifikant höher als am Standort Blankenheim mit 4 %. Die drei Standorte unterschieden sich 1998 ebenfalls signifikant. Am Standort Hennef wies der Weizen mit 33 % eine höhere Befallshäufigkeit mit *M. nivale* auf als in Velbert mit 13 %. Wiederum wies Weizen am Standort Blankenheim den signifikant geringsten Kornbefall auf. An diesem Standort unterschied sich die niedrige Befallshäufigkeit zwischen den Jahren 1997 (4 %) und 1998 (1 %) nicht signifikant voneinander. Hingegen lagen für die Standorte Hennef und Velbert zwischen 1997 und 1998 signifikante Unterschiede in der Befallshöhe vor. 1999 trat *M. nivale* am Standort Hennef mit 1% nur sehr selten auf.

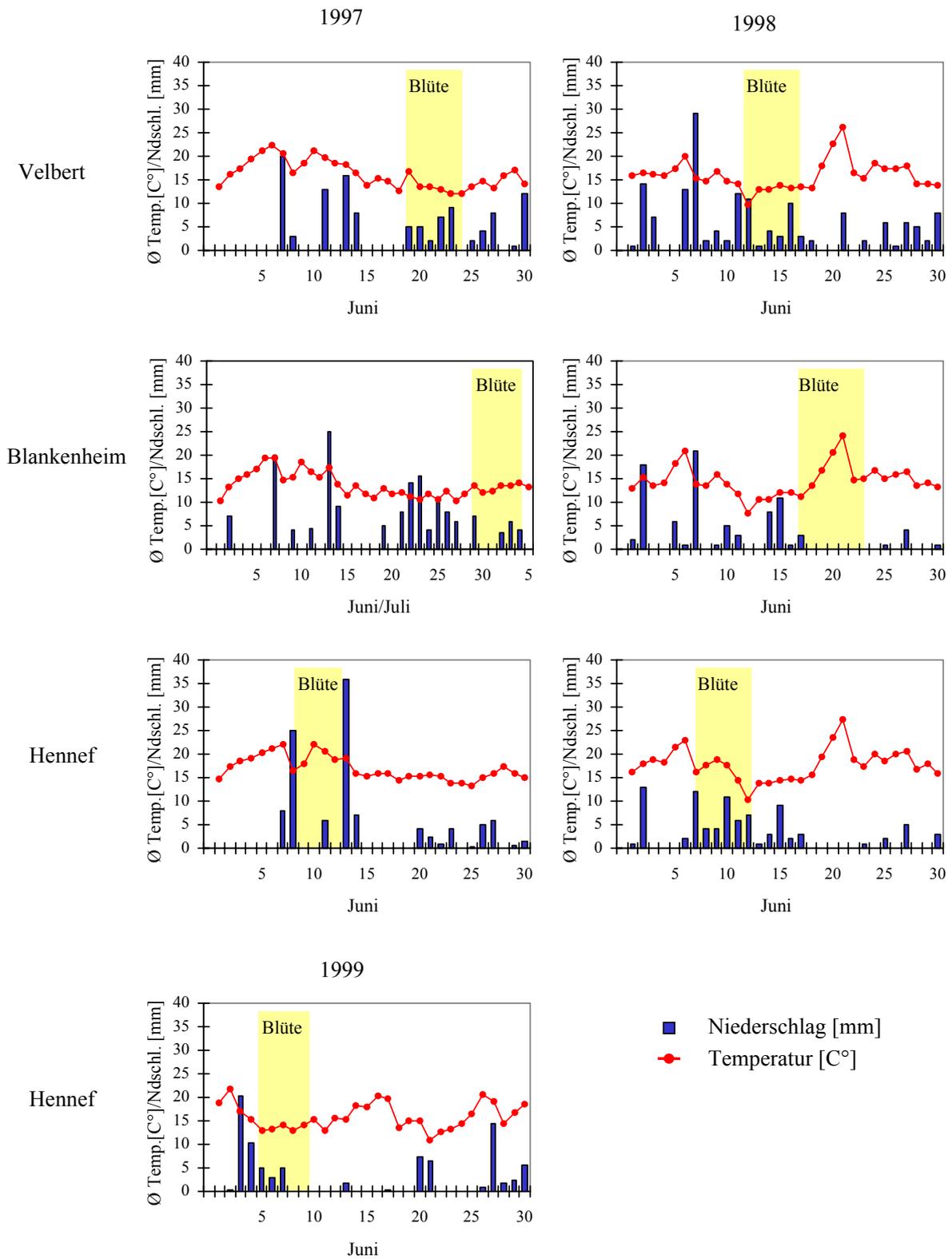


Abb. 11: Tagessummen der Niederschläge und durchschnittliche Tagestemperaturen des Monats Juni zum Zeitpunkt der Weizenblüte an den Standorten Velbert, Hennef und Blankenheim in den Jahren 1997, 1998 und 1999 (nur Hennef).

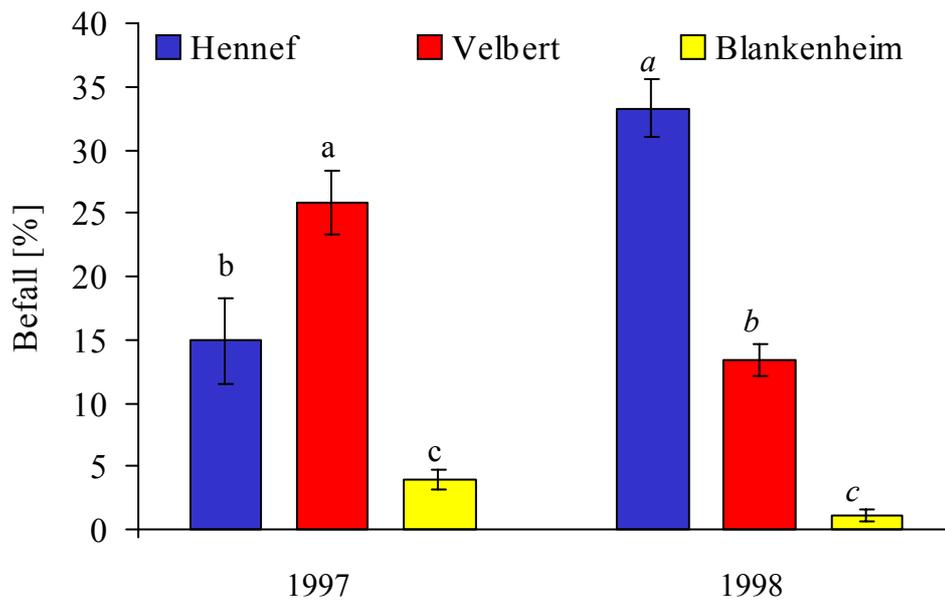


Abb. 12: Befallshäufigkeit von *M. nivale* an Körnern von Winterweizen des Organischen Landbaus an den Standorten Hennef, Velbert und Blankenheim in den Jahren 1997 und 1998 (Mittelwert der Sorten 'Ambras', 'Astron', 'Batis', 'Carolus', 'Pegassos', 'Toronto'; Säulen mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant; Tukey-Test, $p \leq 0,05$).

Die Befallshäufigkeit von *Fusarium* spp. war 1998 mit durchschnittlich 10,5 % an allen drei Standorten signifikant höher als 1997 mit 4,3 % (Abb. 13). Weizen am Standort Hennef wies mit 10 % in beiden Jahren gegenüber den Körnern aus Velbert (7 %) und Blankenheim (5 %) einen signifikant höheren Befall auf. Ein Unterschied zwischen dem Befall in Blankenheim und Velbert konnte nicht festgestellt werden.

Die Befallshäufigkeit von *Fusarium* spp. lag 1997 am Standort Hennef mit 7 % signifikant höher als am Standort Velbert mit 2 %; das *Fusarium*-Auftreten in Blankenheim lag mit 3 % zwischen dem der beiden anderen Standorte. Im zweiten Jahr waren die Weizenkörner vom Standort Blankenheim mit 6 % signifikant weniger mit *Fusarium* spp. befallen als die in Hennef mit 13 % und Velbert mit 12 %. Der *Fusarium*-Befall der Körner war im feuchtem Jahr 1998 in Hennef und Velbert signifikant höher als 1997, am Standort Blankenheim blieb der Befallsunterschied zwischen den beiden Jahren mit 3 % gering. In Hennef wurde im trockenen Jahr 1999 mit 4 % für die dreijährigen Untersuchungen die geringste Befallshäufigkeit ermittelt.

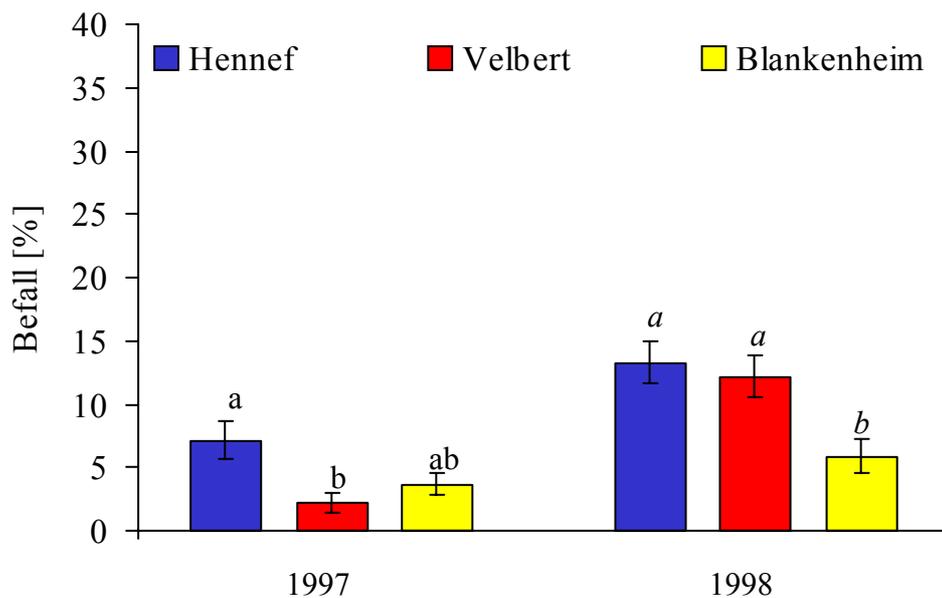


Abb. 13: Befallshäufigkeit von *Fusarium* spp. an Körnern von Winterweizen des Organischen Landbaus an den Standorten Hennef, Velbert, Blankenheim in den Jahren 1997 und 1998 (Mittelwert der Sorten 'Ambras', 'Astron', 'Batis', 'Carolus', 'Pegassos', 'Toronto'; Säulen mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant; Tukey-Test ; $p \leq 0,05$).

Die Belastung der Proben von den drei Standorten mit dem Mykotoxin Deoxynivalenol war mit 107 $\mu\text{g}/\text{kg}$ im Jahr 1997 signifikant niedriger als 1998 mit 276 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (Abb.14). Im ersten Jahr erreichte die Belastung an allen Standorten um 100 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Im Jahr 1998 war die Belastung der Körner in Hennef mehr als dreimal, in Velbert viermal so hoch wie im Vorjahr. Die DON-Gehalte waren in diesem Jahr an den Standorten Hennef und Velbert signifikant höher als in Blankenheim.

Am Standort Blankenheim blieb die DON-Belastung der Körner in beiden Jahren annähernd gleich. Hingegen war sie an den Standorten Hennef und Velbert 1998 signifikant höher als 1997. Im Durchschnitt der beiden Jahre erreichte die Belastung mit DON in Hennef und Velbert 206 bzw. 272 $\mu\text{g}/\text{kg}$, im Vergleich dazu lag sie in Blankenheim, wie auch der Befall mit *Fusarium* spp. und *M. nivale*, mit durchschnittlich 95 $\mu\text{g}/\text{kg}$ wesentlich niedriger. Am Standort Hennef wurde 1999 mit 43 $\mu\text{g}/\text{kg}$ der geringste DON-Gehalt aller untersuchten Jahre ermittelt.

In allen Jahren traten die mykotoxinbildenden *Fusarium*-Arten *F. avenaceum*, *F. poae* und *F. graminearum* an den Weizenkörnern auf allen Standorten auf (Abb. 15). In Velbert kamen 1997 *F. culmorum* und *F. tricinctum* nicht vor; *F. tricinctum* fehlte auch 1998 in Velbert.

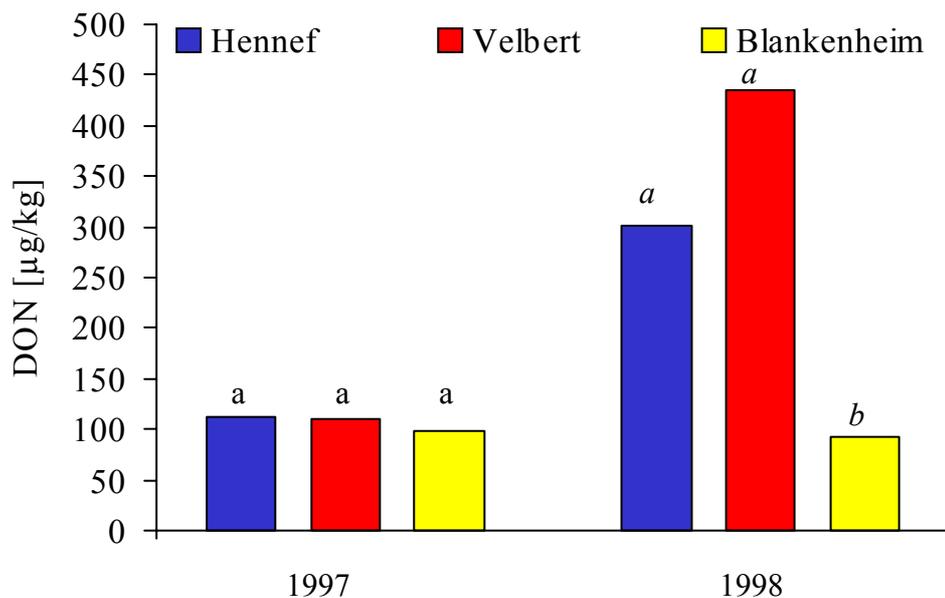


Abb. 14: Belastung von Weizenkörnern des Organischen Landbaus mit dem Mykotoxin Deoxynivalenol an den Standorten Hennef, Velbert und Blankenheim in den Jahren 1997 und 1998 (Mittelwert der Sorten 'Ambras', 'Astron', 'Batis', 'Carolus', 'Pegassos', 'Toronto'; Balken mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant; Tukey-Test, $p \leq 0,05$).

F. avenaceum machte in allen Jahren und auf allen Standorten mindestens ein Viertel des Befalls aller *Fusarium*-Arten aus. Im ersten Untersuchungsjahr war die Zusammensetzung des Artenspektrums an den Standorten Hennef und Blankenheim annähernd gleich. *F. avenaceum*, *F. poae* und *F. culmorum* hatten einen Anteil von etwa 25 % am *Fusarium*-Spektrum. *F. graminearum* trat an 5 – 7 %, *F. tricinctum* an 2 – 3 % der befallenen Körner auf. Im Vergleich dazu waren am Standort Velbert bei der sehr niedrigen Befallshäufigkeit von 2 % weder *F. culmorum* und *F. tricinctum* vertreten. Im Folgejahr war das Befallsniveau an allen Standorten höher und *F. avenaceum* machte mehr als 50 % der auftretenden *Fusarium*-Arten aus. Nur am Standort Hennef traten *F. avenaceum* (39 %), *F. culmorum* (31 %) und *F. graminearum* (23 %) zu fast gleichen Anteilen auf, dagegen trat *F. poae* nur an 2 % der infizierten Körner auf. 1999 war die Befallshäufigkeit mit 3 % sehr gering. Die Hälfte der befallenen Körner war mit *F. poae* infiziert, der übrige Teil teilte sich mit 30 % bzw. 10 % und 7 % auf *F. avenaceum*, *F. culmorum* und *F. graminearum* auf.

Die Variabilität des Befalls und der Mykotoxinbelastung der Weizenkörner mit *Fusarium* spp. und *M. nivale* in den Jahren 1997 bis 1999 ist in Abbildung 16 für den Standort Hennef dargestellt. Im Jahr 1997 waren im Sortendurchschnitt 15 % der Körner mit *M. nivale* und 7 % mit *Fusarium* spp. befallen und wiesen einen DON-Gehalt von 111 µg/kg auf. Im

folgenden Jahr erreichte der Befall mit *M. nivale* 34 %, mit *Fusarium* spp. 14 % und der DON-Gehalt lag um 200 µg/kg über dem des Vorjahrs. 1999 war im Vergleich dazu ein sehr trockenes Jahr mit einem geringen Befall: *M. nivale* trat mit einer Befallshäufigkeit von 1 % nur vereinzelt auf, *Fusarium* spp. nur an 3,5 % der Körner, der durchschnittliche DON-Gehalt erreichte lediglich 43 µg/kg.

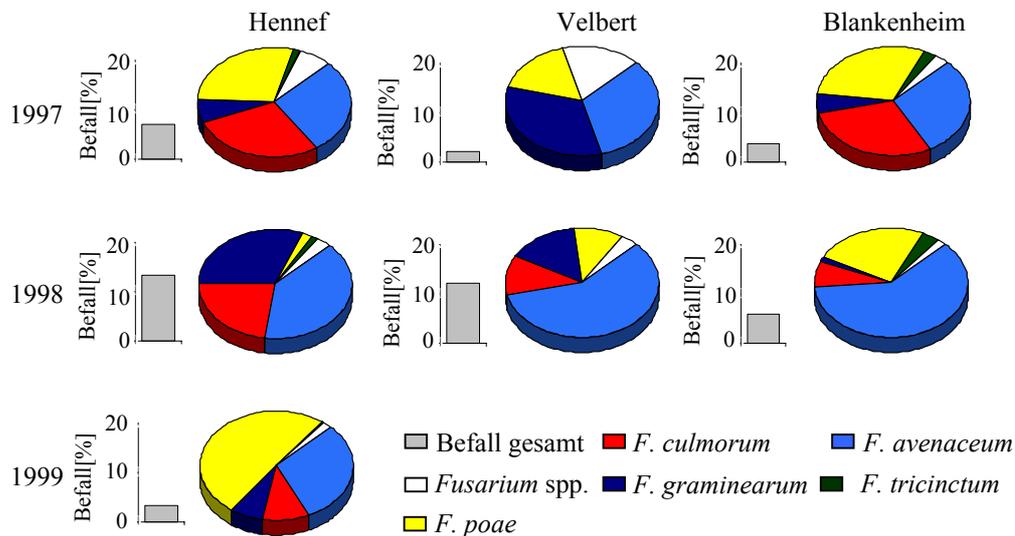


Abb. 15: Anteil der verschiedenen *Fusarium*-Arten am Gesamtbefall der Weizenkörner im Organischen Landbau an den Standorten Hennef, Velbert und Blankenheim in den Jahren 1997 - 1999.

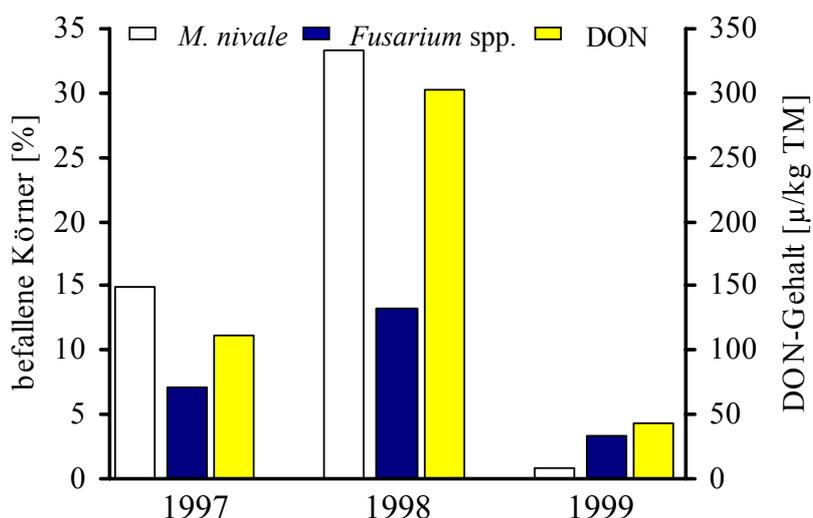


Abb. 16: Einfluss des Jahres auf die Befallshäufigkeit mit *M. nivale* und *Fusarium* spp. und den DON-Gehalt von Körnern von Winterweizen im Organischen Landbau am Standort Hennef in den Jahren 1997 - 1999 (Mittelwerte der Sorten: 'Ambras', 'Astron', 'Batis', 'Carolus', 'Pegassos', 'Toronto')

3.2.4 Einfluss anderer Krankheitserreger auf den Ährenbefall

Um den Einfluss anderer Krankheitserreger auf das Auftreten von *Fusarium*-Arten und *Microdochium nivale* an Weizenähren beurteilen zu können, wurde der Befall von Halm- und Blattkrankheitserregern vom Entwicklungsstadium BBCH 32 an bis zur Teigreife erfasst. Mittels Feldbonituren wurde der Befall von *Pseudocercospora herpotrichoides*, *Blumeria graminis*, *Septoria* spp., und *Puccinia* spp. bestimmt.

Pseudocercospora herpotrichoides

Am Standort Hennef trat Halmbruch durch *P. herpotrichoides* 1997 auf den Flächen mit organischer Bewirtschaftung an 9 % und 1998 an 22 % der Halme auf, dies war unter der für den integrierten Landbau angewendeten erregerspezifischen Bekämpfungsschwelle von 25 % befallener Halme. 1999 wurde die Schwelle von 25 % in Hennef erreicht. An den Standorten Blankenheim und Velbert lag der Befall mit *P. herpotrichoides* 1997 und 1998 unter 1 %.

Auf den Flächen mit integrierter Bewirtschaftung wurde hingegen in allen drei Jahren die Bekämpfungsschwelle erreicht (1997 mit 25 %) bzw. überschritten (1998 und 1999 mit 29 % bzw. 32 %). Am Standort Hennef waren Kartoffeln in beiden Bewirtschaftungssystemen die Vorfrucht, im Organischen Landbau war jedoch der Getreideanteil in der Fruchtfolge geringer.

Der Befall von 14 Sorten mit *P. herpotrichoides* variierte 1999 am Standort Hennef zwischen 0 – 40 % im Organischen Landbau und 0 – 60 % im integrierten Landbau erheblich und erreichte damit zum Teil ein hohes Niveau. Ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten von *Fusarium* spp. bzw. *M. nivale* und *P. herpotrichoides* an der Halmbasis konnte jedoch nicht festgestellt werden. Über alle Sorten erreichte die Korrelation zwischen dem Halmbefall mit *P. herpotrichoides* und den *Fusarium*-Arten bzw. *M. nivale* einen Korrelationskoeffizienten von $r = 0,1$.

Blumeria graminis

Der Erreger des Echten Mehltaus trat 1997 an allen Standorten des Organischen Landbaus an Blättern nur vereinzelt mit einer Befallsstärke von < 1 % auf. Im nächsten Jahr wurde der Schaderreger zu BBCH 37 zu 9 % am Standort Hennef und zu 5 % am Standort Blankenheim festgestellt. Spätere Bonituren zu BBCH 65 und BBCH 75 - 85 zeigten, dass es zu keiner epidemischen Ausbreitung kam. Die befallene Blattfläche auf den Blattetagen F-3 und F-2 erreichte 10 % bzw. nur 3,5 %, das Fahnenblatt blieb befallsfrei. Die Sorte 'Bold' war an

allen Standorten mit durchschnittlich 2 % gegenüber den anderen Sorten (\bar{O} 5 – 20 %) weniger anfällig. Am Standort Velbert lag der Blattbefall mit *B. graminis* auch 1998 unter 1 %. 1999 wurde *B. graminis* im Organischen Landbau wie auch im integrierten Anbau nur vereinzelt nachgewiesen.

Da der Erreger in den untersuchten Jahren und Standorten nur selten auf den Blattetagen F-1 und dem Fahnenblatt erfasst wurde, konnte kein Zusammenhang zwischen dem Auftreten von *Fusarium* spp. oder *M. nivale* auf den Blättern und *B. graminis* ermittelt werden.

Septoria-Arten

In den Jahren 1997 - 1999 trat *Septoria tritici* an allen Standorten des Organischen und des integrierten Landbaus an den ertragsrelevanten Blattetagen auf. *Septoria nodorum* trat in allen Jahren und an allen Standorten nur vereinzelt auf. Die Sorten 'Astron', 'Batis', 'Carolus', 'Pegassos' wurden an allen Standorten und Jahren untersucht (Tab. 25). Zu BBCH 37 - 49 trat der Erreger nur sporadisch auf. Im weiteren Verlauf der Vegetation breitete sich der Befall auf die oberen Blattetagen aus. Das Fahnenblatt wurde in allen Jahren und Standorten mit 0 – 3 % nur gering befallen. Die Blattetage F-1 war in den Jahren 1997 - 1999 am Standort Hennef mit durchschnittlich 2 – 4 % befallen. Am Standort Velbert wiesen die Sorten 1997 und 1998 mit 1 % an F-1 und 1 – 5 % an F-2 den geringsten Befall auf. Am stärksten trat der Erreger in diesen Jahren mit 7 - 8 % befallener Blattfläche an F-2 an den Standorten Hennef und Blankenheim auf.

Um einen möglichen Zusammenhang zwischen dem Auftreten von *Septoria tritici* und *Fusarium* spp. oder *M. nivale* auf dem Blatt zu erfassen, wurde deren Befallshäufigkeit auf den Blattetagen Fahnenblatt und F-1 mit der mit *Septoria* befallenen Blattfläche dergleichen Blattetage korreliert. Hierfür wurden alle untersuchten Sorten miteinbezogen (n = 10 - 16, je Jahr und Standort). Die Korrelationsanalyse über die Sorten zeigte für die der einzelnen Jahre und Standorte keinen Zusammenhang wie auch keinen Antagonismus zwischen dem Auftreten von *S. tritici* und *Fusarium* spp. auf Weizenblättern. Am Standort Hennef war 1998 mit 30 % z.B. ein hoher Befall mit *Fusarium* spp. vorhanden, die Blattfläche mit *S. tritici* lag dagegen nur bei 8 %. Umgekehrt wurde in Blankenheim 1997 auf 24 % der Blätter *S. tritici* nachgewiesen, hingegen trat *Fusarium* spp. nur an 10 % auf.

Tab. 25: Durchschnittlicher Befall der Weizensorten 'Ástron', 'Batis', 'Carolus', 'Pegassos' mit *Septoria tritici* zu BBCH 75 - 85 im Organischen Landbau in den Jahren 1997 - 1999.

Standort	Blatttage	befallene Blattfläche [%]		
		1997	1998	1999
Hennef	F	0 (0)	2 (0-3)	1 (0-3)
	F-1	4 (0-12)	6 (0-12)	8 (2-20)
	F-2	16 (0-30)	14 (8-22)	10 (2-26)
Velbert	F	0 (0-0,5)	0 (0)	n.u.
	F-1	2 (0-10)	2 (0-6)	n.u.
	F-2	2 (0-14)	10 (0-12)	n.u.
Blankenheim	F	6 (2-14)	2 (0-4%)	n.u.
	F-1	16 (0-36)	14 (2-20)	n.u.
	F-2	nekrotisiert	nekrotisiert	n.u.

n.u. = nicht untersucht; ()-Werte in der Klammer sind Minimum- und Maximum-Werte

Der Blattbefall mit *M. nivale* und *S. tritici* korrelierte am Standort Hennef 1998 mit $r = 0,61$ ($p \leq 0,05$) bei einer hohen Infektionsrate mit *M. nivale* von 27,5 % und einem vergleichsweise niedrigem Vorkommen von *S. tritici* mit 8 %. Am Standort Velbert war der Befall mit *M. nivale* von 26 % ähnlich hoch, hingegen waren nur 3 % der Blattfläche mit *S. tritici* befallen.

Puccinia recondita

An den Standorten Velbert und Blankenheim trat Braunrost durch *P. recondita* in den Jahren 1997 und 1998 nur vereinzelt auf; der höchste Befall wurde 1998 in Blankenheim 3 % auf der Blatttage F-1 erreicht. In Hennef war *P. recondita* in allen Jahren an den Weizenblättern nachzuweisen (Tab. 26). Erste Befallssymptome traten 1997 und 1999 zu BBCH 41 auf, der Befall breitete sich anschließend epidemisch aus, so dass zu BBCH 85 bis zu 50 % der Blattfläche der oberen Blatttagen einiger Weizensorten befallen waren. 1998 traten die ersten Befallssymptome erst zu BBCH 61 auf. Trotzdem waren zu BBCH 85 bis zu 43 % der Blattfläche einiger Sorten befallen. Das Auftreten von *P. recondita* war mit dem Vorkommen von *Fusarium* spp. bzw. *M. nivale* auf den Blättern in befallsstarken Jahren wie 1998, als beide Erreger massiv auftraten, mit $r = -0,7$ bzw. $-0,8$ negativ korreliert.

Tab. 26: Durchschnittlicher Befall der Weizensorten 'Ástron', 'Batis', 'Carolus', 'Pegassos' mit *Puccinia recondita* auf den drei obersten Blattetagen zu BBCH 75 – 85, im Organischen Landbau am Standort Hennef in den Jahren 1997-1999.

Blatttage	Befall [%]					
	1997		1998		1999	
Fahnenblatt	0	(0)	3	(0-11)	7	(0-10)
Fahnenblatt-1	10	(1-25)	12	(0-28)	8	(0-19)
Fahnenblatt-2	14	(0-45)	24	(5-43)	31	(7-50)

Zahlen in Klammern geben Maximum und Minimum an

Puccinia striiformis

Gelbrost durch *P. striiformis* trat nur 1999 am Standort Hennef auf. Die ersten Blattsymptome wurden zu BBCH 49 nachgewiesen. Zu BBCH 85 waren sortenabhängig bis zu 34 % der Blattfläche mit Pusteln von *P. striiformis* besiedelt.

Eine Korrelation des Befalls mit *P. striiformis* und *Fusarium* spp. bzw. *M. nivale* war nicht möglich, da das Befallsniveau von *P. striiformis* zu gering war.

3.2.5 Einfluss der Inokulumquelle auf die Befallsentwicklung

Gezielte Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Reduzierung des Kornbefalls mit mykotoxinbildenden *Fusarium*-Arten bzw. *M. nivale* sind erst möglich, wenn die Quellen des Primärinokulums bekannt sind. Als Inokulumquelle kommen das Saatgut, die Erntereste und auch die Begleitflora in Frage. Dafür wurde das ungebeizte Saatgut vor der Aussaat und die organischen Partikel von der Bodenoberfläche auf *Fusarium*- bzw. *M. nivale*-Befall untersucht. Die in Weizenbeständen vorhandenen Begleitflora-Samen wurden vor der Getreideernte geerntet und ebenfalls auf *Fusarium*-Kontamination untersucht.

3.2.5.1 Saatgut

In den folgenden Untersuchungen sollte festgestellt werden, ob ein Zusammenhang zwischen dem Saatgutbefall und dem nachfolgenden Ährenbefall besteht. Hierfür wurde das ungebeizte Z-Saatgut auf Befall mit *Fusarium* spp. und *M. nivale* untersucht und nach der Vegetationsperiode mit dem Befall des Erntegutes verglichen (Abb. 19).

In den Jahren 1998 und 1999 wurde der Einfluss des unterschiedlichen Saatgutbefalls von 11 bzw. 12 Winterweizensorten untersucht. Das Saatgut war 1998 bis zu 44 % mit *Fusarium* spp.

bzw. bis zu 41 % mit *M. nivale* befallen (Abb.17 und 18). Der hohe *M. nivale*-Befall führte 1998 im Organischen Landbau an den Standorten Hennef und Velbert zu einem stark verminderten Feldaufgang, wobei zwischen Befall und Bestandesdichte eine Korrelation von $r = -0,88$ ($p \leq 0,01$; $n = 11$) vorlag. Hingegen hatte der Besatz mit *Fusarium* spp. keinen Einfluss auf den Feldaufgang ($r = 0,23$, $p \geq 0,05$; $n = 11$)

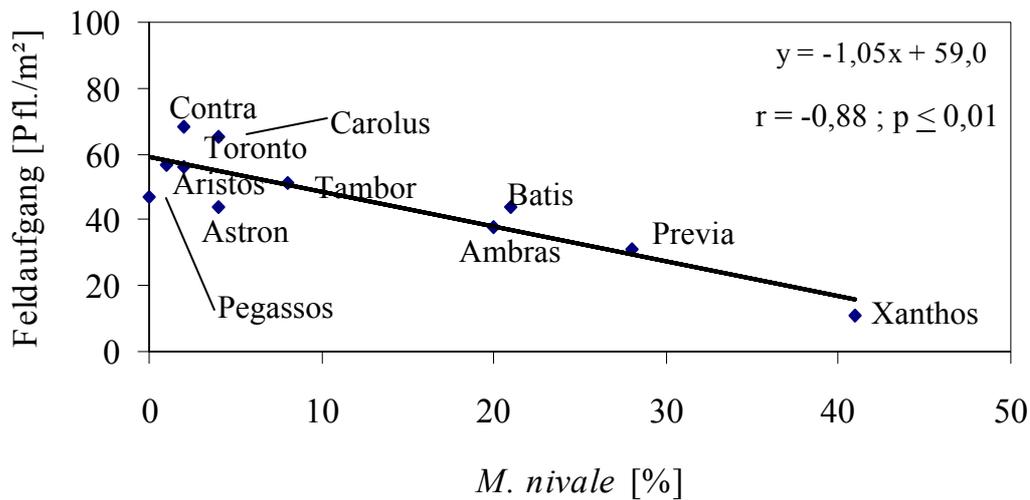


Abb. 17: Einfluss des Saatgutbefalls mit *M. nivale* auf den Feldaufgang von Winterweizen im Organischen Landbau (Velbert, 1998).

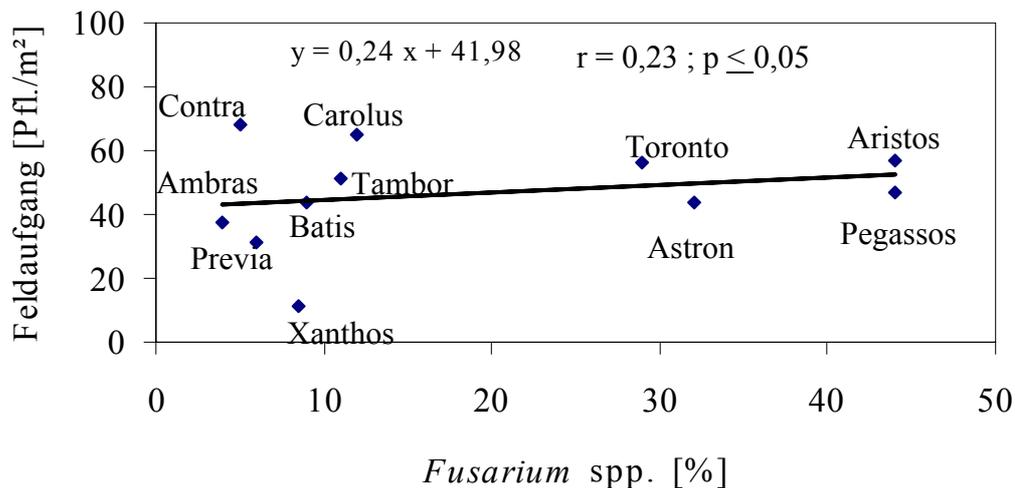


Abb. 18: Einfluss des Saatgutbefalls mit *Fusarium* spp. auf den Feldaufgang im Organischen Landbau (Velbert, 1998).

Die Zusammensetzung der *Fusarium*-Arten, die 1998 am Saatgut auftraten, wich stark von der des Ernteguts ab (Abb. 19). Während am Saatgut insbesondere *F. tricinctum* und *F. sporotrichioides* auftraten, wurden beide Arten vom Erntegut nicht bzw. nur vereinzelt isoliert. Es konnte keine Korrelation zwischen dem Auftreten von *Fusarium* spp. und *M. nivale* an Saatgut und Erntegut ($r = 0 - 0,02$; $n = 11$; $p \geq 0,05$) festgestellt werden. Im Jahr 1999 waren durchschnittlich 12 % der Körner des Z-Saatguts mit *Fusarium* spp. befallen, wobei bei einzelnen Sorten bis zu 55 % der Körner befallen waren. *M. nivale* wurde durchschnittlich an 5 % der Körner, maximal an 25 % bei der Sorte 'Carolus', isoliert. Die Zusammensetzung der einzelnen *Fusarium*-Arten am Saatgut korrelierte trotz einer größeren Übereinstimmung mit der des Ernteguts nicht ($r = 0$ bis $0,2$; $p \geq 0,05$; $n = 12$).

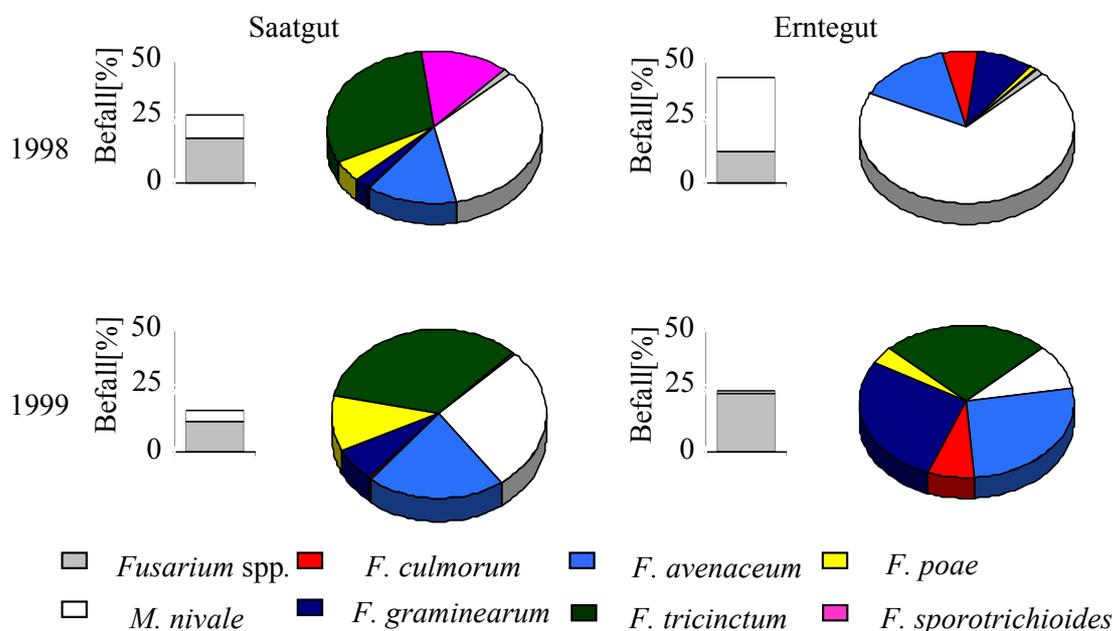


Abb. 19: Auftreten der verschiedenen *Fusarium*-Arten und *Microdochium nivale* am Saatgut und Erntegut von Winterweizen (Sorten: 'Astron', 'Ambras', 'Carolus', 'Batis', 'Contra', 'Pegassos', 'Toronto') am Standort Hennef im Jahr 1998 und 1999.

3.2.5.2 Ernterückstände auf dem Boden

Um die Bedeutung des Bodens als Inokulum-Quelle zu erfassen, wurden verschiedene Methoden verglichen, mit denen *Fusarium* spp. und *M. nivale* aus dem Boden isoliert werden kann. Wichtig war, möglichst das gesamte *Fusarium*-Artenspektrum isolieren zu können. Weiterhin wurde das auf dem Boden vorhandene Inokulum erhöht, in dem mit *Fusarium* spp. bewachsene Körner in den Weizenbestand ausgebracht wurden. Der Befall des Ernteguts - nach Erhöhung des Infektionsdrucks - wurde für einen Vergleich der verschiedenen

Inokulationsmethoden mit dem nach einer Sprühinokulation mit *Fusarium*-Sporen in die Ähre und ohne Inokulation verglichen.

Verglichen wurden fünf Isolierungs-Methoden an einer Bodenmischung ohne Inokulation und einer mit einer zusätzlichen Inokulation mit *F. culmorum*. Die Verfahren setzten sich zusammen aus direkten Methoden, wie der Isolierung von ausgewaschenen organischen Partikeln oder ausgestanzten Boden-Pellets oder dem Ausplattieren der Bodenlösung auf CZID-Agar. Des Weiteren wurden indirekten Methoden angewandt, wie der Ködertest, bei dem totautoklavierte Körner als Köder verwendet wurden, oder der Keimlingstest, bei dem der *Fusarium*-Befall an jungen, in den zu untersuchenden Boden gesäten Pflanzen ermittelt wurde.

Mit dem Ziel einer maximalen Isolierungshäufigkeit schieden zum einen die Boden-Pellets aus, da aus dem Boden ohne Inokulation *Fusarium* spp. nicht isoliert werden konnte (Abb. 20). Auch die Verwendung von Weizenkeimlingen war ungeeignet, da aufgrund des starken Auftretens von anderen Pathogenen ebenfalls kein *Fusarium* spp. isoliert werden konnte. Diese Methode setzte zudem voraus, dass pathogenfreies Saatgut vorhanden ist.

Wesentlich besser geeignet waren die Isolierung von *Fusarium* spp. von organischen Partikeln aus dem Boden und der Ködertest mit autoklavierten Körnern. Die Isolierungsrate von *Fusarium* spp. von den organischen Partikeln aus nicht inokuliertem Boden war mit 18 % höher als die mit der Ködermethode mit 9 %. Aus dem inokulierten Boden wurden dagegen bei beiden Methoden Isolierungsraten von über 80 % erreicht. Bei der Differenzierung der *Fusarium*-Arten zeigte sich, dass mit den verschiedenen Methoden unterschiedliche Arten selektiert wurden. Mit dem Ködertest wurden nur *F. culmorum*, *F. graminearum* und *M. nivale* isoliert. Hingegen konnte *F. avenaceum* nur von der organischen Substanz der Bodenpartikel isoliert werden. Eine weitere Möglichkeit war die Isolierung von *Fusarium*-Vermehrungseinheiten über eine Verdünnungsreihe aus der Bodenlösung. Allerdings wurde hier aufgrund der starken Konkurrenz anderer Mikroorganismen nur selten *Fusarium* spp. (4 %) isoliert.

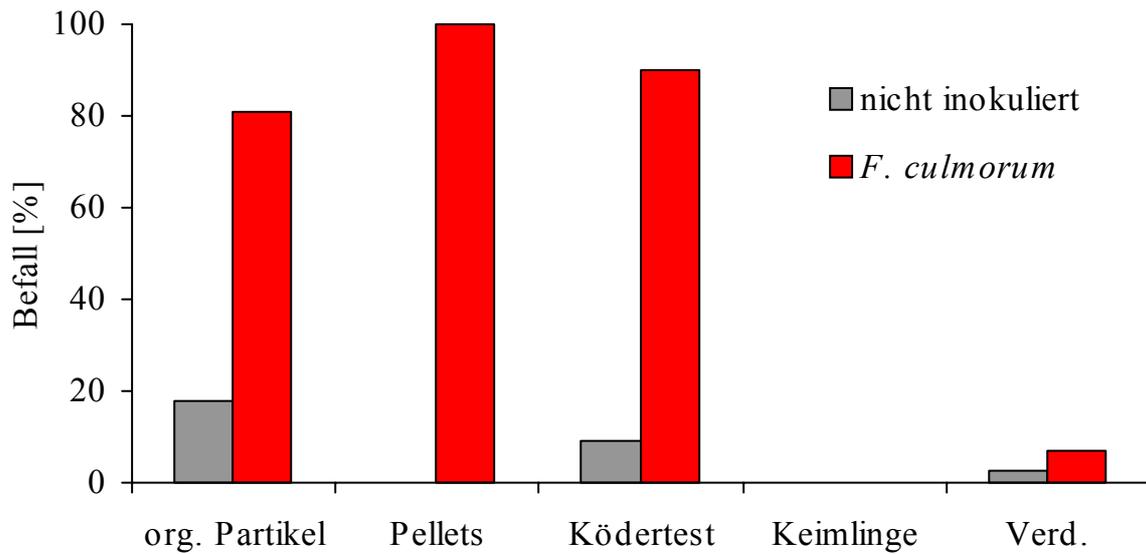


Abb. 20: Einfluss der Methode auf die Isolierungsrate von *Fusarium culmorum* aus dem Boden (Verd.= Verdünnungsreihe der Bodenlösung).

Inokulumpotential des Bodens

Der Anteil der organischen Substanz aus der oberen Bodenschicht variierte abhängig von der Vorfrucht zwischen 150 und 1136 Partikeln/kg Boden, die durchschnittliche Anzahl lag bei 580 Partikeln/kg Boden. In der groben Fraktion (20 – 2 mm) waren weniger Partikel vorhanden als in der feinen (2 - 0,8 mm). Im Durchschnitt der fünf Standorte waren 1998 8 % der Bodenpartikel mit *Fusarium* spp. kontaminiert, wobei der Anteil an infizierter organischer Substanz in der feinen Fraktion 6 % erreichte, in der groben Fraktion 2 %.

Folgende Arten wurden sowohl aus dem Boden wie auch von den Körnern isoliert: *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. poae* und *F. tricinctum*. Den größten Anteil machte *F. avenaceum* sowohl im Boden als auch am Erntegut aus (Abb. 21). Hingegen wurde *F. poae* nur vereinzelt aus dem Boden isoliert, trat aber am Erntegut häufiger auf. Spektrum und Häufigkeit der *Fusarium*-Arten, die von der organischen Substanz isoliert wurden, und der Befall der geernteten Körner waren eng miteinander korreliert. Je nach untersuchtem Standort lag die Korrelation zwischen $r = 0,98$ und $r = 0,70$ ($p \leq 0,01$; $n = 12$).

Die Entnahme von Bodenproben zu verschiedenen Zeitpunkten während der Vegetationsperiode zeigte, dass die Zusammensetzung der *Fusarium*-Arten zum ersten Termin (April) der des Ernteguts vom Vorjahr ähnelte (Abb. 21, 23). Während der Vegetation

wurden 1999 vermehrt *F. graminearum* und *F. poae* an der organischen Substanz nachgewiesen. Zum Zeitpunkt der Blüte im Juni wurden nahezu die gleichen Arten von den Bodenpartikeln isoliert wie auch später vom Erntegut. Während der Anteil an *F. poae* bis zum letzten Termin zunahm, ging der Anteil von *F. culmorum* und *M. nivale*, die zwar zum ersten Termin (April) noch von den Ernterückständen isoliert werden konnten, bis zur Ernte zurück. Während des Untersuchungszeitraums nahm die Anzahl der organischen Partikel, besonders der groben Fraktion, ab. Der mit *Fusarium* spp. kontaminierte Anteil blieb dagegen annähernd gleich (Abb. 24).

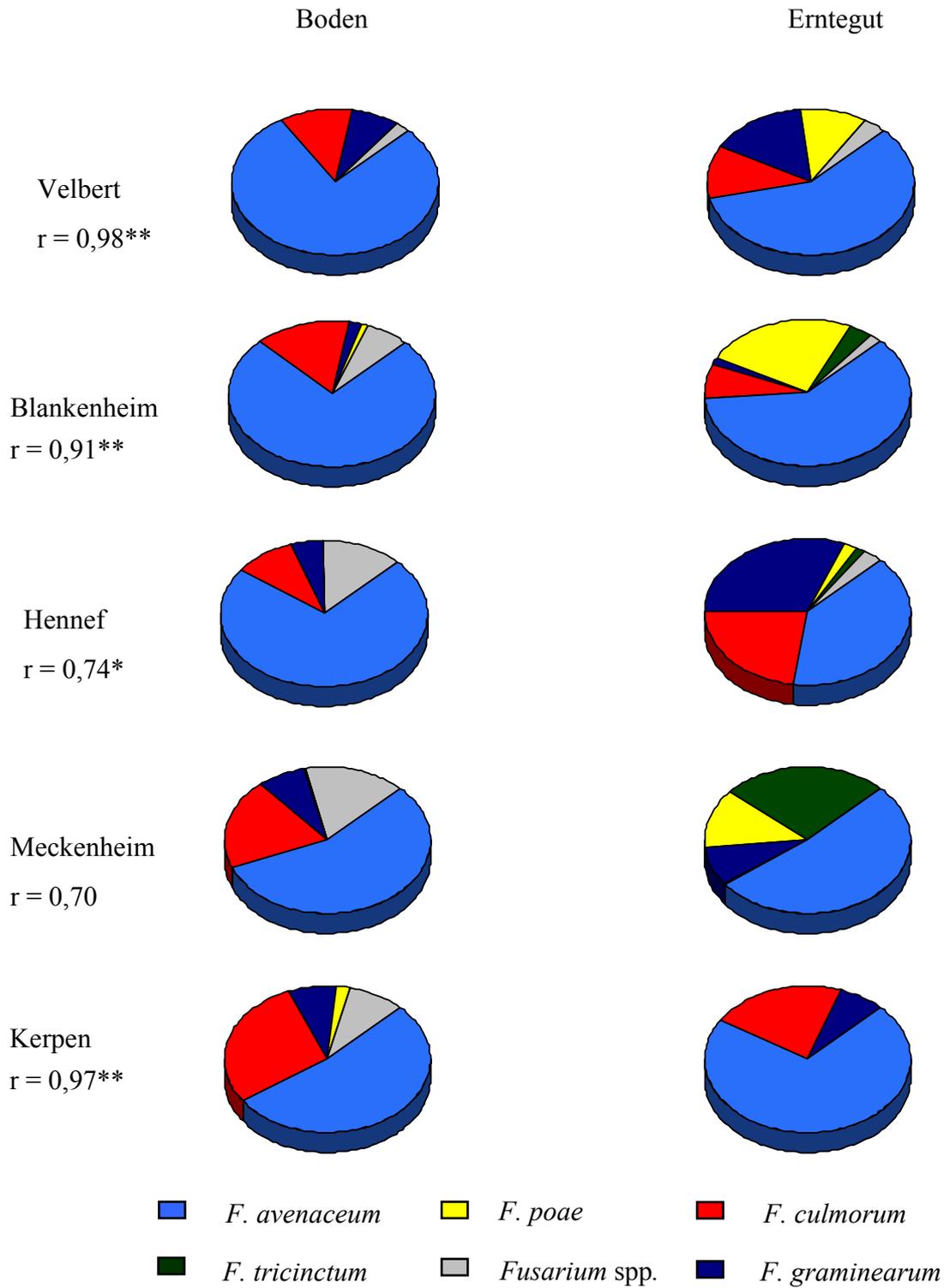


Abb. 21: Zusammensetzung der *Fusarium*-Arten an der organischen Substanz der oberen Bodenschicht und der an den Standorten geernteten Körner (Meckenheim, Kerpen, Hennef, Velbert, Blankenheim) 1998 (**= $p \leq 0,01$; *= $p \leq 0,05$).

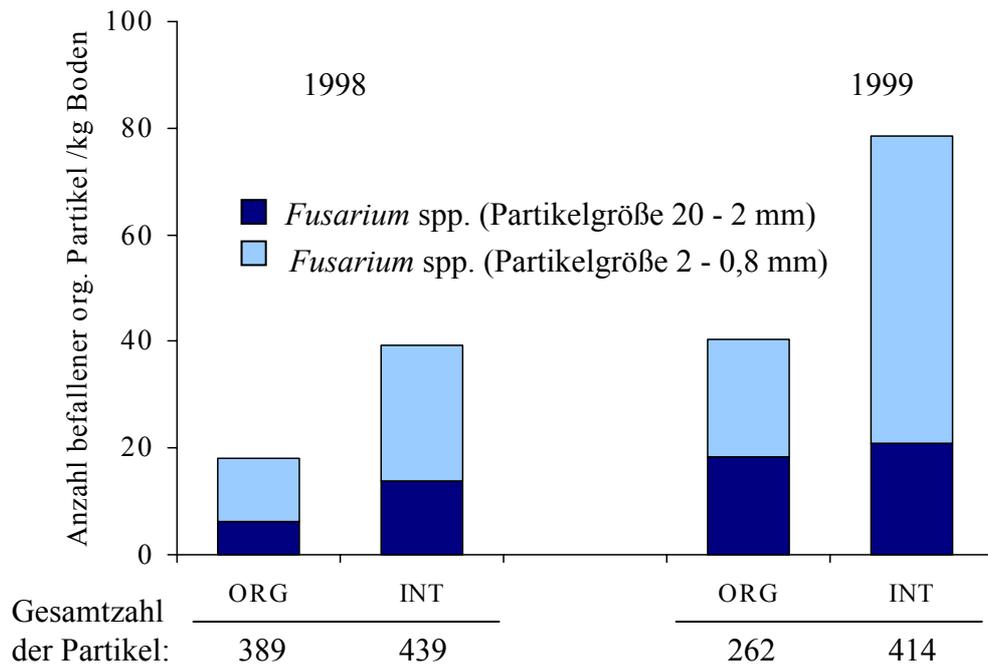


Abb. 22: Auftreten von *Fusarium* spp. an der organischen Substanz von Boden aus Organischen Landbau und im integrierten Landbau; Weizenbestände der Jahre 1998 und 1999 (Hennef).

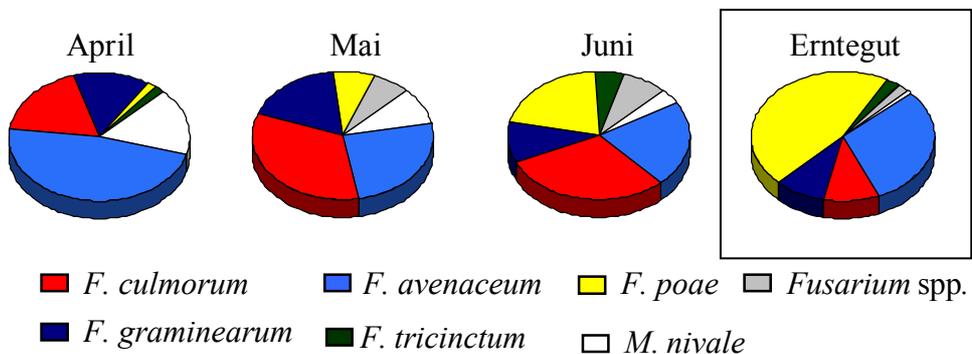


Abb. 23: Veränderung in der Zusammensetzung der *Fusarium*-Arten an den organischen Bodenpartikeln im Weizenbestand im Verlauf der Vegetationsperiode (Hennef, 1999).

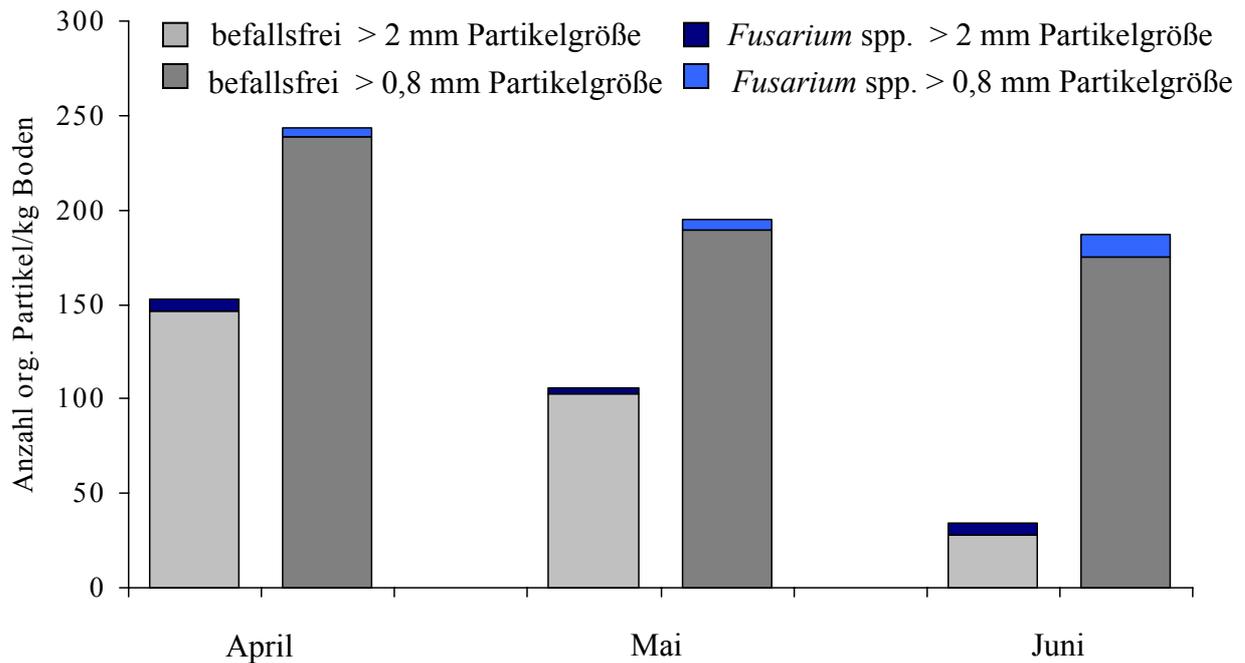


Abb. 24: Abbau der organischen Partikel der oberen Bodenschicht im Weizenbestand im Verlauf der Vegetationsperiode 1998 in Hennef und deren Kontamination mit *Fusarium* spp..

Steigerung des Inokulumpotenzials

Um das Inokulumpotenzial im Weizenbestand gezielt zu erhöhen, wurden zwei Inokulationsmethoden verglichen. Im Jahr 1998 wurde am Standort Meckenheim durch Ausbringen mit *Fusarium* spp. bewachsener Körner auf den Boden zu BBCH 37 der Infektionsdruck erhöht (Tab. 27). Bei ungünstigen - trockenen - Bedingungen während der Blüte führte die Kontamination des Bodens mit den inokulierten *Fusarium*-Arten *F. culmorum*, *F. graminearum* und *F. avenaceum* nur zu einer geringfügig höheren Befallshäufigkeit der Körner. Eine Inokulation mit *F. poae* hatte keinen Einfluss auf die Befallshäufigkeit. Die Inokulation mit einer Mischung der *Fusarium*-Arten *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. graminearum* und *F. poae* führte zu einer in der Summe höheren Infektionsrate gegenüber allen Einzel-Inokulationen. Der DON-Gehalt lag ohne Inokulation bei 154 µg/kg und wurde nur durch eine Inokulation mit *F. graminearum* auf 365 - 375 µg/kg erhöht.

Tab. 27: Einfluss einer Bodenkontamination mit *Fusarium*-Arten unter trockenen Witterungsbedingungen auf das Auftreten von *Fusarium* spp. und den DON-Gehalt von Weizenkörnern ('Contra'; Meckenheim; 1998).

	Befallshäufigkeit [%]					Σ	DON-Gehalt [µg/kg]
	FCUL	FGRA	FAVE	FPOA	FSPP		
ohne Inokulation	0,5	0,5	1,5	4	0,0	6,5	154
<i>F. culmorum</i>	1,5	0,0	0,0	2,5	0,0	4,0	166
<i>F. graminearum</i>	0,5	1,5	1,0	4,0	0,5	7,5	365
<i>F. avenaceum</i>	0,5	0,5	2,5	1,5	2,5	7,5	n.u.
<i>F. poae</i>	0,5	0,0	0,5	3,5	0,0	4,5	n.u.
<i>Fusarium</i> -Gemisch*	1,5	1,5	2,0	2,0	0,5	8,5	375

*Gemisch aus *F. avenaceum* (FAVE), *F. culmorum* (FCUL), *F. graminearum* (FGRA), *F. poae* (FPOA) im Verhältnis 1:1:1:1

(FSPP)= weitere *Fusarium*-Arten

n.u. = nicht untersucht

Im Folgejahr wurde am Standort Hennef zusätzlich zur Bodenkontamination eine Sprühinokulation durchgeführt (Abb. 25). Dabei wurde zum Zeitpunkt der Blüte die Ähre mit einer Sporensuspension von *F. culmorum*, *F. cerealis*, *F. avenaceum* und *F. poae* besprüht. Die Inokulation in die Blüte führte zu einer stärkeren Infektionsrate von 63,5 % als das Ausbringen der Körner auf den Boden (8,6 %, Abb. 25). Die Befallshäufigkeit lag ohne Inokulation mit 7,5 % kaum niedriger als bei der zusätzlichen Bodenkontamination. Die Inokulation der *Fusarium*-Arten im Verhältnis 1:1:1:1 wirkte sich auf das Artenspektrum an den Weizenkörnern aus. Im Vergleich zu den geernteten Körnern ohne Inokulation traten *F. culmorum* und *F. cerealis* wesentlich stärker auf. Die Befallshäufigkeit von *F. poae* mit 4,5 % wurde durch eine Inokulation nicht mehr erhöht. Der DON-Gehalt war bei den inokulierten Körnern höher als bei den nicht inokulierten. Nach der Bodenkontamination lag der DON-Gehalt im Vergleich zur Ausgangssituation (117 µg/kg) um das dreifache höher, nach einer Sprühinokulation war der DON-Gehalt mit 10474 µg/kg sehr viel höher.

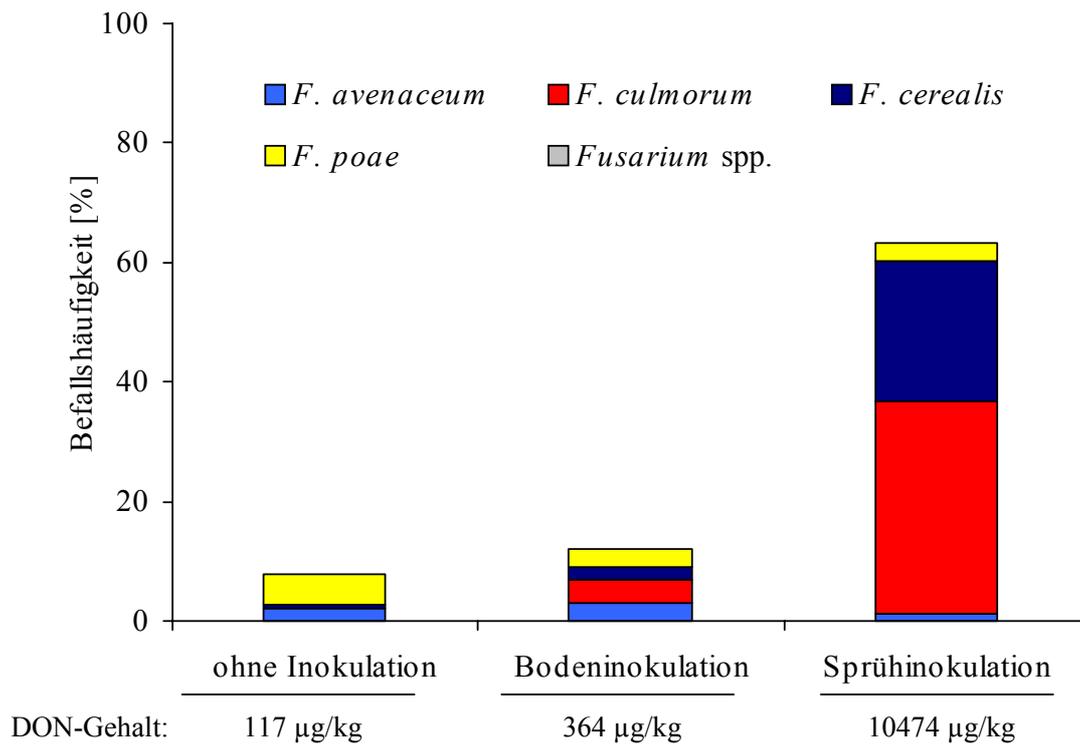


Abb. 25: Einfluss der Inokulationsmethode auf den Befall von *Fusarium* spp. an Weizenkörnern und Belastung mit dem Mykotoxin Deoxynivalenol (DON; 'Ritmo'; Hennef; 1999).

Um die Infektionsbedingungen nach einer Inokulation zu fördern, wurden Pflanzen unter kontrollierten Bedingungen zum Zeitpunkt der Blüte zusätzlich beregnet. Hierfür wurde die inokulierte Sporenmenge auf 10^4 Sporen/ml reduziert, damit eine Steigerung des Befalls sichtbar werden konnte.

An Weizenpflanzen ohne Inokulation war eine Befallshäufigkeit von 3 % mit *F. poae* nachweisbar (Abb. 26). Die Sprüheinokulation mit den *Fusarium*-Arten *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. graminearum* und *F. poae* in die Blüte führte ohne Beregnung für *F. poae* und *F. avenaceum* zu einer Infektionsrate von nur 0,5 %, hingegen erreichten *F. culmorum* 11 % und *F. graminearum* sogar 14,4 %. Die Beregnung führte zu einer signifikanten Steigerung des Befalls von mindestens 13,5 % bei *F. poae*, 30 % bei *F. avenaceum* und über 40 % bei *F. culmorum* und *F. graminearum*.

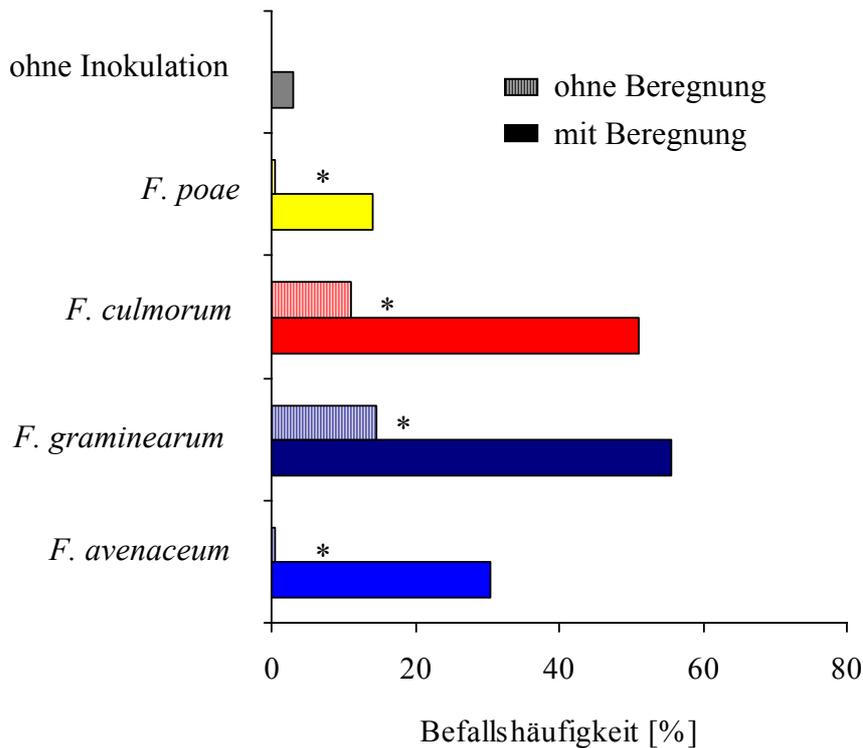


Abb. 26: Einfluss einer Sprühinokulation verschiedener *Fusarium*-Arten mit und ohne zusätzliche Beregnung zum Zeitpunkt der Blüte auf die Befallshäufigkeit von Weizenkörnern ('Ralle'; kontrollierte Bedingungen, 10^4 Sporen/ml; * signifikante Veränderung der Befallshäufigkeit durch eine zusätzliche Beregnung nach Tukey-Test; $p \leq 0,05$).

3.2.5.3 Begleitflora

Die Samen der typischen Weizen-Begleitflora wurden auf eine mögliche Bedeutung als Inokulumquelle für den *Fusarium*-Befall der Kulturpflanzen untersucht. Der weitaus größte Teil der Samen der Begleitflora-Arten war nicht mit *Fusarium* spp. befallen. Vereinzelt trat *Fusarium* spp. an den Arten *Chenopodium album*, *Vicia* spp. und *Polygonum convolvulus* auf. *Galium aparine* war dagegen sehr stark mit *Fusarium* spp. befallen, der Mittelwert über drei Jahre und drei Standorte war bei 46 % (Tab. 28).

Die Samen von *Galium aparine* waren 1997 am Standort Hennef nur zu 3 % mit *F. avenaceum* infiziert (Abb. 27). Hingegen waren die *Galium*-Samen im Befallsjahr 1998 zu 78 % mit *Fusarium* spp. infiziert, hauptsächlich traten die Arten *F. graminearum* mit 36 %, *F. avenaceum* mit 30 % und *F. culmorum* mit 11 % auf. Im Jahr 1999 lag der *Fusarium*-Besatz bei 13 % und setzte sich aus 7 % *F. avenaceum*, 3 % *F. culmorum*, 2 % *F. poae* und 1 % *F. cerealis* zusammen.

Tab. 28: *Fusarium* spp. an den Samen der Weizen-Begleitflora auf drei Standorten des Organischen Landbaus, 1997-1999.

Begleitflora		n	Befall [%]
Ampfer	RUMOB	78	0
Echte Kamille	MATMA	900	0
Hirtentäschel	CAPBU	300	0
Klatschmohn	PAPRH	89	0
Kratzdistel	CIRAR	75	0
Klettenlabkraut	GALAP	1800	46
Rainkohl	LAPCO	81	0
Vergissmeinnicht	MYOAV	900	0
Vogelmiere	STEME	900	0
Weißer Gänsefuß	CHEAL	900	6
Wicke	VICSP	900	4
Windenknöterich	POLCO	600	10
Flughafer	AVEFA	600	0
Fuchsschwanz	ALOMY	600	4
Quecke	AGRRE	900	2
Rispengras	POAAN	900	0

n= Anzahl untersuchter Samen

Im Jahr 1998 waren die Samen von *Galium aparine* nicht nur am Standort Hennef mit *Fusarium* spp. infiziert, mit einer Befallshäufigkeit von 78 %, sondern auch an den Standorten Velbert und Kleve mit über 20 % (Abb. 28). Der prozentuale Anteil der mit *Fusarium* spp. befallenen Samen von *G. aparine* war 1998 und 1999 höher als der der geernteten Weizenkörner. Von den Samen wurden ausschließlich die Arten *F. avenaceum*, *F. graminearum* und *F. culmorum* isoliert. Das Auftreten der *Fusarium*-Arten an den Samen von *G. aparine* entsprach der Artenzusammensetzung der geernteten Weizenkörner. Aufgrund des starken Auftretens von *G. aparine* am Standort Hennef konnte der DON-Gehalt der kontaminierten Samen ermittelt werden, der mit 1123 µg/kg hoch war.

Eine Inokulation in die Blüte der Begleitflora mit *F. culmorum* unter kontrollierten Bedingungen zeigte, dass der größte Teil der Samen, weit über den Anteil der im vom Freiland nachgewiesenen Arten hinaus, befallen werden konnte (Abb. 29). Eine Ausnahme stellte *Vicia* spp. dar, die unter kontrollierten Bedingungen nicht befallen wurde. Die monokotylen Arten waren im Feld nur sehr selten mit *Fusarium* spp. befallen, nach Inokulation erwiesen sich aber *Poa annua* und *Apera spica-venti* mit 60 % bzw. 25% als sehr anfällig.

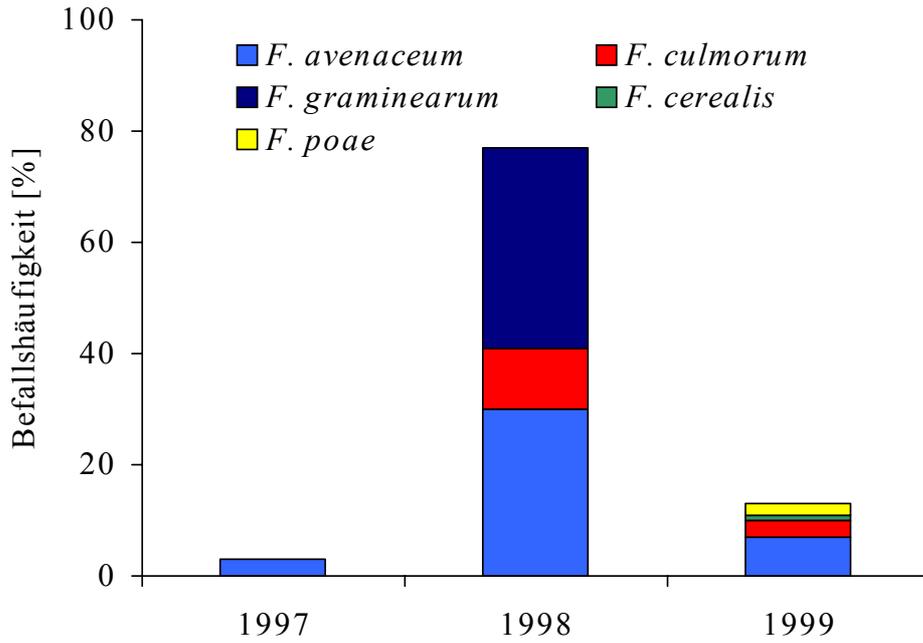


Abb. 27: Zusammensetzung der *Fusarium*-Arten an Samen von *Galium aparine* am Standort Hennef in den Jahren 1997-1999.

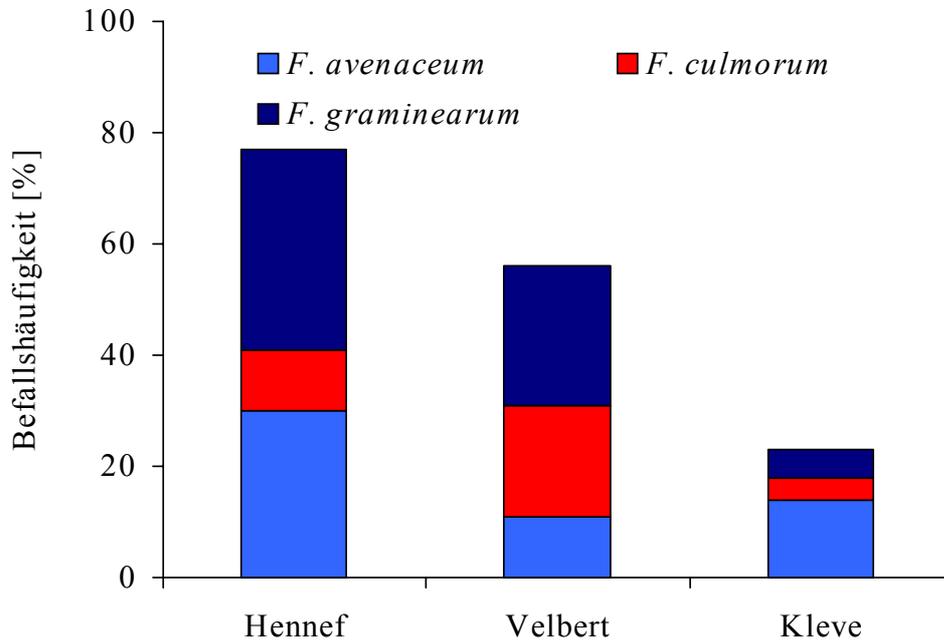


Abb. 28: Zusammensetzung der *Fusarium*-Arten an Samen von *Galium aparine* an den drei Standorten Hennef, Velbert und Kleve im Jahr 1998.

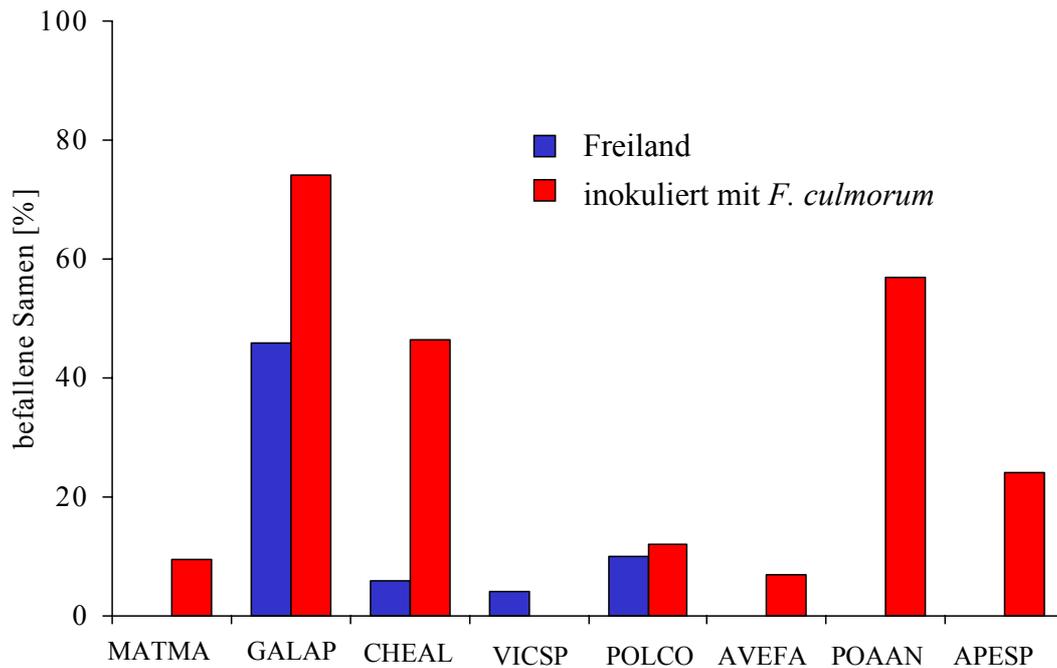


Abb. 29: Befallshäufigkeit von *Fusarium* spp. an dikotylen und monokotylen Samen der Begleitflora von Weizen unter Freilandbedingungen und nach Inokulation der Blüten mit *F. culmorum* unter kontrollierten Bedingungen (MATMA = Kamille; GALAP = Klettenlabkraut; CHEAL = Weißer Gänsefuß; VICSP = Wicke; POLCO = Windenknöterich; AVEFA = Flughafer; POAAN = Rispengras; APESP = Windhalm.

3.2.6 Einfluss pflanzenbaulicher Maßnahmen

Einen wesentlichen Einfluss auf das Befallsgeschehen von *Fusarium* spp. und *M. nivale* hat die Witterung, die jedoch nicht beeinflusst werden kann. Hingegen kann durch pflanzenbauliche Maßnahmen Einfluss genommen werden und damit zur Vermeidung des Vorkommens des Erregers beigetragen werden. Im Folgenden werden die Ergebnisse zum Einfluss von Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Wirtsgenotyp, Untersaat, Fungizidbehandlung und Anbauintensität auf den *Fusarium*-Befall dargestellt.

3.2.4.1 Vorfrucht

Anhand der mit *Fusarium* spp. besiedelten organischen Substanz konnte der Einfluss der Vorfrucht auf das *Fusarium*-Inokulumpotenzial im Boden ermittelt werden (Abb. 30). Mais als Vorfrucht bedingte - gegenüber anderen Gramineen-Arten wie Winter- und Sommerweizen - ein sehr hohes Inokulumpotenzial. *F. graminearum* war in diesen Fällen mit 51 % am stärksten vertreten, des Weiteren kam auch *F. culmorum* mit 12 % häufiger vor als

bei den anderen Vorfrüchten (8 %). Die an Weizen im Rheinland häufigste Art *F. avenaceum* war hingegen mit 5,5 % seltener nachzuweisen. *F. poae* wurde nur bei der Vorfrucht Winterweizen von maximal 0,2 % der organischen Substanz isoliert. Die organische Substanz im Boden war nach der Vorfrucht Zuckerrüben mit 10 % am geringsten mit *Fusarium* spp. kontaminiert. Die Vorfrucht Sommerweizen führte zu 13 %, Kartoffeln zu 16 %, Winterweizen zu 17 % und Klee gras zu 22 % mit *Fusarium*-Arten befallenen organischen Bodenpartikeln.

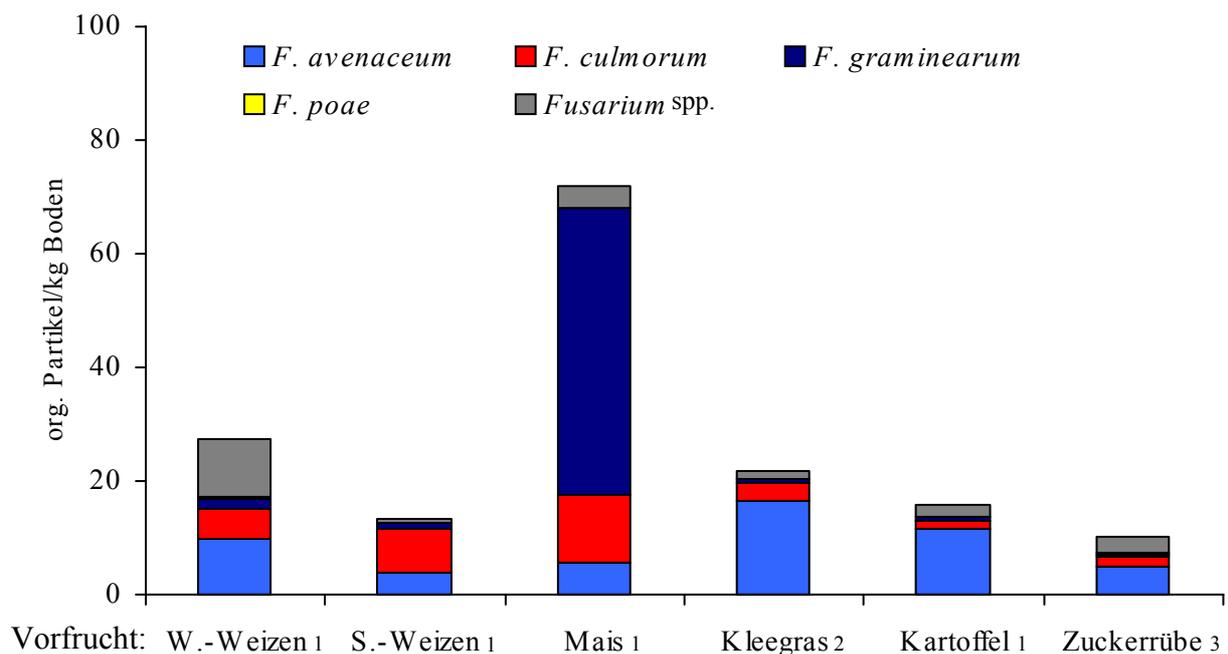


Abb. 30: Einfluss der Vorfrucht auf das Vorkommen von *Fusarium*-Arten an der organischen Substanz an den Standorten Hennef (1), Velbert (2), Kerpen (3), 1999.

3.2.4.2 Bodenbearbeitung

Der vom Boden ausgehende Infektionsdruck von *Fusarium* spp. hat einen entscheidenden Einfluss auf das Befallsgeschehen und wird wesentlich durch die Bodenbearbeitung beeinflusst. Untersuchungen der organischen Substanz und der geernteten Weizenkörner im Organischen und integrierten Landbau der Jahre 1998 und 1999 konnten dies am Sachverhalt belegen. In beiden Jahren war nach einer wendenden Bodenbearbeitung weniger organische Substanz vorhanden. Auch der Anteil der mit *Fusarium* spp. befallenen Partikel war nach einer wendenden Bodenbearbeitung geringer (Abb. 31; Tab. 29). Dieser Unterschied war

1999 im integrierten Anbau noch deutlicher ausgeprägt. Der Anteil mit *Fusarium* spp. befallener Partikel lag nach dem Pflügen sowohl im integrierten Anbau 1999 wie auch im Organischen Landbau 1998 bei 5 %.

Nach einer nicht-wendenden Bodenbearbeitung war der Anteil mit *Fusarium* spp. befallener organischer Partikel sowohl im Organischen als auch im integrierten Anbau höher als nach wendender Bodenbearbeitung. Im Organischen Landbau war er in beiden untersuchten Fraktionen um 7 – 8 % höher als nach Einsatz eines Pflugs, im Integrierten Anbau in der feinen Fraktion um 12 %, in der groben Fraktion sogar um 43 %.

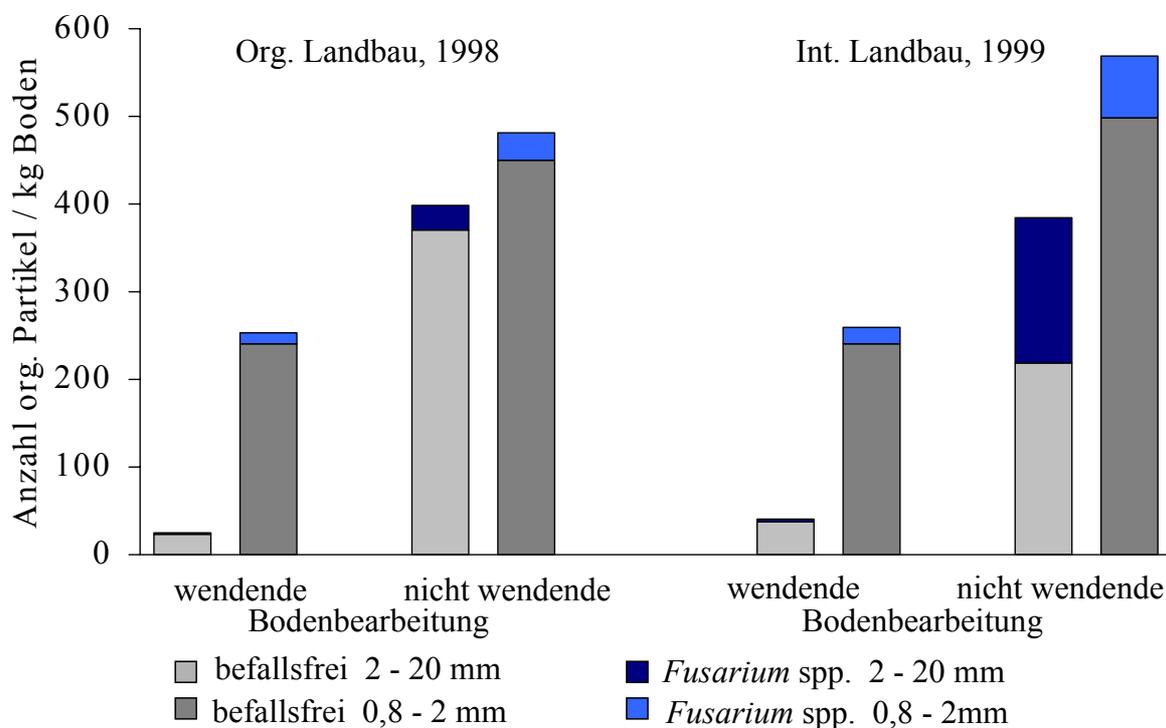


Abb. 31 Einfluss der Bodenbearbeitung auf das Inokulumpotenzial von *Fusarium* spp. im Boden organisch und integriert bewirtschafteter Flächen am Standort Hennef der Jahre 1998 und 1999 (Vorfrucht Winterweizen).

Im Erntegut der Sommerweizensorte 'Thasos' war der Anteil mit *Fusarium*-Arten befallener Körner in beiden Jahren nach einer wendenden Grundbodenbearbeitung mit 2 bzw. 0,5 % deutlich geringer als bei nicht wendender Bodenbearbeitung (4 bzw. 13 %, Tab. 29). Dasselbe galt für das Auftreten von *M. nivale* 1998 im Organischen Landbau. Im integrierten Anbau trat 1999 *M. nivale* mit einem Befall von durchschnittlich 0,5 % kaum auf.

Der DON-Gehalt der Körner lag 1998 mit 145 µg/kg nach wendender Bodenbearbeitung etwas niedriger als nach nicht-wendender Bodenbearbeitung mit 214 µg/kg. In den beiden untersuchten Jahren kam es zu keinem signifikanten Einfluss auf den Ertrag. Die TKM war nach wendender Bearbeitung mit 43 g gegenüber 38,5 g deutlich höher.

Tab. 29: Einfluss der Bodenbearbeitung auf das Auftreten von *Fusarium* spp. und *Microdochium nivale* an Weizenkörnern sowie den Deoxynivalenolgehalt, den Ertrag und die Tausendkornmasse in den Jahren 1998 und 1999 im Organischen Landbau und integrierten Anbau am Standort Hennef (Sorte: 'Thasos').

	1998		1999	
	Organischer Landbau		integrierter Landbau	
Bodenbearbeitung	nicht-wendend	wendend	nicht-wendend	wendend
<i>Fusarium</i> spp. [%]	4	2,3	13	0,5
Deoxynivalenol [µg/kg]	116	92	214	145
<i>M. nivale</i> [%]	17	6	0	0,5
Ertrag [dt/ha]	41	45	57	56
TKM [g]	38	41	38,5	43

3.2.4.3 Einfluss des Wirtsgenotyps auf die Befallshäufigkeit

In den folgenden Untersuchungen sollte der Einfluss der Weizensorte auf das Auftreten von *Fusarium*-Arten sowie die Zusammensetzung des *Fusarium*-Artenspektrums mit *M. nivale* erfasst werden. Die Erfassung der Befallsintensität wurde 1997, 1998 und 1999 an Weizen des Organischen Landbaus, 1998 und 1999 auch an Weizen im integrierten Anbau durchgeführt.

Ertragsparameter der Weizensorten

Im Jahr 1997 waren die Kornerträge am Standort Blankenheim mit 24,5 dt/ha gering. Dies war vor allem auf die starke Auswinterung und den folgenden lückigen Bestand mit durchschnittlich 173 Ähren/m² zurückzuführen, dies entsprach nicht einmal der Hälfte der Aussaatstärke. Die Folge war eine starke Förderung der Begleitflora die zusätzlich den Kornertrag verringerte. Am Versuchsstandort Velbert wurden 305 Ähren/m² ermittelt, der mittlere Kornertrag betrug 45,5 dt/ha (Tab. 30). In Hennef belief sich die Bestandsdichte auf 353 Ähren/m², die einen vergleichsweise hohen Ertrag von 61,5 dt/ha erbrachte.

Im Folgejahr 1998 lag die Bestandsdichte am Standort Blankenheim bei nur 269 Ähren/m², die aber mit 62,5 dt/ha einen hohen Ertrag erreichte. Aufgrund der für diesen Standort relativ trockenen Witterung kam es zu einer guten Kornausbildung. Am Standort Velbert gaben hingegen 250 Ähren/m² aufgrund der sehr nassen Witterung und einer stark beschatteten Fläche nur einen Ertrag von 32 dt/ha. Am Standort Hennef lieferten 402 Ähren/m² einen Ertrag von nur 52,7 dt/ha, ein Umstand der auf die ungünstige Witterung zurückgeführt werden kann, die zu einem massivem Auftreten von Blattkrankheiten und dadurch zu einer schlechten Kornfüllung führte. Bis auf Blankenheim war die TKM mit 38 – 39 g deutlich unter der des Vorjahres (Tab. 31).

Obwohl für das Untersuchungsjahr 1999 die Aussaat aufgrund der feuchten Witterung erst Anfang Dezember möglich war, wurde ein relativ hoher Feldaufgang erreicht. Auf den Flächen des Organischen Landbaus wurden 320 Ähren/m² gezählt, die einen durchschnittlichen Ertrag von 51,5 dt/ha erbrachten. Im integrierten Anbau wurden 440 – 460 Ähren/m² mit einem Ertrag von 70 bzw. 74 dt/ha ermittelt.

Tab. 30: Ertragsleistung von Winterweizensorten im Organischen und integrierten Anbau auf den Standorten Hennef, Velbert, Blankenheim in den Jahren 1997 - 1999.

Sorte	Flächenertrag [dt/ha]									
	1997			1998			1999			Ø
	BL	VE	HE ^(OL)	BL	VE	HE ^(OL)	HE ^(OL)	HE ^(IL-)	HE ^(IL+)	
Ambras	27a	42cb	61c	44c	26c	55a	46bc	56c	67c	47
Aristos	/	/	/	<u>74a</u>	<u>39a</u>	61a	50a	69ba	72b	61
Astron	<u>28a</u>	44b	61c	57bc	23d	58a	45d	60c	78b	50
Batis	25ab	<u>51ab</u>	68bc	63ab	37a	60a	51a	80a	82ab	58
Bold	/	/	/	63ab	33c	60a	62a	73a	86a	63
Carolus	17b	43b	50cd	59ab	32b	48b	43d	60c	66c	46
Contra	/	/	/	68ab	27c	54a	47bc	68b	71b	56
Flair	/	/	/	68ab	<u>39a</u>	63a	46d	59c	63c	56
Pegassos	26ab	49b	<u>71a</u>	56bc	<u>39a</u>	62a	55a	78a	<u>89a</u>	58
Petrus	/	/	62	/	/	63a	63a	<u>81a</u>	82ab	70
Rektor	/	/	/	58bc	22d	44b	44d	71a	77b	53
Toronto	20ab	44b	59c	65ab	35b	58a	51a	71a	72b	53
Winni	/	/	/	68ab	35b	<u>64a</u>	<u>64a</u>	63c	75b	62
Zentos	<u>28a</u>	45b	/	68ab	27c	/	52a	/	/	44
Ø	25	46	62	63	32	58	52	70	74	

(OL) = Flächen des Organischen Landbaus

x = Sorte mit höchstem Ertrag

(IL) = Flächen des integrierten Landbaus (- unbehandelt; + behandelt)

/ = nicht untersucht

Werte mit verschiedenen Buchstaben in einer Spalte unterscheiden sich signifikant nach Tukey-Test (p ≤ 0,05)

Die TKM war im Organischen Landbau mit 51,5 g relativ hoch, erreichte im integrierten Landbau aber mit 70 – 74 g vermutlich durch den Einsatz von Dünger und Fungiziden noch höhere Werte. In Blankenheim war die Sorte 'Zentos' über beide Jahre bei einer etwas unterdurchschnittlichen TKM die Sorte mit dem höchsten Ertrag (Tab. 31). Hingegen erreichten die Sorten 'Batis' und 'Pegassos am Standort Velbert' die höchsten Erträge mit einer TKM, die 5 – 9 g über dem Durchschnitt lag. 'Pegassos' war auch am Standort Hennef die ertragreichste Sorte, dicht gefolgt von der nah verwandten Sorte 'Petrus'. Sorten wie 'Bold', 'Winni', und 'Aristos', die später ins Sortiment aufgenommen wurden, zeigten zum Teil überdurchschnittliche Ertragsleistungen gegenüber den schon untersuchten Sorten und sollten unter den Bedingungen des Organischen Landbaus weiter getestet werden.

Tab. 31: Durchschnittliche Tausendkornmasse von Winterweizensorten im Organischen und integrierten Anbau auf den Standorten Hennef, Velbert, Blankenheim in den Jahren 1997-1999.

Sorte	Tausendkornmasse [g]									Ø
	1997			1998			1999			
	BL	VE	HE ^(OL)	BL	VE	HE ^(OL)	HE ^(OL)	HE ^(IL-)	HE ^(IL+)	
Ambras	<u>48a</u>	49b	51a	49c	37cd	41bc	44c	53b	55ac	47
Aristos	/	/	/	<u>56a</u>	<u>48a</u>	<u>46a</u>	51a	<u>56a</u>	<u>58a</u>	52
Astron	41c	44c	42a	44d	32eg	35c	39c	49d	47e	41
Batis	44b	49b	<u>51a</u>	51bc	44ab	45a	48b	55b	55ab	49
Bold	/	/	/	44d	35de	40c	41c	47d	49e	43
Carolus	45b	50a	41a	45d	37cd	36c	43c	52c	51bcd	44
Contra	/	/	/	40e	33dg	32c	36e	44d	46e	39
Flair	/	/	/	45d	41bc	39b	37c	49d	49d	44
Pegassos	45b	<u>52a</u>	<u>51a</u>	51bc	47a	45a	<u>52a</u>	<u>56a</u>	57a	51
Petrus	/	/	42,5	/	/	41b	41c	46d	48e	44
Rektor	/	/	/	43d	30fg	33c	40e	47d	48d	40
Toronto	43b	44c	42a	45d	38cd	35c	42c	48d	51ce	43
Winni	/	/	/	53b	43ab	44a	44c	54b	56a	49
Zentos	43b	44c	/	45d	33df	/	40c	/	/	41
Ø	44	48	46	47	38	39	43	51	53	

(OL) = Flächen des Organischen Landbaus

Ø = Sorte mit höchstem TKM

(IL) = Flächen des integrierten Landbaus (- unbehandelt; + behandelt)

/ = nicht untersucht

Werte mit verschiedenen Buchstaben in einer Spalte unterscheiden sich signifikant nach Tukey-Test ($p \leq 0,05$)

Anfälligkeit gegenüber *Fusarium*-Arten und *Microdochium nivale* und Belastung mit Mykotoxinen

Die Anfälligkeit der Winterweizensorten gegenüber *Fusarium*-Arten und *M. nivale* wurde anhand der Befallshäufigkeit der Körner an drei Standorten untersucht. Im ersten Jahr wurden die Sorten 'Ambras', 'Astron', 'Batis', 'Carolus', 'Pegassos', 'Petrus', 'Zentos' untersucht, in den folgenden Jahren kamen 'Aristos', 'Bold', 'Contra', 'Flair', 'Rektor' und 'Winni' hinzu.

Im ersten Untersuchungsjahr lag je nach Standort eine mittlere Befallshäufigkeit der *Fusarium*-Arten von 2 - 7 % befallenen Körnern vor (Tab. 32). Erst ab einer Differenz von 5 %, wie am Standort Blankenheim, konnten signifikante Sortenunterschiede festgestellt werden. An den Standorten Hennef und Velbert lag die Differenz zwischen der am stärksten und der am geringsten befallenen Sorte nur bei 3,5 %. Die Sorten 'Astron' und 'Toronto' waren signifikant stärker befallen als die Sorten 'Ambras', 'Batis' und 'Zentos'.

Im Jahr 1998 war die Befallshäufigkeit mit *Fusarium*-Arten an allen drei Standorten höher. Am Standort Velbert war der Befall der Sorte 'Toronto' wiederum signifikant höher als der aller anderen Sorten. 'Bold' und 'Zentos' waren signifikant geringer befallen als die restlichen Sorten. Am Standort Hennef war die Befallshäufigkeit mit bis zu 25 % am höchsten, die Differenz zwischen den Sorten lag bei bis zu 17 %. Die Sorten 'Bold', 'Carolus', 'Petrus' und 'Rektor' waren signifikant geringer befallen als die anderen. Am Standort Blankenheim wiesen 'Contra' und 'Flair' mit 10,5 % gegenüber den anderen Sorten einen statistisch absicherbar höheren Befall auf.

Im Jahr 1999 wurden alle Sorten sowohl auf Flächen des integrierten als auch des Organischen Landbaus angebaut. Aufgrund eines relativ trockenen Sommers wurde im Vergleich zu den Vorjahren eine sehr geringe Befallshäufigkeit von durchschnittlich 4 % ermittelt. Auf den Flächen des Organischen Landbaus war nur die Sorte 'Contra', die mit 9,5 % den höchsten *Fusarium*-Befall aufwies, signifikant stärker befallen als die anderen. Im integrierten Anbau ließen sich bei Verwendung von Fungiziden und Wachstumsreglern nur die Sorten 'Contra', 'Flair' und 'Carolus' gegenüber den übrigen differenzieren. Die selben Sorten ließen sich ohne Verwendung von Fungiziden und Wachstumsreglern auf den Flächen des integrierten Anbaus aufgrund des relativ geringen Befallsunterschieds nicht differenzieren.

Ein Vergleich der Sorten über die Jahre und Standorte zeigte, dass 'Contra', 'Flair', 'Aristos' und 'Toronto' anfälliger waren als 'Bold', 'Zentos', 'Petrus' und 'Rektor'. Ein Vergleich der Bewertung der Sorten nach der Sortenliste (siehe Kap. 2.1.) und der Mittelwert der drei untersuchten Jahre und Standorte ergab eine signifikante Korrelation von $r = 0,77$ ($p \leq 0,01$).

Tab. 32: Anfälligkeit von Winterweizensorten gegenüber einem Kornbefall mit *Fusarium*-Arten an den Standorten Hennef, Velbert und Blankenheim in den Jahren 1997 - 1999.

Sorte	Befallshäufigkeit [%]									Ø
	1997			1998			1999			
	BL	VE	HE ^(OL)	BL	VE	HE ^(OL)	HE ^(OL)	HE ^(IL-)	HE ^(IL+)	
Ambras	1,5c	1,0a	7,0a	7,0ab	10,5b	16,5a	3,5b	2,0a	6,0b	6,1
Aristos	/	/	/	5,5b	12,0b	<u>25,0a</u>	7,0b	8,0a	11,0b	11,4
Astron	<u>7,0a</u>	3,0a	6,5a	5,0b	13,0b	8,5e	2,0b	7,5a	8,5b	6,7
Batis	0,5d	1,0a	6,5a	5,5b	14,0b	12,0c	4,5b	3,5a	5,0b	5,6
Bold	/	/	/	1,5b	3,5c	8,0e	1,0b	2,5a	8,5b	4,2
Carolus	3,5ac	4,0a	<u>8,5a</u>	6,0b	6,5b	9,0e	2,5b	7,0a	<u>14,0a</u>	6,7
Contra	/	/	/	<u>10,5a</u>	14,5b	24,0ab	<u>9,5a</u>	8,0a	11,5a	13,0
Flair	/	/	/	<u>10,5a</u>	10,5b	19,5ac	3,5b	5,0a	12,5a	10,3
Pegassos	4,0ac	0,5a	6,0a	5,5b	11b	14cd	5,5b	6,0a	9,5b	6,8
Petrus	/	/	5,0a	/	/	7,0e	2,5b	4,0a	7,5b	5,2
Rektor	/	/	/	3,5b	8,0b	6,5e	2,0b	2,5a	7,0	4,9
Toronto	5,5a	<u>3,5a</u>	8,0a	6,5b	<u>18,0a</u>	20,0bcd	2,5b	<u>9,0a</u>	8,5b	9,1
Winni	/	/	/	2,5b	6,0b	18,5ac	2,0b	5,5a	7,5b	7,0
Zentos	2,0c	1,0a	/	4,0b	3,5c	/	2,5b	/	/	2,6
Ø	3,4	2,0	7,9	6,2	10,1	14,5	3,6	5,6	9,0	

(OL) = Flächen des Organischen Landbaus

Ø = Sorte mit höchstem Befall

(IL) = Flächen des Integrierten Landbaus (- unbehandelt; + behandelt)

/ = nicht untersucht

Werte mit verschiedenen Buchstaben in einer Spalte unterscheiden sich signifikant nach Tukey-Test ($p \leq 0,05$)

Aufgrund des relativ hohen Befalls wurde der Standort Hennef 1998 ausgewählt, um das Spektrum der an den Sorten auftretenden *Fusarium*-Arten darzustellen (Abb. 32). Die am häufigsten vorkommende *Fusarium*-Art war *F. avenaceum*, die an allen Sorten auftrat. *F. graminearum* und *F. culmorum* waren ebenfalls an allen Sorten nachweisbar. Ebenso traten vereinzelt die Arten *F. tricinctum* an den Sorten 'Aristos', 'Flair' und 'Petrus' sowie *F. poae* an den Sorten 'Aristos', 'Contra', 'Toronto', 'Carolus' und 'Astron' auf. Es konnte jedoch keine spezifische Sortenanfälligkeit gegenüber dem Befall mit *Fusarium*-Arten festgestellt werden.

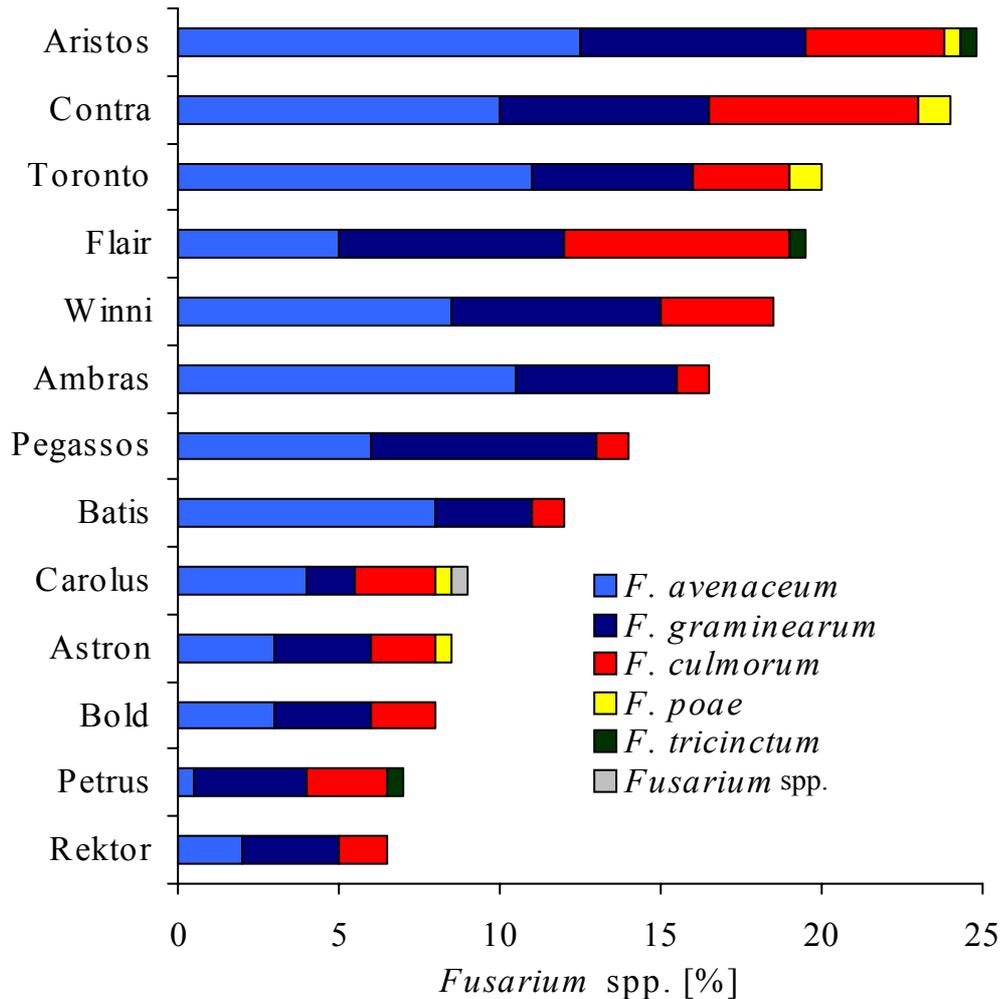


Abb. 32: Zusammensetzung der *Fusarium*-Arten an Körnern von 13 Winterweizensorten am Standort Hennef (1998).

Mykotoxingehalte

Die Kornproben wurden 1997 und 1998 hauptsächlich mittels LC-MSMS auf den Gehalt an Deoxynivalenol (DON) untersucht, 1999 dagegen mit dem ELISA-Test (Tab. 33)

Die DON-Gehalte der Kornproben von den Standorten Hennef, Velbert, Blankenheim waren im Durchschnitt der Jahre 1997 bis 1999 bei 166 µg/kg, wobei der höchste DON-Gehalt mit 424 µg/kg für die Sorte 'Toronto' aus Organischem Landbau des Standorts Hennef 1998 gemessen wurde. Höhere DON-Gehalte wurden nur für Proben aus integriertem Anbau des Jahres 1999 ermittelt, die mit der ELISA-Methode untersucht wurden.

Die durchschnittliche DON-Kontamination war im Jahr 1997 mit weniger als 100 µg/kg gering. Die Gehalte unterschieden sich zwischen den Standorten mit 69 µg/kg in

Blankenheim und bis zu 93 µg/kg in Hennef kaum. An den Standorten Blankenheim und Velbert war 'Astron' die Sorte mit dem höchsten DON-Gehalt. Dagegen wies 'Toronto' am Standort Hennef mit 182 µg/kg den höchsten Gehalt auf.

Im Jahr 1998 wurden in Velbert Gehalte gemessen, die mit durchschnittlich 230 µg/kg dreimal so hoch und in Hennef mit 180 µg/kg doppelt so hoch waren wie im Vorjahr; während in Blankenheim aufgrund einer ungewöhnlich trockenen Witterung nur ein Gehalt von 43 µg/kg erreicht wurde. Die maximale Differenz der Gehalte zwischen den Sorten lag am Standort Blankenheim bei 60 µg/kg, in Velbert und Hennef dagegen bei rund 350 µg/kg. Für Hennef wurde im trockenen Jahr 1999 mit durchschnittlich 45 µg/kg ein sehr niedriger DON-Gehalt ermittelt. Der zum Vergleich angelegte Sortenversuch auf Flächen des integrierten Landbaus wies in den Varianten ohne bzw. mit Ährenbehandlung mit durchschnittlich 117 µg DON/kg bzw. 261 µg DON/kg höhere DON-Gehalte auf.

Tab.33: Einfluss des Weizen-Genotyps auf die Deoxynivalenol-Belastung von Kornproben aus Organischem bzw. integriertem Landbau an den Standorten Hennef, Velbert, Blankenheim in den Jahren 1997 - 1999.

Sorte	DON [µg/kg]									
	1997			1998			1999			Ø
	BL	VE	HE ^(OL)	BL	VE	HE ^(OL)	HE ^(OL)	HE ^(IL-)	HE ^(IL+)	
Ambras	36	86*	95*	53	243	75	32*	174*	266*	118
Aristos	/	/	/	71	105	128	33**	<u>128**</u>	153**	103
Astron	<u>123</u>	<u>91</u>	57	25	364	269	42*	124*	124*	135
Batis	47	22	92*	47	67	254	61*	77*	94*	85
Bold	/	/	/	15	77	173	47**	85**	115**	85
Carolus	85	84	46	47	262	212	45**	88**	236**	123
Contra	/	/	/	61	248	158	37*	77*	<u>785*</u>	228
Flair	/	/	/	23	152	92	32**	154**	288**	124
Pegassos	59	70	85	30	365	130	33*	186*	334*	144
Petrus	/	/	/	/	/	82	<u>81*</u>	182*	420*	191
Rektor	/	/	/	50	284	<u>176</u>	41**	66**	222**	181
Toronto	63	66	<u>182</u>	<u>63</u>	<u>423</u>	424	47*	116*	111*	139
Winni	/	/	/	39	254	195	48**	70**	247**	142
Zentos	69	69	/	40	114	/	/	/	/	73
Ø	69	70	93	43	228	182	45	117	261	

(OL) = Flächen des Organischen Landbaus

Ø = höchster DON-Gehalt

(IL) = Flächen des integrierten Landbaus (- unbehandelt; + behandelt)

/ = nicht untersucht

*Birzele, B. (2001); **Birzele, B. und Meier, A. (unveröffentlicht)

Im Durchschnitt der Jahre und Standorte wiesen die Sorten 'Batis', 'Ambras' und 'Bold' die geringsten DON-Belastungen auf. Für die Sorte 'Zentos' ergab sich der niedrigste DON-Gehalt. Dieser Sachverhalt war jedoch darauf zurückzuführen, dass diese Sorte am Standort Hennef, wo die höchsten DON-Gehalte auftraten, nicht angebaut wurde.

Die Gehalte für Nivalenol (NIV) lagen 1997 zwischen 22 µg/kg in Velbert und 32 µg/kg in Hennef und erreichten damit ca. ein Drittel der DON-Gehalte (Tab. 33, 34). Im Jahr 1998 waren die NIV-Gehalte mit durchschnittlich 56 µg/kg in Velbert und 44 µg/kg in Hennef höher. Die durchschnittliche NIV-Belastung der Proben aus Blankenheim belief sich in beiden Jahren auf 28 µg/kg, allerdings wäre der Durchschnittswert 1998 niedriger, wenn die Sorte 'Pegassos' mit 107 µg/kg nicht eine extrem hohe Belastung aufgewiesen hätte.

Die Gehalte an HT2-Toxin waren 1997 sowohl in Hennef mit 4 µg/kg als auch in Velbert mit 7 µg/kg gering. Der höchste Wert wurde am Standort Blankenheim bei den Sorten 'Batis' und 'Toronto' mit 12 µg/kg gemessen. Im nächsten Jahr waren die Gehalte im Sortendurchschnitt mit 14 µg/kg mehr als doppelt so hoch. In Velbert wurde der höchste Gehalt mit 33 µg/kg an der Sorte 'Toronto' gemessen. Hier ergab sich zwischen 'Astron' und 'Toronto' mit 27 µg/kg der größte Sortenunterschied im Gehalt an HT2-Toxin.

In der Summe der Toxine DON, NIV und HT2-Toxin wiesen die Sorten 'Contra' mit durchschnittlich 295 µg/kg gefolgt von der Sorte 'Rektor' mit 253 µg/kg und 'Petrus' mit 213 µg/kg die höchsten Werte auf. Zwischen den Gehalten der Toxine bzw. deren Summe und der Befallshäufigkeit mit *Fusarium* spp. über die Jahre und Standorte ließ sich kein Zusammenhang nachweisen ($r = 0,25 - 0,48$; $n = 8 - 14$).

Tab. 34: Einfluss des Winterweizen-Genotyps auf die Nivalenol- und HT2-Toxin-Belastung von Kornproben aus dem Organischen Landbau (Standorte: Hennef, Velbert, Blankenheim; Jahre: 1997-1998).

Sorte	NIV [$\mu\text{g}/\text{kg}$]						HT2-Toxin [$\mu\text{g}/\text{kg}$]					
	1997			1998			1997			1998		
	BL	VE	HE	BL	VE	HE	BL	VE	HE	BL	VE	HE
Ambras	29	22	/	25	44	20	0	4	/	9	16	5
Aristos	/	/	/	22	64	33	/	/	/	20	19	12
Astron	6	22	13	14	84	60	0	<u>8</u>	0	10	5	6
Batis	20	16	28	8	42	53	<u>12</u>	4	0	8	10	<u>29</u>
Bold	/	/	/	0	40	42	/	/	/	9	14	8
Carolus	<u>56</u>	22	<u>52</u>	8	84	32	7	4	2	17	22	18
Contra	/	/	/	21	74	48	/	/	/	20	30	7
Flair	/	/	/	50	52	19	/	/	/	<u>29</u>	11	11
Pegassos	43	<u>28</u>	18	<u>107</u>	32	48	3	11	8	16	20	10
Petrus	/	/	/	/	/	18	/	/	/	/	/	4
Rektor	/	/	/	23	58	<u>80</u>	<u>1</u>	/	/	11	30	14
Toronto	6	20	48	33	<u>113</u>	55	<u>12</u>	6	7	18	<u>33</u>	7
Winni	/	/	/	14	27	44	/	/	/	11	12	8
Zentos	34	25	/	34	58	/	4	7	/	8	10	/
Ø	28	22	32	28	56	44	5	7	4	15	17	11

0 = höchster Toxin-Gehalt

/ = nicht untersucht

Microdochium nivale

Im Vergleich zum Kornbefall mit toxinbildenden *Fusarium*-Arten war der Befall mit *M. nivale* deutlich höher (Tab. 35). Im Jahr 1997 war die Befallshäufigkeit der Körner zwischen 4 % in Blankenheim und 26,5 % in Velbert. Am Standort Blankenheim variierte die Befallshäufigkeit der Sorten zwischen 1 – 6 %, in Velbert erreichte sie 13 %. An beiden Standorten konnten keine signifikanten Sortenunterschiede nachgewiesen werden. Am Standort Hennef erwiesen sich die Sorten 'Batis' und 'Ambras' mit einem Kornbefall von 2,5 % bzw. 6 % als signifikant weniger anfällig gegenüber *M. nivale* als die übrigen Sorten mit einem Befall von mehr als 14 %. Im folgenden Jahr lag die Befallshäufigkeit am Standort Blankenheim bei nur 1 %, in Hennef dagegen bei 33 %.

An den Standorten Blankenheim und Velbert war die maximale Befallsdifferenz zwischen den Sorten mit 3,5 % bzw. 7 % für signifikante Unterschiede zu gering. Am Standort Hennef wies die Sorte 'Petrus' mit 9 % den weitaus geringsten Befall auf, auch 'Toronto' und

‘Winni’ waren mit 20,5 % weniger stark befallen als die restlichen Sorten mit mehr als 25 % Befallshäufigkeit. Im Jahr 1999 trat *M. nivale* mit einer Befallshäufigkeit von 0 - 1,5 % nur sehr selten an den Körnern auf.

Der Vergleich über drei Jahre und drei Standorte zeigte eine große Variabilität des Befalls einer Sorte z.B. ‘Petrus’, die 1997 mit 27 % stark befallen war, im nächsten Jahr mit 9 % aber zu den Sorten mit der geringsten Befallshäufigkeit gehörte. Im Mittel erwiesen sich die Sorten ‘Carolus’ und ‘Astron’ mit einer Befallshäufigkeit von 14 % bzw. 12 % gegenüber *M. nivale* als anfällig, ‘Winni’ und ‘Zentos’ mit durchschnittlich 4 % bzw. 5 % als weniger anfällig.

Tab. 35: Anfälligkeit verschiedener Winterweizensorten gegenüber einem Befall der Körner mit *M. nivale* an den Standorten Hennef, Velbert, Blankenheim in den Jahren 1997 - 1999.

Sorte	Befallshäufigkeit [%]									Ø
	1997			1998			1999			
	BL	VE	HE ^(OL)	BL	VE	HE ^(OL)	HE ^(OL)	HE ^(IL-)	HE ^(IL+)	
Ambras	6,0a	29,5a	6,0b	0,5a	9,0a	31,0a	0,5	0,5	1,5	9
Aristos	/	/	/	1,0a	15,5a	36,5a	1,5	1,0	1,0	9
Astron	3,5a	30,0a	19,0a	2,5a	<u>16,0a</u>	34,5a	0,5	1,0	0,5	12
Batis	1,0a	18,5a	2,5b	0,5a	12,5a	32,0a	0,5	0,0	1,0	9
Bold	/	/	/	1,0a	15,5a	44,5a	0,0	1,0	2,0	11
Carolus	<u>5,5a</u>	<u>31,5a</u>	<u>27,0a</u>	1,5a	20,0a	41,0a	0,5	0,5	1,0	14
Contra	/	/	/	1,0a	10,5a	40,5a	2,0	0,0	0,5	9
Flair	/	/	/	<u>3,5a</u>	12,0a	26,0a	1,5	0,5	1,0	6
Pegassos	4,0a	26,0a	19,0a	0,5a	14,5a	41,0a	1,5	0,5	2,0	9
Petrus	/	/	<u>27,0a</u>	/	/	9,0c	0,0	0,0	0,5	7
Rektor	/	/	/	0,5a	10,0a	<u>48,5a</u>	1,0	0,0	0,5	10
Toronto	3,5a	19,0a	15,0a	0,5a	9,0a	20,5b	1,5	1,0	1,0	8
Winni	/	/	/	0,0a	11,0a	20,5b	0,0	0,0	0,5	4
Zentos	1,5a	30,0a	/	1,5a	<u>16,0a</u>	/	1,5	/	/	5
Ø	4	27	15	1	13	33	1	0,5	1	

(OL) = Flächen des Organischen Landbaus

0 = Sorte mit höchstem Befall

(IL) = Flächen des integrierten Landbaus (- unbehandelt; + behandelt)

/ = nicht untersucht

Werte mit verschiedenen Buchstaben in einer Spalte unterscheiden sich signifikant nach Tukey-Test ($p \leq 0,05$)

Einfluss pflanzenmorphologischer Eigenschaften

In diesen Untersuchungen sollte der Einfluss der Pflanzenmorphologie auf die Befallshäufigkeit mit *Fusarium* spp. und *M. nivale* erfasst werden. Dafür wurden 1997 und

1999 die Halmlänge und der Abstand des Fahnenblattes zur Ähre der einzelnen Sorten vermessen, zusätzlich wurde 1999 die Kompaktheit der Ähre anhand des D-Wertes ermittelt.

Die Halmlänge der einzelnen Sorten war mit dem *Fusarium*-Befall negativ korreliert ($r = -0,86$; $p \leq 0,01$). Die Sorte mit den längsten Halmen war 1997 'Ambras', 1999 die neu hinzugekommene Sorte 'Winni', die 10 cm länger war als 'Ambras'. Der Befall der sieben untersuchten Sorten mit *Fusarium* spp. korrelierte 1997 am Standort Hennef auf Flächen des Organischen Landbaus mit der Halmlänge mit $r = -0,82$ ($p \leq 0,01$) sehr gut (Tab. 36). Im Jahr 1999 wurde das Sortenspektrum um sechs Sorten erweitert und auch hier war der *Fusarium*-Befall der Sorten eng mit der Halmlänge korreliert. Auch die Befallsunterschiede von *M. nivale* wiesen einen Zusammenhang mit der Halmlänge auf. Die gesamte Halmlänge spiegelte sich im Abstand des Fahnenblattes zur Ähre wider, so dass diese Parameter synonym verwendet werden konnten ($r = 0,87$; $p \leq 0,01$). Der D-Wert und die Befallshäufigkeit mit *Fusarium* spp. bzw. *M. nivale* ließen keinen Zusammenhang erkennen.

Tab. 36: Korrelationsanalyse von Halmlänge bzw. D-Wert und der Befallshäufigkeit mit *Fusarium*-Arten bzw. *M. nivale* am Standort Hennef im Organischen Landbau 1997 (n = 7) und 1999 (n = 13).

	Halmlänge	<i>Fusarium</i> -Arten	<i>M. nivale</i>	D-Wert
1997				
Halmlänge	1			
<i>Fusarium</i> -Arten	-0,82*	1		
<i>M. nivale</i>	-0,68	0,42	1	
1999				
Halmlänge	1			
<i>Fusarium</i> -Arten	-0,56*	1		
<i>M. nivale</i>	-0,66*	0,72*	1	
D-Wert	0	0,48	-0,15	1

*= signifikant ($p \leq 0,05$)

Angenommen wird, dass eine Sorte mit hoher Kornzahl je Ähre länger blüht als eine Sorte mit geringer Kornzahl je Ähre. Im Folgenden wurden zwei Sorten gegenübergestellt, die sich in den übrigen Merkmalen der beschreibenden Sortenliste (Ährenschieben, Reife, Wuchshöhe) möglichst nicht unterschieden. Für diesen Vergleich eigneten sich die Sorte 'Flair' mit einer hohen Kornzahl je Ähre und die Sorten 'Batis' und 'Bold', die laut Sortenliste eine geringe Kornzahl je Ähre haben. Der Mittelwert der Sorten über zwei Jahre und drei Standorten zeigte, dass die Sorte 'Flair' mit durchschnittlich 10,5 % einen höheren

Befall aufwies als die Sorte 'Bold' mit 4 %. Die Sorte 'Batis' wies mit 7,5 % befallenen Körnern einen mittleren Befallswert auf.

Im Jahr 1999 wurden die Untersuchungen am Standort Hennef auch auf Flächen des integrierten Anbaus durchgeführt und um Behandlungen mit Wachstumsreglern bzw. einer Blattapplikation mit Fungiziden erweitert (Abb. 33 und 34). Durch den höheren Infektionsdruck, der vom Boden der Flächen im integrierten Anbau ausging, zeigte sich der Einfluss der Halmlänge auf den Befall mit *Fusarium* spp. noch deutlicher ($r = -0,76$; $p \leq 0,01$). Der Effekt der Halmlänge wurde durch den Einsatz von Wachstumsreglern weitgehend aufgehoben (Abb. 34). Die Halme im integrierten Anbau blieben durchschnittlich um 10 cm kürzer. Der Befall mit *M. nivale* war auf den Flächen des integrierten Anbaus für eine Korrelationsanalyse mit der Halmlänge zu gering.

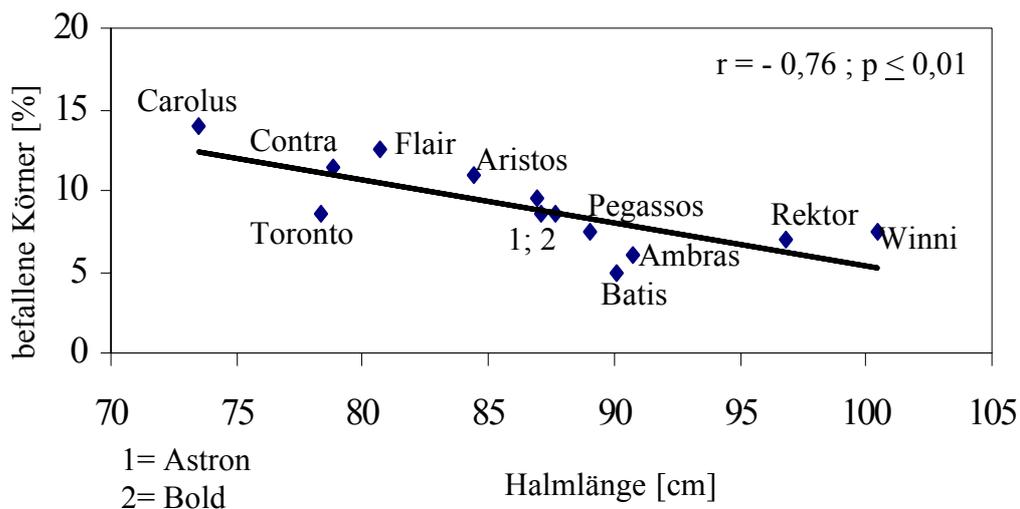


Abb. 33: Korrelation zwischen Halmlänge und *Fusarium*-Befall auf Flächen des integrierten Anbaus **ohne** Verwendung von Wachstumsreglern und Blattapplikation von Fungiziden (Hennef 1999).

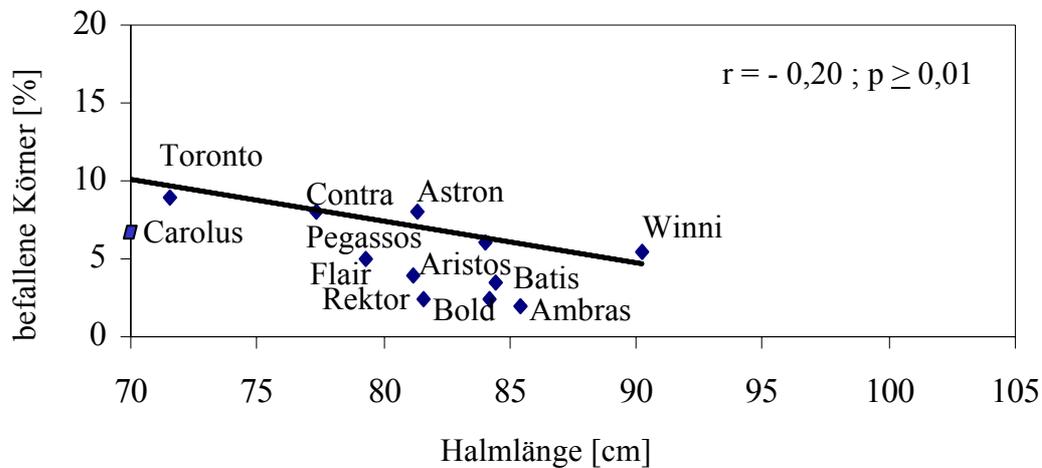


Abb. 33: Korrelation zwischen Halmlänge und *Fusarium*-Befall auf Flächen des integrierten Anbaus **mit** Verwendung von Wachstumsreglern und Blattapplikation von Fungiziden (Hennef 1999).

Einfluss der Sorte auf den Befall bei erhöhtem Infektionsdruck

Die Inokulation mit einem Gemisch von *F. culmorum*, *F. cerealis*, *F. avenaceum* und *F. poae* mit zwei verschiedenen Methoden führte zu unterschiedlich starken Krankheitsentwicklungen an den Ähren der Weizensorten. Die Sprühinokulation einer Mischung der *Fusarium*-Arten mit einer Sporendichte von 5×10^5 Sporen/ml zu BBCH 65 führte zu einer durchschnittlichen Befallshäufigkeit von 63,5 %, mit maximal 86 % befallener Körner bei der Sorte 'Toronto' (Abb. 35). Die Sorte 'Winni' wies mit 36 % die geringste Anfälligkeit auf. Die am häufigsten isolierte *Fusarium*-Art war *F. culmorum* (56 %), gefolgt von *F. cerealis* (37 %), *F. poae* (5 %) und *F. avenaceum* (2 %).

Der mittlere DON-Gehalt der Körner war mit $10474 \mu\text{g}/\text{kg}$ sehr hoch. Der höchste Gehalt wurde für 'Toronto' ($15487 \mu\text{g}/\text{kg}$) ermittelt, die Sorte mit der höchsten Befallshäufigkeit mit *Fusarium* spp.. Der geringste Gehalt von $5481 \mu\text{g}/\text{kg}$ wurde für 'Ambras' mit einer Befallshäufigkeit der Körner von 45 % gemessen. Hingegen lag der DON-Gehalt von 'Winni,' der am geringsten befallenen Sorte, mit $10315 \mu\text{g}/\text{kg}$ im mittleren Bereich.

Der Infektionserfolg einer Inokulation mit Körnern die mit Myzel verschiedener *Fusarium*-Arten bewachsen waren und zu BBCH 37 auf dem Boden ausgebracht worden waren, war stärker von der Witterung abhängig, da das Pathogen zum einen im Bestand überleben und zum anderen erst in die Ähre gelangen muss; zudem mussten auch die Umweltbedingungen

während der Getreideblüte eine Infektion ermöglichen. Die mittlere Befallshäufigkeit lag nach Verwendung des Körnerinokulums mit 9 % genauso hoch wie bei den nicht inokulierten Pflanzen. Allerdings kam es zu einer Verschiebung in der Zusammensetzung der auftretenden Arten; anstelle von *F. poae* kam nun mit 41 % *F. culmorum* am häufigsten vor, gefolgt von *F. avenaceum* mit 25 % und *F. poae* und *F. cerealis* mit jeweils 16 %. Der durchschnittliche DON-Gehalt lag mit 364 µg/kg wesentlich niedriger als bei der Sprühinokulation, aber über dem Wert der nicht inokulierten Ähren. Den geringsten DON-Gehalt wies die Sorte 'Rektor' mit 171 µg/kg auf. 'Astron' hatte trotz des geringen Befalls von 5 % einen hohen Toxin-Gehalt von 705 µg/kg.

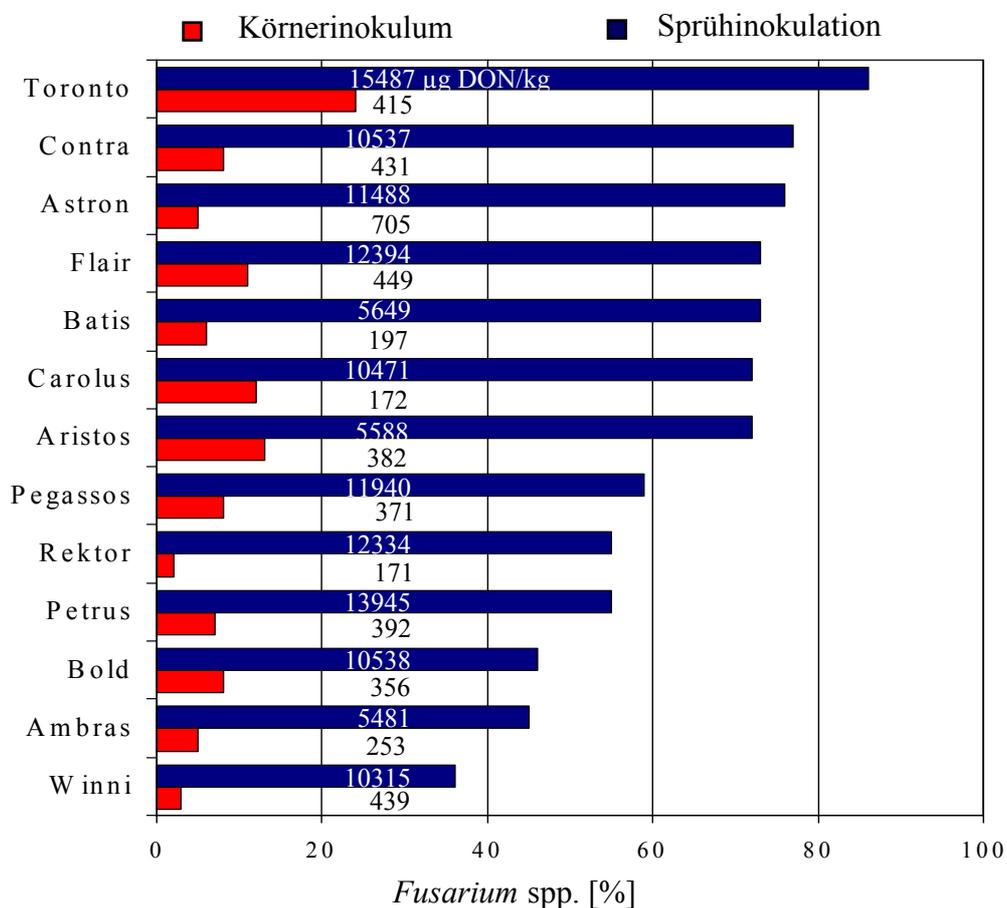


Abb. 35: Einfluss des Weizengenotyps auf die Befallshäufigkeit des *Fusarium*-Befalls und den Deoxynivalenol-Gehalt (DON) von Weizenkörnern nach Sprühinokulation (BBCH 65) bzw. mittels Körnerinokulum (BBCH 37) mit einer Sporendichte von 5×10^5 *Fusarium*-Sporen/ml (Mischung aus *F. avenaceum*, *F. cerealis*, *F. culmorum*, *F. poae*) am Standort Hennef (1999).

Von jeder Sorte wurde das Spektrum der inokulierten Arten (*F. culmorum*, *F. cerealis*, *F. poae*, *F. avenaceum*) ermittelt (Tab. 37). Der Anteil der isolierten Arten variierte zwischen den Sorten erheblich. *F. culmorum* hatte einen Anteil von 30 % bis 91 % am Gesamtbefall, ähnlich lag der Anteil von *F. cerealis* zwischen 7 und 58 %. An den Sorten 'Bold', 'Ambras' und 'Winni' trat *F. culmorum* seltener auf als an den anderen Sorten. Diese Sorten hatten auch den geringsten Gesamtbefall. Die Befallshäufigkeit von *F. culmorum* und die aller *Fusarium*-Arten zusammen waren miteinander korreliert ($r = 0,64$; $p \leq 0,05$). Es ließ sich kein Zusammenhang zwischen der Befallshäufigkeit DON-Bildner und dem DON-Gehalt nachweisen.

Tab. 37: Prozentualer Anteil der *Fusarium*-Arten, mit denen die Sprühinokulation in die Blüte durchgeführt wurde, am Gesamtbefall der einzelnen Sorten, Hennef 1999.

Sorte	Anfälligkeit	Anteil [%]			
		<i>F. avenaceum</i>	<i>F. culmorum</i>	<i>F. cerealis</i>	<i>F. poae</i>
Toronto		1	91	7	1
Contra		5	62	31	1
Astron		1	51	26	21
Batis		1	88	11	1
Flair		1	74	22	3
Aristos		1	60	35	4
Carolus		1	53	44	3
Pegassos		1	56	42	2
Petrus		1	64	24	13
Rektor		4	85	11	1
Bold		9	30	57	4
Ambras		4	31	58	7
Winni		0	39	58	3
Ø		2	56	37	5

Einfluss auf Tausendkornmasse und Flächenertrag bei erhöhtem Infektionsdruck

Die zusätzliche Inokulation der *Fusarium*-Arten führte zu einer erheblichen Reduktion des Flächenertrags und der Tausendkornmasse (Tab. 38). Hierbei waren bei den Sorten erhebliche Unterschiede festzustellen. Bei der Sorte 'Winni' führte eine Befallshäufigkeit der Körner von 36 % mit *Fusarium* spp. zu einem Ertragsverlust von 41 %, hingegen wurde der Ertrag von 'Toronto' bei einer Befallshäufigkeit von 86 % nur um 37 % reduziert. Der größte

Ertragsverlust von 60 % wurde für die Sorte 'Carolus' bei 72 % befallener Körner festgestellt. Dabei war auch die TKM mit 30 % am stärksten reduziert. Im Vergleich dazu reagierte die Sorte 'Toronto' nur mit einer Reduktion der TKM um 9 %.

Sortenmischungen

Der Anbau von Sortenmischungen zur Verringerung des Krankheitsbefalls an Blättern und Ähren wurde in den Vegetationsperioden 1996/97 und 1997/98 untersucht. Die Sorten 'Toronto', 'Piko', 'Mikon' und 'Pegassos' wurden als Reinsaat bzw. als Mischung einer Sorte mit planophiler und einer mit erektophiler Blattstellung ausgesät. Der Kornbefall mit *Fusarium* spp. war 1997 im Durchschnitt aller in Reinsaat ausgesäten Sorten mit 4,6 % sehr gering.

Tab. 38: Einfluss einer Sprühinokulation mit einem Gemisch aus *F. culmorum*, *F. cerealis*, *F. avenaceum*, und *F. poae* (5×10^5 Sporen/ml) auf den Flächenertrag und die Tausendkornmasse von Weizensorten (Hennef 1999).

Anfälligkeit	Sorte	Flächenertrag		Tausendkornmasse	
		[dt/ha]	Reduktion [%]	[g]	Reduktion [%]
	Toronto	45,2	-37	46,3	-9
	Contra	42,0	-41	44,0	-4
	Astron	40,9	-48	43,6	-7
	Batis	48,7	-41	47,7	-13
	Flair	54,0	-17	47,5	-3
	Aristos	50,9	-29	50,0	-14
	Carolus	26,6	<u>-60</u>	35,7	<u>-30</u>
	Pegassos	47,4	-47	51,4	-10
	Petrus	42,0	-49	42,0	-13
	Rektor	50,0	-35	46,8	-2
	Bold	54,7	-36	49,2	0
	Ambras	44,1	-34	46,2	-19
	Winni	44,3	-41	47,7	-17

\underline{x} = höchster Verlust

Die planophilen Sorten wiesen einen Befall von 4 % auf, die erektophilen von 5,5 %. Die Variationsbreite zwischen den Sorten war mit 2 – 7 % gering. Bei der Mischsaat der Sorten 'Xanthos' und 'Pegassos' lag der Befall mit 3 % zwischen den Werten der Sorten in Reinsaat

(6 bzw. 2 %). Bei der Mischung von 'Toronto' mit 'Mikon' lag er sogar geringfügig unter dem der in Reinsaat am wenigsten anfälligen Sorte 'Mikon'. Im Gegensatz dazu ergab die Sortenmischung von 'Piko' (4 % Befall bei Reinsaat) und 'Toronto' (7 % Befall bei Reinsaat) mit 14 % einen deutlich höheren Kornbefall.

Zwei der drei Sortenmischungen wiesen einen geringeren Befall mit *M. nivale* auf. Der Kornbefall der Mischung lag auf dem Niveau der in Reinsaat am wenigsten befallenen Sorte. Die Befallsreduktion erreichte bei den Mischungen 'Toronto'/'Piko' und 'Xanthos'/'Pegassos' bis zu 40 %. Lediglich bei der Mischung 'Toronto'/'Mikon' zeigte sich kein Effekt auf den Befall mit *M. nivale*. Bei einer deutlich höheren Befallsrate im Jahr 1998 ließen sich diese Ergebnisse jedoch nicht bestätigen, so dass Sortenmischungen nicht als Maßnahme zur Reduktion eines *Fusarium*-Befalls der Ähre in Betracht kommen.

Sommerweizen

Neben Winterweizen wurden in Hennef auch zwei Sommerweizen-Sorten ('Thasos', 'Nandu') untersucht: 'Thasos' 1998 auf Flächen des Organischen Landbaus, 1999 neben dieser Sorte auch 'Nandu' auf Flächen im Organischen Landbau wie im integrierten Anbau. Die Befallshäufigkeit der Körner mit *Fusarium* spp. von 2,5 % und der DON-Gehalt von 92 µg/kg lagen im Jahr 1998 im Vergleich zum Winterweizen auf dem gleichen Standort deutlich niedriger (Tab. 39). Durchschnittlich 14 % der Winterweizenkörner waren mit *Fusarium* spp. infiziert und wiesen einen DON-Gehalt von 182 µg/kg auf. Auch der Anteil mit *M. nivale* befallener Körner war mit 6 % wesentlich geringer als der des Winterweizens mit durchschnittlich 33 %.

Im Jahr 1999 war die Befallshäufigkeit mit 3,5 % kaum höher als im Vorjahr, der DON-Gehalt war mit 37 µg/kg noch geringer. Der niedrige DON-Gehalt ließ sich auf das Spektrum der auftretenden Arten zurückführen. So machten 1998 die DON-bildende Art *F. graminearum* 11 % des Gesamtbefalls aus, *F. culmorum* wurde nicht nachgewiesen. Im Jahr 1999 trat *F. culmorum* zu 4 % auf, *F. graminearum* wurde nicht nachgewiesen. Im Vergleich zum Sommerweizen lagen die durchschnittliche Befallshäufigkeit des Winterweizens mit 4 % *Fusarium* spp. und der DON-Gehalt mit 45 µg/kg 1999 auf nahezu gleichen Niveau. *M. nivale* trat 1999 mit einer Befallshäufigkeit von 1% sehr selten auf und lag somit ebenfalls auf dem gleichen Niveau wie im Winterweizen.

Die Befallshäufigkeit des Sommerweizens lag 1999 auf integrierten Anbauflächen auf dem gleichen Niveau wie im Organischen Landbau 1999 und 1998. Allerdings unterschieden sich die Sommerweizensorten: Die Körner der Sorte 'Nandu' waren fast doppelt so oft mit *Fusarium* spp. befallen wie die Sorte 'Thasos'.

Die Ertragsdaten zeigten, dass im Organischen Landbau die Differenz zwischen Winter- und Sommerweizen nicht sehr groß ist. Im Jahr 1998 erbrachte die Sommerfrucht einen um 13,5 dt/ha, 1999 um 12 dt/ha geringeren Ertrag als der Winterweizen.

Tab. 39: Befalls- und Ertragsdaten der Sommerweizen-Versuche am Standort, Hennef 1998 und 1999.

	Organischer Landbau		integrierter Landbau	
	1998	1999	1999	1999
	Thasos	Thasos	Thasos	Nandu
<i>Fusarium</i> spp. [%]	2,5	3,5	3,5	6
DON [µg/kg]	92	37	47	65
<i>M. nivale</i> [%]	6	1	0	0,5
Ertrag [dt/ha]	44	39	58	53
TKM [g]	38	40	45	44

3.2.4.3 Untersaaten

In Tabelle 40 ist der Einfluss einer Kleeuntersaat auf das Auftreten von *Fusarium* spp. zusammengefasst. Die Weizenkörner der Sorte 'Xanthos' wiesen ohne Untersaat mit 0,5 % den geringsten Besatz mit *Fusarium* spp. auf. Durch die Einsaat des Klees kam es zu einer signifikanten Erhöhung des *Fusarium*-Befalls der Körner. Der *Fusarium*-Befall lag bei der Rotklee-Untersaat bei 4 %, bei der Weißklee-Untersaat bei 5,5 %. Bei einer Untersaat mit Inkarnatklee war die Befallshäufigkeit von *Fusarium* spp. mit 9 % signifikant höher. Die Zusammensetzung der *Fusarium*-Arten entsprach dem Vorkommen des Jahres 1999 an diesem Standort (vergleiche Abb. 13). Die Befallshäufigkeit von *M. nivale* war sehr gering. Der DON-Gehalt der Körner spiegelte die Ergebnisse des *Fusarium*-Besatzes wider (Tab. 40).

Der Kornertrag wurde durch die Untersaaten nicht beeinflusst und lag bei 40 - 44 dt/ha. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass zur Zeit der Ernte der Weißklee noch grün war und somit Feuchtigkeit in das Erntegut brachte. Inkarnatklee und Rotklee wuchsen gleichzeitig mit dem Weizen hoch und hielten so den Bestand feucht (Abb. 39).

Tab. 40: Einfluss einer Untersaat mit verschiedenen Klee-Arten auf das Auftreten von *Fusarium* spp. und *M. nivale* sowie den DON-Gehalt von Weizen ('Xanthos'; Hennef; 1999). Werte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant; Tukey-Test ($p \leq 0,05$).

	ohne Untersaat	Rotklee	Weißklee	Inkarnatklee
<i>Fusarium</i> spp. [%]	0,5 a	4 b	5,5 bc	9 c
<i>M. nivale</i> [%]	0	0	0	0,5
DON-Gehalt [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	60	77	94	91
Ertrag [dt/ha]	44	40	41	43



Abb. 39: Untersaat im Weizenbestand mit Weißklee

3.2.4.4 Einfluss von Fungizidbehandlungen

Im Weizenanbau können pflanzenbauliche Maßnahmen, wie auch eine Fungizidmaßnahme, zur Reduktion des Befalls durch *Fusarium* spp. und *M. nivale* führen. Untersucht wurde die Wirksamkeit verschiedener synthetischer Wirkstoffe und unterschiedlicher Applikationszeitpunkte auf *M. nivale* und die wichtigen *Fusarium*-Arten *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. poae*, *F. tricinctum* und *F. sporotrichioides*.

3.2.4.5.1 *In vitro*- Wirkung auf Myzelwachstum und Keimung

In Vorarbeiten hatte sich 70 % Aceton als günstigstes Lösungsmittel für die fungiziden Wirkstoffe herausgestellt; es ermöglichte eine gute Lösung der Wirkstoffe und hatte die geringsten Auswirkungen auf das Pilzwachstum. Die Wirkung der fungiziden Wirkstoffe wurde je nach *Fusarium*-Art an 4 bis 10 Isolaten untersucht, um auch die Variabilität der Fungizidsensitivität innerhalb der Arten erfassen zu können (Abb. 40). Das Wachstum der 10 untersuchten Isolate von *F. culmorum* wurde durch die fungiziden Wirkstoffe Metconazol und Tebuconazol gleichermaßen reduziert (Abb. 38). Bei den anderen *Fusarium*-Arten und *M. nivale* waren jeweils zwei Isolate vorhanden, die sich in ihrer Reaktion gegenüber den fungiziden Wirkstoffen signifikant von einander unterschieden, aber nicht von den übrigen

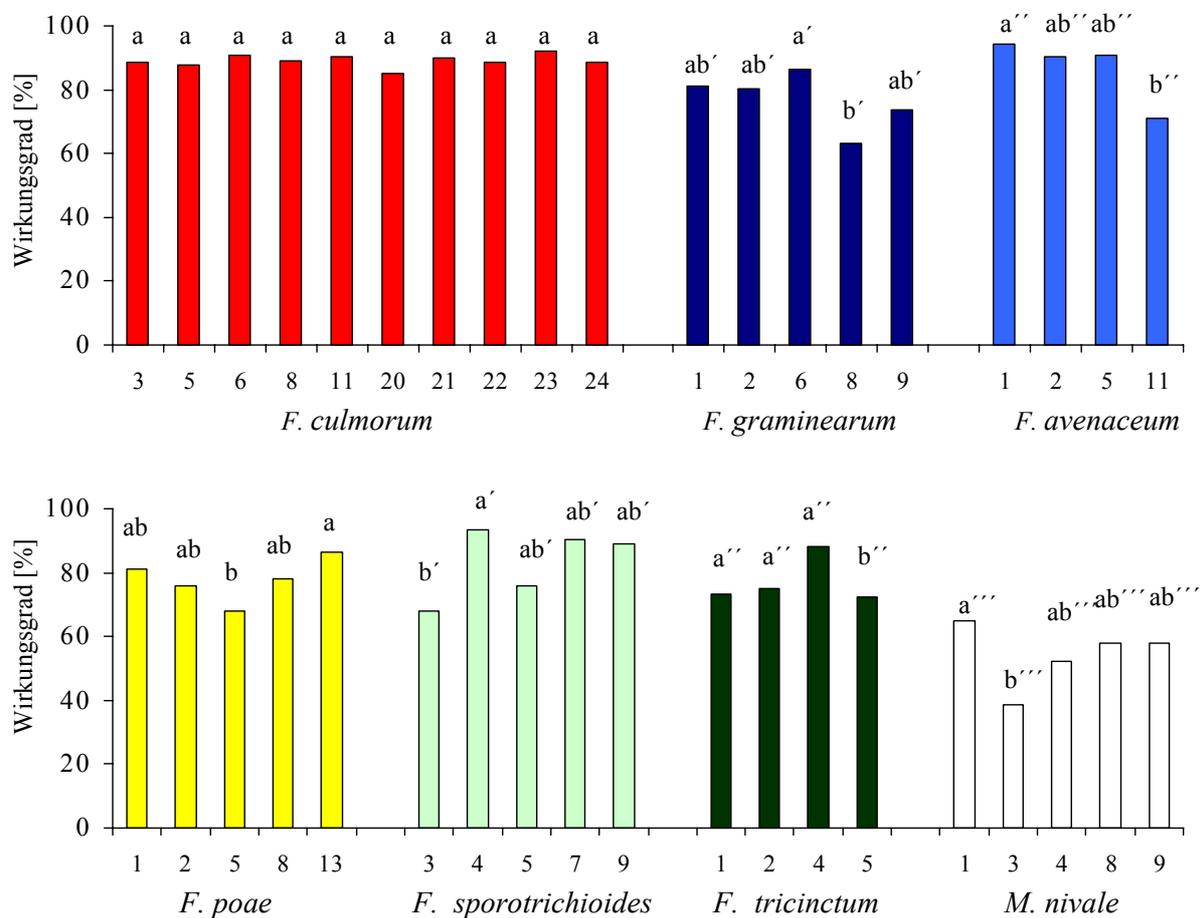


Abb. 40: Wirksamkeit der fungiziden Wirkstoffe Metconazol und Tebuconazol auf das Myzelwachstum verschiedener *Fusarium*-Isolate von *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. avenaceum*, *F. poae*, *F. tricinctum*, *F. sporotrichioides* und Isolate von *M. nivale*; Balken mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant (Tukey-Test, $p \leq 0,05$; Mittel der beiden Wirkstoffe).

Isolaten der gleichen Art. Für die weiteren Untersuchungen wurden Isolate ausgewählt, die sich nicht signifikant von den anderen der gleichen Art unterschieden. Ziel der *in vitro*-Untersuchungen war es, Wirkstoffe zu finden, die das Myzelwachstum von *Fusarium* spp. und *M. nivale* hemmen. Zunächst wurden zwei Azol-Fungizide getestet, von denen Tebuconazol als wirksamer Standard bekannt war, der mit dem neuen Azol-Wirkstoff Metconazol verglichen wurde (Tab. 41). Untersuchungen mit den Wirkstoffen an verschiedenen *Fusarium*-Arten zeigten, dass beide mit durchschnittlichen ED₅₀-Werten von 0,1 ppm für Metconazol bzw. 0,5 ppm für Tebuconazol eine gute Wirksamkeit gegenüber den *Fusarium*-Arten aufwiesen. Hingegen war die Wirkung gegenüber *M. nivale* mit einem ED₅₀-Wert von < 1 ppm deutlich geringer. Die Wirkstoffe wirkten unterschiedlich gut auf die einzelnen *Fusarium*-Arten; eine Ausnahme bildete *F. culmorum*, die mit einem ED₅₀-Wert von 0,1 ppm von beiden fungiziden Wirkstoffen gleich gut gehemmt wurde.

Tab. 41: Zusammenstellung der ED₅₀- bzw. ED₉₀-Werte der Azolfungizide Metconazol und Tebuconazol auf das Myzelwachstum von *Fusarium* spp. bzw. *M. nivale* auf Potato-Dextrose-Agar.

Myzelwachstum	Metconazol [ppm]		Tebuconazol [ppm]	
	ED ₅₀	ED ₉₀	ED ₅₀	ED ₉₀
<i>F. culmorum</i>	< 0,10	< 1	< 0,1	< 1
<i>F. graminearum</i>	< 0,10	< 1	< 0,5	< 5
<i>F. avenaceum</i>	< 0,05	< 1	< 0,5	< 1
<i>F. poae</i>	< 0,05	< 1	< 0,5	< 5
<i>F. sporotrichioides</i>	< 0,05	< 1	< 0,5	< 1
<i>F. tricinctum</i>	< 0,10	< 1	< 0,5	< 5
<i>M. nivale</i>	< 1,00	< 5	< 1,0	< 5

Metconazol wirkte auf *F. graminearum*, *F. avenaceum*, *F. poae*, *F. sporotrichioides* und *F. tricinctum* schon in geringeren Konzentrationen als Tebuconazol. Auch wurden weitere Wirkstoffe wie Epoxiconazol, Fenpropimorph und Azoxystrobin hinzugezogen, um auch *M. nivale* miterfassen zu können (Tab. 42 - 46). Daneben wurde untersucht, ob sich die Wirkstoffe auf die Sporenkeimung und/oder auf das Keimschlauchlängenwachstum auswirken. Metconazol hatte eine sehr geringe Wirkung auf die Keimung der verschiedenen Sporen von *Fusarium* spp. und *M. nivale* (Tab. 42). Nur gegenüber *M. nivale*, *F. avenaceum* und *F. tricinctum* war eine schwache Wirkung zu erkennen. Das Keimschlauchlängenwachstum hingegen wurde stark reduziert. Der ED₅₀-Wert lag bei *F. culmorum* bei 0,05 ppm, für *F. graminearum* bei 0,5 ppm, für *F. avenaceum*,

F. sporotrichioides und *F. tricinctum* bei 0,1 ppm. Für *F. poae* wurde der ED₅₀-Wert erst bei 1 ppm erreicht. Auf *M. nivale* wurde mit den untersuchten Konzentrationen keine Wirkung erzielt.

Tab. 42: Einfluss von Caramba® (Metconazol) auf Myzelwachstum, Sporenkeimung und Keimschlauchlängenwachstum von *Fusarium*-Arten bzw. *M. nivale* auf Potato-Dextrose-Agar.

	Sporenkeimung		Keimschlauchwachstum		Myzelwachstum	
	ED ₅₀	ED ₉₀	ED ₅₀	ED ₉₀	ED ₅₀	ED ₉₀
<i>F. culmorum</i>	-	-	< 0,05	< 5	< 0,1	< 0,5
<i>F. graminearum</i>	-	-	< 0,50	-	< 0,5	< 5,0
<i>F. avenaceum</i>	< 1	< 5	< 0,10	< 5	< 0,5	< 5,0
<i>F. poae</i>	-	-	< 1,00	-	< 0,5	< 10,0
<i>F. sporotrichioides</i>	< 10	-	< 0,10	< 10	< 0,1	< 0,5
<i>F. tricinctum</i>	< 1	< 10	< 0,10	-	< 0,1	< 1,0
<i>M. nivale</i>	< 1	< 1	<10,00	-	< 5,0	-

- = ED₅₀ bzw. ED₉₀ mit den untersuchten Konzentrationen, d.h. mit 10 ppm, nicht erreicht

Tebuconazol zeigte in den untersuchten Konzentrationen keine Wirkung auf die Sporenkeimung (Tab. 43). Das Keimschlauchlängenwachstum und das Myzelwachstum wurden wie bei Metconazol stark gehemmt. Tebuconazol erreichte im Gegensatz zu Metconazol, das bereits bei einer Konzentration von 0,3 ppm wirksam war, erst bei 1,1 ppm eine 50 %ige Wachstumsreduktion. Die beiden Wirkstoffe zeigten eine vergleichbare Wirkung auf die *Fusarium*-Arten, jedoch reduzierte Metconazol *F. graminearum* effektiver als Tebuconazol.

Tab. 43: Einfluss von Folicur® (Tebuconazol) auf Myzelwachstum, Sporenkeimung und Keimschlauchlängenwachstum von *Fusarium*-Arten bzw. *M. nivale* auf Potato-Dextrose-Agar.

	Sporenkeimung		Keimschlauchwachstum		Myzelwachstum	
	ED ₅₀	ED ₉₀	ED ₅₀	ED ₉₀	ED ₅₀	ED ₉₀
<i>F. culmorum</i>	-	-	< 0,5	< 10	< 0,5	< 1,0
<i>F. graminearum</i>	-	-	< 0,5	-	< 5,0	< 10,0
<i>F. avenaceum</i>	-	-	< 0,1	-	< 0,5	< 5,0
<i>F. poae</i>	-	-	< 0,5	-	< 0,1	< 5,0
<i>F. sporotrichioides</i>	-	-	< 10,00	-	< 0,1	< 0,5
<i>F. tricinctum</i>	-	-	< 10,00	-	< 0,5	< 0,5
<i>M. nivale</i>	-	-	-	-	< 5,0	<10,0

- = ED₅₀ bzw. ED₉₀ mit den untersuchten Konzentrationen, d.h. mit 10 ppm, nicht erreicht

Epoxiconazol zeigte gegenüber *Fusarium*-Arten erst in hohen Konzentrationen eine Wirkung auf das Keimschlauchlängenwachstum und auf das Myzelwachstum (Tab. 44 und 45).

Fenpropimorph besitzt als systemischer Wirkstoff eine Art „Schlitteneffekt“ für andere Wirkstoffe, d.h. es fördert die Aufnahme anderer Wirkstoffe und verbessert so ihre Wirkung. Fenpropimorph zeigte bei den untersuchten Konzentrationen keine Wirkung gegenüber *Fusarium*-Arten (Tab. 45). Nur gegenüber *M. nivale* wurde mit einem ED₅₀-Wert von 0,05 ppm eine hemmende Wirkung auf das Myzelwachstum festgestellt.

Tab. 44: Einfluss von Opus[®] (Epoxiconazol) auf Myzelwachstum, Sporenkeimung und Keimschlauchlängenwachstum von *Fusarium*-Arten bzw. *M. nivale* auf Potato-Dextrose-Agar.

	Sporenkeimung		Keimschlauchwachstum		Myzelwachstum	
	ED ₅₀	ED ₉₀	ED ₅₀	ED ₉₀	ED ₅₀	ED ₉₀
<i>F. culmorum</i>	-	-	< 1,0	-	< 5,0	< 10
<i>F. graminearum</i>	-	-	< 0,5	< 10	< 10,0	-
<i>F. avenaceum</i>	-	-	< 0,1	< 10	-	> 10
<i>F. poae</i>	-	-	< 0,5	-	< 5,0	-
<i>F. sporotrichioides</i>	-	-	-	-	< 0,5	< 5
<i>F. tricinctum</i>	-	-	< 10,0	-	< 5,0	-
<i>M. nivale</i>	< 5	-	-	-	< 5,0	< 10

- = ED₅₀ bzw. ED₉₀ mit den untersuchten Konzentrationen, d.h. mit 10 ppm, nicht erreicht

Tab. 45: Einfluss von Corbel[®] (Fenpropimorph) auf Myzelwachstum, Sporenkeimung und Keimschlauchlängenwachstum von *Fusarium*-Arten bzw. *M. nivale* auf Potato-Dextrose-Agar.

	Sporenkeimung		Keimschlauchwachstum		Myzelwachstum	
	ED ₅₀	ED ₉₀	ED ₅₀	ED ₉₀	ED ₅₀	ED ₉₀
<i>F. culmorum</i>	-	-	-	-	-	-
<i>F. graminearum</i>	-	-	-	-	-	-
<i>F. avenaceum</i>	-	-	-	-	-	-
<i>F. poae</i>	-	-	-	-	-	-
<i>F. sporotrichioides</i>	-	-	-	-	-	-
<i>F. tricinctum</i>	-	-	< 5	-	-	-
<i>M. nivale</i>	< 5	-	-	-	< 0,05	< 0,5

- = ED₅₀ bzw. ED₉₀ mit den untersuchten Konzentrationen, d.h. mit 10 ppm, nicht erreicht

Im Vergleich zu den Azolen und dem Morpholin reduzierte das Strobilurin Azoxystrobin die Keimung der Sporen von *Fusarium* spp. und *M. nivale* (Tab. 46). Die Keimung der *Fusarium*-

Sporen wurde erst bei einer Konzentration von 1 – 5 ppm reduziert. Eine Ausnahme war *F. culmorum*, dessen Keimfähigkeit erst ab Konzentrationen von 10 ppm beeinträchtigt war. Demgegenüber wurden die Sporen von *M. nivale* schon bei einer Konzentration von < 0,05 ppm zu 90 % gehemmt. Auf das Myzelwachstum hatte der Wirkstoff Azoxystrobin keinen Einfluss.

Tab. 46: Einfluss von Amistar® (Azoxystrobin) auf Myzelwachstum, Sporenkeimung und Keimschlauchlängenwachstum von *Fusarium* spp. bzw. *M. nivale* auf Potato-Dextrose-Agar.

	<u>Sporenkeimung</u>		<u>Keimschlauchwachstum</u>		<u>Myzelwachstum</u>	
	ED ₅₀	ED ₉₀	ED ₅₀	ED ₉₀	ED ₅₀	ED ₉₀
<i>F. culmorum</i>	-	-	< 0,5	-	-	-
<i>F. graminearum</i>	< 5	-	< 0,5	< 5	-	-
<i>F. avenaceum</i>	< 1	< 5	< 0,5	< 5	< 5	-
<i>F. poae</i>	< 5	-	< 0,5	-	-	-
<i>F. sporotrichioides</i>	< 5	-	< 0,5	-	-	-
<i>F. tricinctum</i>	< 5	-	< 0,5	< 10	-	-
<i>M. nivale</i>	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 5	-

- = ED₅₀ bzw. ED₉₀ mit den untersuchten Konzentrationen, d.h. mit 10 ppm, nicht erreicht

3.2.4.5.2 Wirksamkeit auf Befall und Mykotoxinbelastung unter Freilandbedingungen

Unter Feldbedingungen wurde zu verschiedenen Entwicklungsstadien des Weizens die Wirkung von Tebuconazol, Metconazol, Epoxiconazol, Azoxystrobin, Kresoxim-methyl, Trifloxystrobin + Propiconazol und Fenpropimorph getestet. Des Weiteren wurden die Auswirkung der Kombination von Metconazol mit Azoxystrobin, Fenpropimorph oder Tebuconazol auf den Ährenbefall mit *Fusarium* spp. und *M. nivale*, den Kornertrag, die Tausendkornmasse (TKM) und den Gehalt an Deoxynivalenol im Erntegut ermittelt.

Vegetationsperiode 1996/1997

Im Jahr 1997 wurde Weizen der anfälligen Sorten 'Contra' und 'Ritmo' zu BBCH 32-37 mit Fenpropimorph und/oder Epoxiconazol behandelt. Die gezielte Bekämpfung der Ährenfusariosen erfolgte zu BBCH 65. Am Standort Hennef war der Befall des Ernteguts mit *Fusarium* spp. mit einer Befallshäufigkeit von 25 % in unbehandelten Parzellen relativ hoch (Abb. 41). Durch die Behandlung mit Tebuconazol wurde der Ährenbefall signifikant auf 9,5 % verringert, durch Metconazol auf 18 % befallene Körner. Die Kombination mit

Fenpropimorph führte zu keiner Veränderung des *Fusarium*-Befalls, reduzierte aber den Befall mit *M. nivale* signifikant gegenüber den reinen Azol-Behandlungen, in denen der Anteil an *M. nivale* gegenüber unbehandelten Pflanzen erhöht war. Am Standort Kerpen-Buir reduzierten beide Azol-Behandlungen den *Fusarium*-Befall signifikant gegenüber unbehandelten Pflanzen, die mit 32,5 % eine hohe Befallshäufigkeit der Körner aufwiesen. Metconazol und Tebuconazol reduzierten den Befall auf 13 % bzw. 26 %, hatten aber keine Wirkung auf den Befall mit *M. nivale*. Im Meckenheim war die Befallshäufigkeit von *Fusarium* spp. mit 19,5 % geringer. *M. nivale* wies mit weniger als 3% eine geringe Befallshäufigkeit auf. Beide Fungizide reduzierten den Ährenbefall an diesem Standort nur unwesentlich.

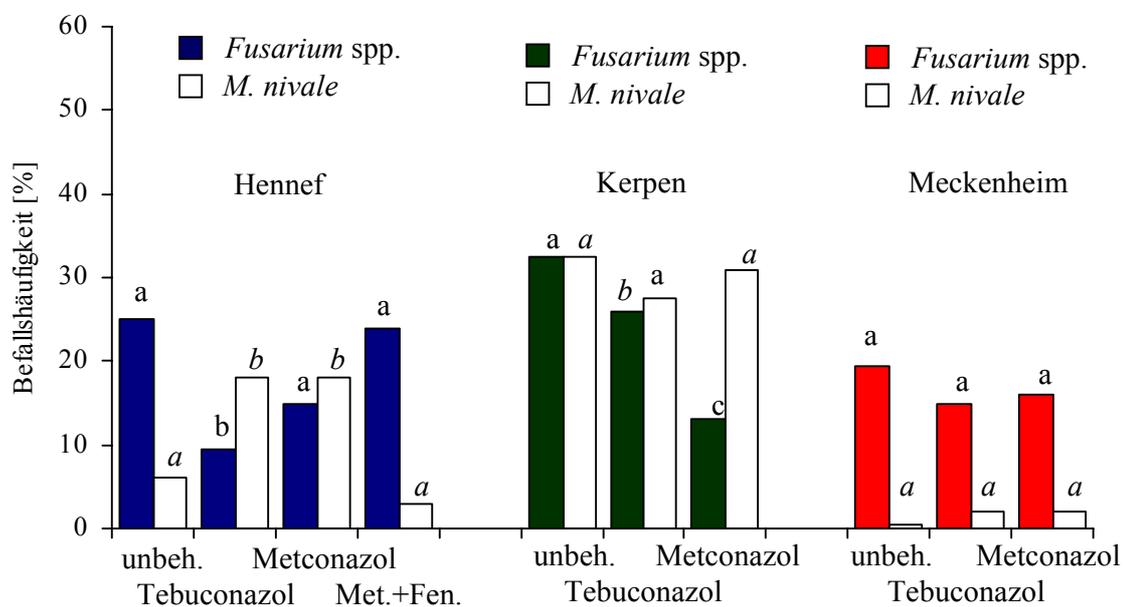


Abb. 41: Einfluss einer Fungizidbehandlung zu BBCH 65 auf den Befall von Weizenkörnern mit *Fusarium* spp. und *M. nivale* an den Standorten Hennef, Kerpen-Buir und Meckenheim im Jahr 1997 (cv. 'Contra' bzw. 'Ritmo' in Kerpen; Balken mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant; Kruskal-Wallis Test ($p \leq 0,05$); unbeh. = ohne Ährenbehandlung, Met. = Metconazol, Fen. = Fenpropimorph.

Der Deoxynivalenol-Gehalt der unbehandelten Pflanzen war 1997 in Meckenheim mit 52 µg/kg gering, in Hennef mit 97 µg/kg und in Kerpen mit 382 µg/kg deutlich höher (Tab. 47). Alle Fungizid-Behandlungen reduzierten den DON-Gehalt durchschnittlich um 50 %. Die Wirkung der Fungizid-Applikation auf den DON-Gehalt konnte auf Grund fehlender Messwiederholungen statistisch nicht verrechnet werden. Die ermittelte Befallshäufigkeit war 1997 mit dem DON-Gehalt des Ernteguts korreliert ($r = 0,66$; $p \leq 0,05$).

Der Ertrag war am Standort Kerpen mit 120 dt/ha am höchsten, an den Standorten Hennef und Meckenheim lag er bei 70 bzw. 78 dt/ha (Tab. 48). Die Fungizid-Applikationen zu BBCH 65 hatten an allen drei Standorten nur geringe Auswirkungen auf die Tausendkornmasse und den Flächenertrag.

Tab. 47: Einfluss von Fungizidbehandlungen zum Zeitpunkt der Vollblüte auf den Deoxynivalenol-Gehalt von Winterweizenkörnern von drei Standorten im Jahr 1997 (cv. 'Contra'; 'Ritmo' in Kerpen).

Behandlung	Deoxynivalenol [$\mu\text{g}/\text{kg}$]		
	Hennef	Kerpen	Meckenheim
unbehandelt	97	382	52
Tebuconazol	73	158	38
Metconazol	47	191	32
Metconazol + Fenpropimorph	57	- ¹⁾	- ¹⁾

¹⁾Variante nicht vorhanden

Tab. 48: Einfluss verschiedener Fungizidbehandlungen zu BBCH 65 auf den Kornertrag und die Tausendkornmasse von Winterweizen 1997 an den Standorten Hennef, Kerpen und Meckenheim (cv. 'Contra' bzw. 'Ritmo' in Kerpen).

Behandlung	Hennef		Kerpen		Meckenheim	
	Ertrag [dt/ha]	TKM[g]	Ertrag [dt/ha]	TKM [g]	Ertrag [dt/ha]	TKM [g]
unbehandelt	69,9 ^a	45,6	120,1 ^a	45,9	78,0 ^a	49,5
Tebuconazol	72,7 ^b	45,2	124,7 ^b	46,3	76,6 ^a	49,6
Metconazol	73,1 ^b	45,4	121,4 ^a	45,1	76,7 ^a	48,1
Metconazol + Fenpropimorph	72,7 ^b	45,6	- ¹⁾	- ¹⁾	- ¹⁾	- ¹⁾

Werte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant; ¹⁾Variante nicht vorhanden

Vegetationsperiode 1997/98

Im Jahr 1998 wurden die Untersuchungen erweitert, indem auch eine Kombination von Tebuconazol und Metconazol appliziert wurde und die Ährenbehandlung entweder zu BBCH 63 oder 65 durchgeführt wurde. Da beide Azole keine Wirkung auf *M. nivale* zeigten, wurde zusätzlich die Wirkung einer Kombination von Metconazol mit Azoxystrobin auf den Ährenbefall untersucht. Die Weizenkörner am Standort Hennef waren mit einer Befallshäufigkeit von 50,5 % in unbehandelten Parzellen sehr stark mit *Fusarium* spp. befallen (Abb. 42). Eine Tebuconazol-Applikation zu BBCH 63 oder 65 konnte den Befall signifikant reduzieren. Der Einsatz von Metconazol führte zu keiner Reduktion des Befalls.

Die Kombination von Tebuconazol und Metconazol erreichte die gleiche Wirkung wie Tebuconazol allein. Die Beimischung eines Strobilurins zu Metconazol verringerte zwar den Befall mit *M. nivale* gegenüber unbehandelten Pflanzen signifikant, führte aber wie Metconazol allein nicht zu einer Reduktion der Befallshäufigkeit von *Fusarium* spp..

Der Befall mit *Fusarium* spp. und *M. nivale* war an den Standorten Kerpen-Buir und Meckenheim mit 7 % und 11 % wesentlich geringer als in Hennef (Abb. 43 und 44). Die Fungizid-Behandlungen verringerten zwar den Befall, das Befallsniveau war für einen signifikanten Unterschied zu gering. An allen drei Standorten war die Wirkung von Tebuconazol zu BBCH 63 besser als zu BBCH 65, bei Metconazol war es umgekehrt.

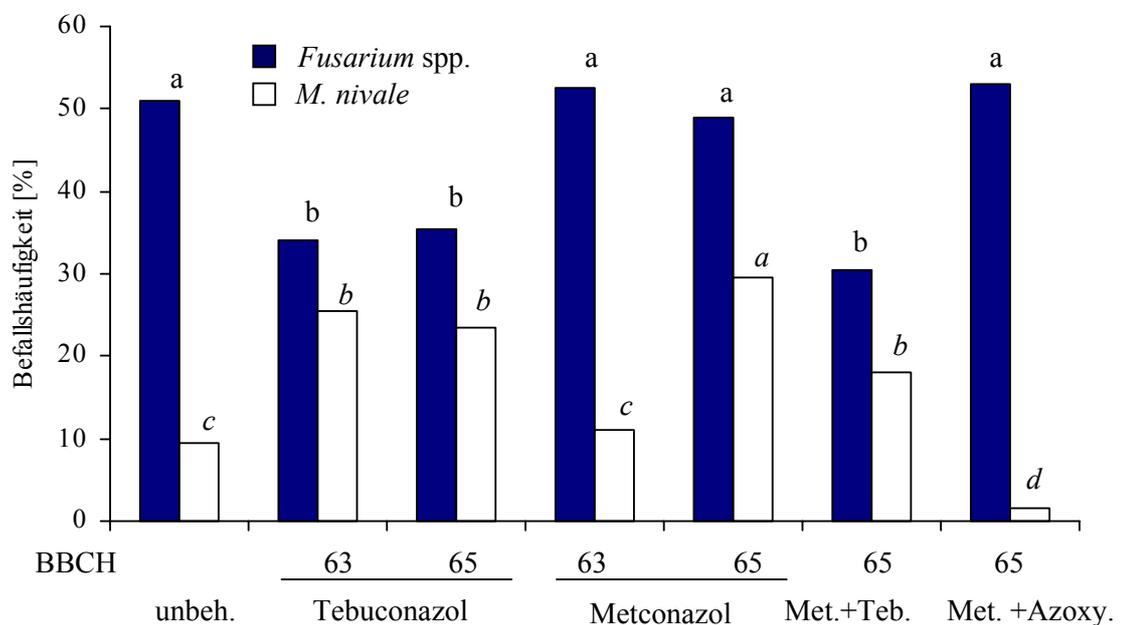


Abb. 42: Einfluss einer Ährenbehandlung mit verschiedenen Fungiziden zu BBCH 63 oder 65 auf den Befall von Weizenkörnern mit *Fusarium* spp. und *M. nivale* (cv. 'Contra', Standort Hennef, 1998; Balken mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant; Kruskal-Wallis Test; $p \leq 0,05$); unbeh. = ohne Ährenbehandlung, Met. = Metconazol, Teb. = Tebuconazol, Azoxy. = Azoxystrobin.

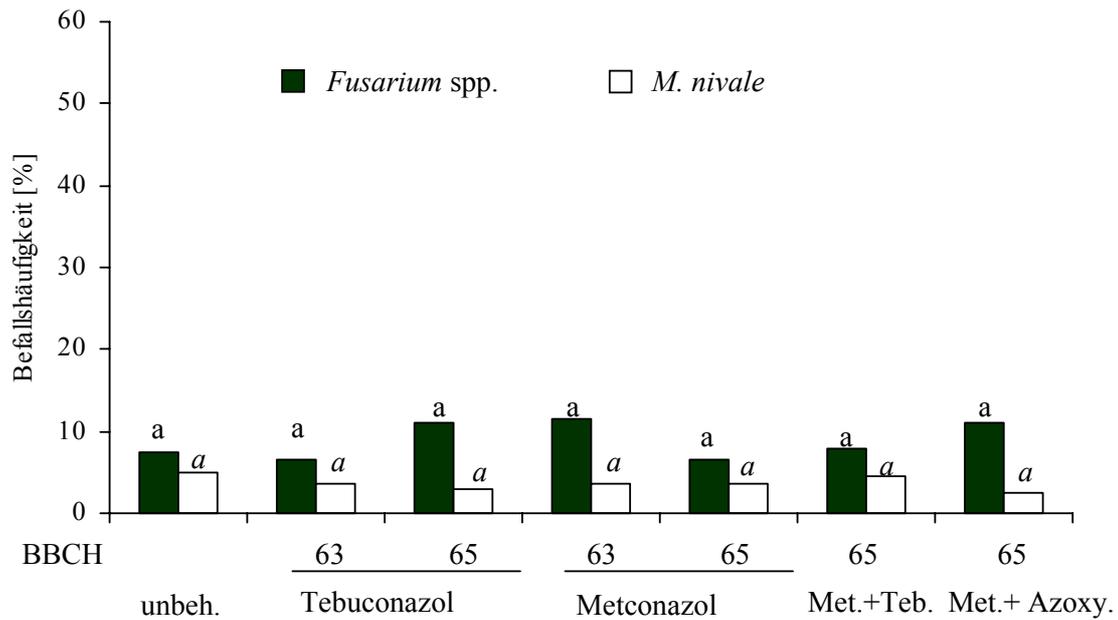


Abb. 43: Einfluss einer Ährenbehandlung mit verschiedenen Fungiziden zu BBCH 63 oder 65 auf den Befall von Weizenkörnern mit *Fusarium* spp. und *M. nivale* (cv. 'Ritmo', Standort Kerpen, 1998); Balken mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant; Kruskal-Wallis Test; $p \leq 0,05$); unbeh. = ohne Ährenbehandlung, Met. = Metconazol, Teb. = Tebuconazol, Azoxy. = Azoxystrobin.

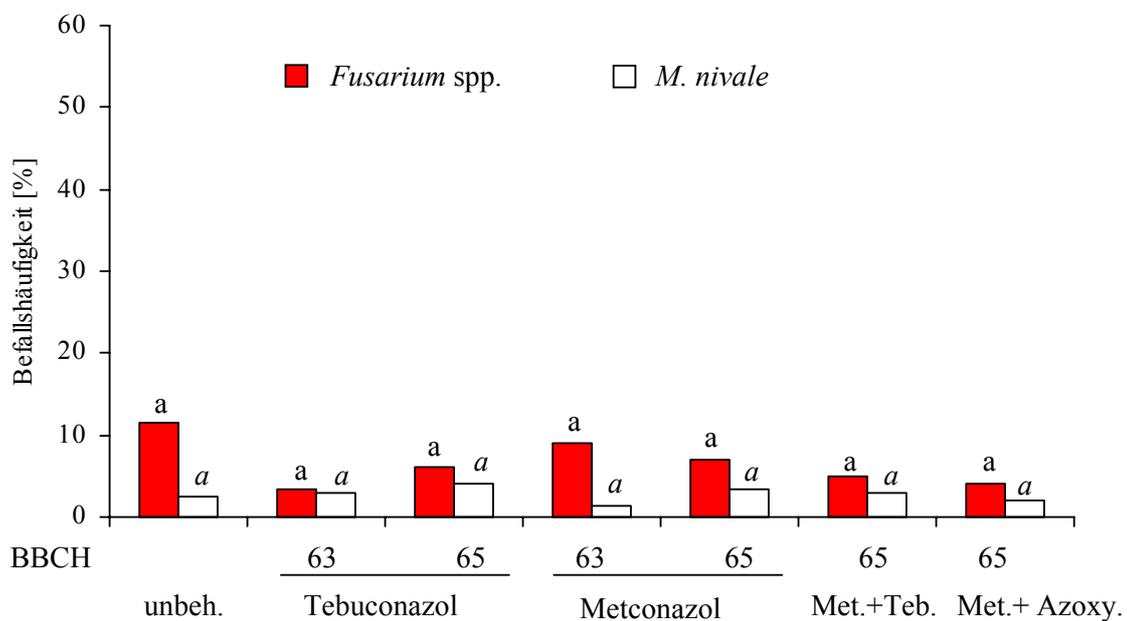


Abb. 44: Einfluss einer Ährenbehandlung mit verschiedenen Fungiziden zu BBCH 63 oder 65 auf den Befall von Weizenkörnern mit *Fusarium* spp. und *M. nivale* (cv. 'Contra', Standort Meckenheim, 1998), Balken mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant; Kruskal-Wallis Test; $p \leq 0,05$); unbeh. = ohne Ährenbehandlung; Met. = Metconazol, Teb. = Tebuconazol, Azoxy. = Azoxystrobin.

Die Befallshäufigkeit mit *Fusarium* spp. und der DON-Gehalt des Ernteguts korrelierten 1998 mit $r = 0,7$ ($p \leq 0,01$). Die DON-Konzentration der Körner waren 1998 in Hennef und Meckenheim mit 490 $\mu\text{g}/\text{kg}$ und 254 $\mu\text{g}/\text{kg}$ fast fünfmal höher als 1997, nur am Standort Kerpen war die Konzentration um 100 $\mu\text{g}/\text{kg}$ niedriger (Tab. 49). Eine Tebuconazol-Applikation zu BBCH 63 reduzierte den DON-Gehalt an allen drei Standorten um durchschnittlich 57 %, eine Applikation zu BBCH 65 um 51 %. Mit einer Metconazol-Applikation zu BBCH 63 wurde eine Reduktion um 19 % erreicht, die entsprechende Behandlung zu BBCH 65 führte dagegen zu einer Reduktion um 69 %. Die Kombination von Tebuconazol und Metconazol verringerte den Befall um 49 % und war somit ähnlich effektiv wie Tebuconazol allein. Nach Applikation von Metconazol mit Azoxystrobin wurden in Hennef und Meckenheim DON-Gehalte ermittelt, die um 250 bzw. 50 μg DON/kg höher waren als in unbehandelten Pflanzen, nur am Standort Kerpen-Buir wurde der DON-Gehalt um 29 % reduziert.

Der Ertrag lag 1998 in Hennef mit 70 dt/ha am niedrigsten, in Kerpen-Buir mit 110 dt/ha am höchsten (Tab. 50). Am Standort Meckenheim war der Flächenertrag in der unbehandelten Kontrollvariante mit 102 dt/ha relativ hoch. An den Standorten Kerpen-Buir und Meckenheim führten die Fungizid-Applikationen in die Ähre zu keiner signifikanten Erhöhung des Kornertrags. In Hennef wurde durch die Applikation von Metconazol + Azoxystrobin zu BBCH 65 der Ertrag signifikant um 13 dt/ha und die TKM 2,5 g gegenüber der unbehandelten Variante erhöht.

Tab. 49: Einfluss einer Ährenbehandlung mit verschiedenen Fungiziden zu BBCH 63 oder 65 auf den Deoxynivalenol-Gehalte im Erntegut 1998 von Winterweizen ('Contra' in Hennef und Meckenheim, 'Ritmo' in Kerpen-Buir).

Behandlung	BBCH	Deoxynivalenol [$\mu\text{g}/\text{kg}$]		
		Hennef	Kerpen	Meckenheim
unbehandelt		490	245	254
Tebuconazol	63	145	171	113
	65	313	195	253
Metconazol	63	446	248	102
	65	188	97	24
Metconazol + Tebuconazol	65	220	140	148
Metconazol +Azoxystrobin	65	740	175	304

Tab. 50: Einfluss der Fungizidbehandlung zu BBCH 63 oder 65 auf den Ertrag und die Tausendkornmasse von Winterweizen an den Standorten Hennef, Kerpen-Buir und Meckenheim 1998.

Behandlung	BBCH	Hennef		Kerpen		Meckenheim	
		Ertrag [dt/ha]	TKM [g]	Ertrag [dt/ha]	TKM [g]	Ertrag [dt/ha]	TKM [g]
unbehandelt		69,8 ^a	41,5 ^a	110,1	46,2	102,2	49,6
Tebuconazol	63	73,5 ^a	41,0 ^{ab}	109,0	47,2	100,4	48,0
	65	73,2 ^a	40,5 ^a	115,3	48,1	104,1	48,9
Metconazol	63	74,1 ^a	41,3 ^{ab}	115,3	46,2	100,4	49,7
	65	73,4 ^a	40,9 ^{ab}	115,6	46,5	100,9	49,6
Metconazol + Azoxystrobin	65	83,2 ^b	43,0 ^b	111,4	47,9	103,5	49,5
Metconazol + Tebuconazol	65	75,6 ^a	41,9 ^{ab}	115,0	46,9	100,0	51

Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant

Vegetationsperiode 1998/99

Im Jahr 1999 wurde in den unbehandelten Parzellen zu BBCH 37 keine Blattapplikation und zu BBCH 65 keine Ährenbehandlung mit Fungiziden durchgeführt. Bei den Fungizid-Applikationen wurden neben Azoxystrobin auch die strobilurinhaltigen Fungizide Juwel Top® (Kresoxim-methyl + Fenpropimorph + Epoxiconazol) und Stratego® (Trifloxystrobin + Propiconazol) zu BBCH 37, 49 oder 65 appliziert. Des Weiteren wurde Tebuconazol zu BBCH 37 und BBCH 65 appliziert. Am Standort Meckenheim wurde eine *Fusarium*-anfällige ('Ritmo') bzw. eine weniger anfällige Sorte ('Petrus') angebaut.

Am Standort Hennef war die Befallshäufigkeit von *Fusarium* spp. mit 25 % auf dem Niveau von 1997. Die Behandlungen mit Tebuconazol oder Metconazol reduzierten den *Fusarium*-Befall kaum, durch eine zweimalige Behandlung mit Tebuconazol zu BBCH 37 und 65 wurde eine Reduktion um 32 % erreicht (Abb. 45). Das Strobilurin Azoxystrobin reduzierte den Befall nur geringfügig. Die Applikation von Juwel Top® zu BBCH 37 führte zur stärksten Befallsreduktion von 46 %, die Applikationen zu späteren Terminen hatten eine schwächere Wirkung. Das strobilurinhaltige Fungizid Stratego® hatte bei Applikation zu BBCH 65 fast den gleichen Wirkungsgrad wie Tebuconazol. Eine Wirkung der strobilurinhaltigen Fungizide gegenüber *M. nivale* konnte nicht festgestellt werden, da die Befallshäufigkeit von *M. nivale* mit 2 % sehr gering war.

Am Standort Kerpen-Buir war die Befallshäufigkeit mit *Fusarium* spp. und *M. nivale* in den unbehandelten Parzellen mit 3 % bzw. 2 % sehr gering (Abb. 47). Die Befallshäufigkeit lag am Standort Meckenheim mit 4 % kaum höher, *M. nivale* wurde an beiden Standorten nicht nachgewiesen (Abb. 46 und 47). Trotz des geringen Befallsniveaus war am Standort Meckenheim die höhere Resistenz der Sorte 'Petrus' zu erkennen; sie war bei allen Behandlungen weniger mit *Fusarium* spp. befallen als 'Ritmo'.

Im Jahr 1999 betrug der DON-Gehalt der unbehandelten Weizenkörner je nach Standort zwischen 44 und 136 µg/kg. An den Standorten Hennef und Meckenheim lag die DON-Konzentration der Körner auf dem gleichen Niveau wie 1997, am Standort Kerpen-Buir lag sie mit 90 µg/kg gegenüber 380 µg/kg auf einem niedrigeren Niveau.

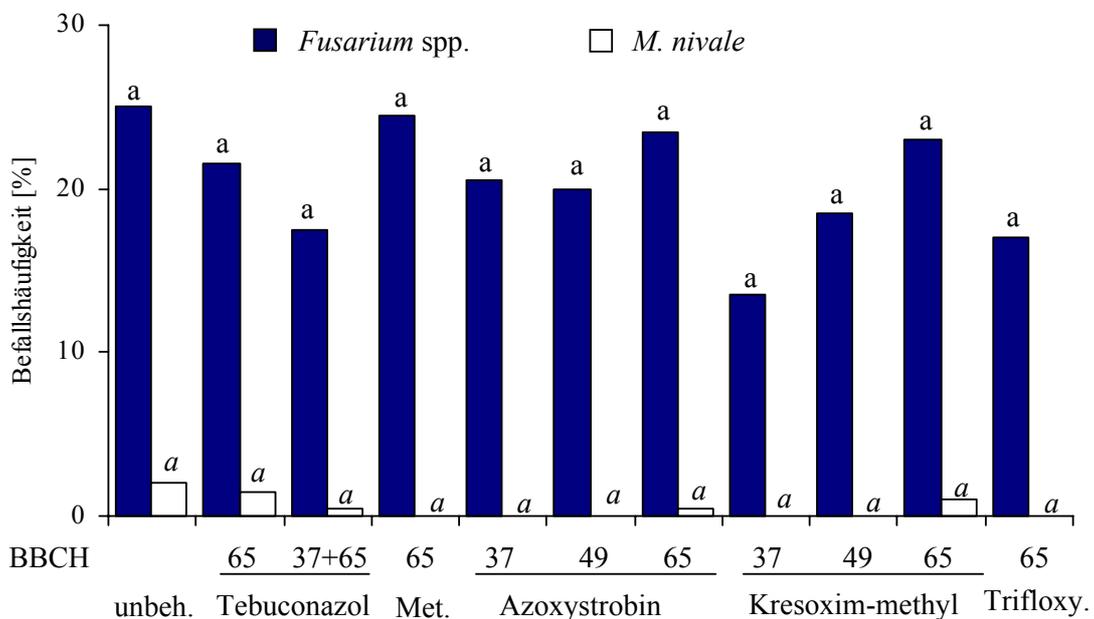


Abb. 45: Einfluss einer Behandlung mit Fungiziden auf den Befall von Weizenkörnern mit *Fusarium* spp. und *M. nivale* (cv. 'Ritmo', Hennef, 1999); unbeh. = ohne Fungizide, Met. = Metconazol, Kresoxim-methyl = Kresoxim-methyl + Epoxiconazol + Fenpropimorph, Trifloxy. = Trifloxystrobin+ Propiconazol.

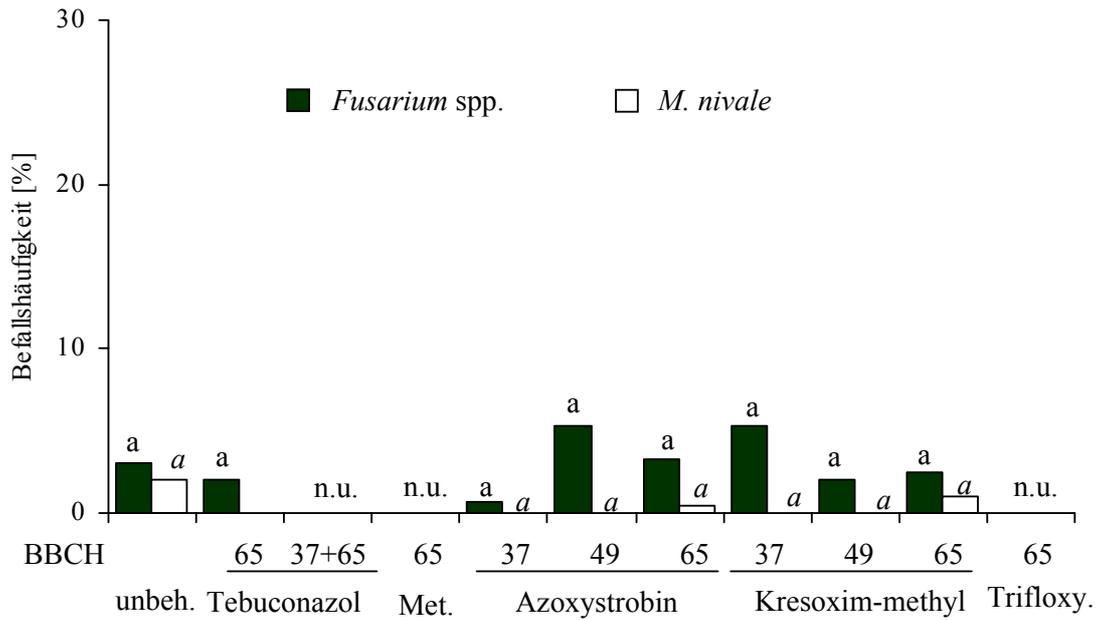


Abb. 46: Einfluss einer Behandlung mit Fungiziden auf den Befall von Weizenkörnern mit *Fusarium* spp. und *M. nivale* (cv. 'Ritmo', Kerpen, 1999); unbeh. = ohne Fungizide, Met.= Metconazol, Kresoxim-methyl = Kresoxim-methyl + Epoxiconazol + Fenpropimorph, Trifloxy. = Trifloxystrobin + Propiconazol, n.u.= nicht untersucht.

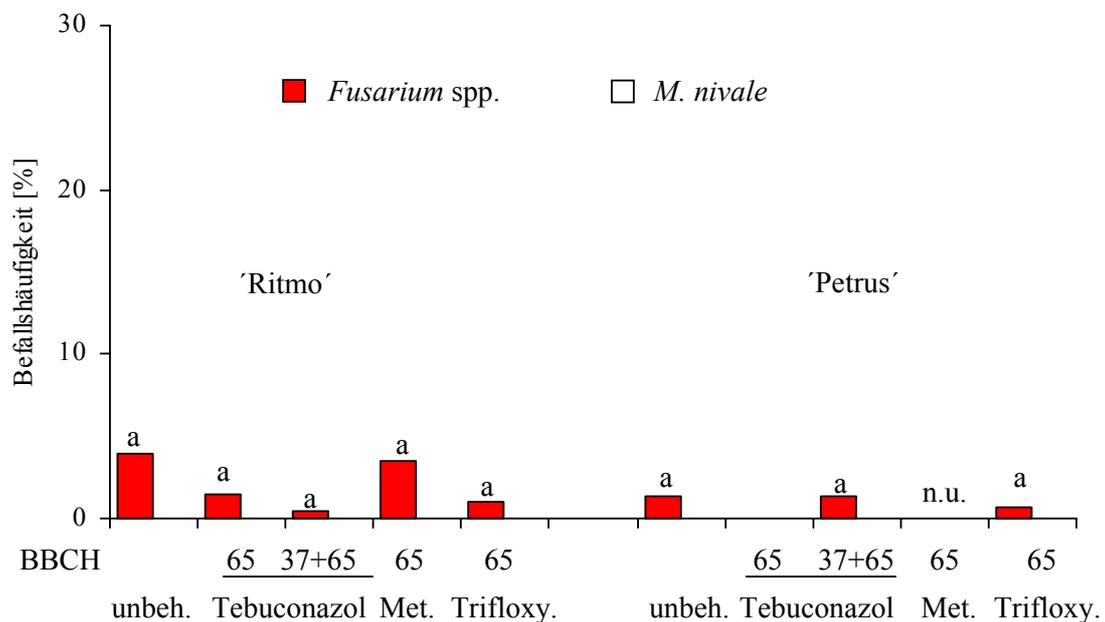


Abb. 47: Einfluss einer Behandlung mit Fungiziden auf den Befall von Weizenkörnern der Sorten 'Ritmo' und 'Petrus' mit *Fusarium* spp. und *M. nivale* (Meckenheim, 1999, unbeh. = ohne Fungizide, Met.= Metconazol, Trifloxy. = Trifloxystrobin + Propiconazol, n.u.= nicht untersucht).

Durch Fungizid-Applikationen wurde der DON-Gehalt 1999 stets reduziert (Tab. 30). Die Ergebnisse zeigten, dass eine Behandlung zu BBCH 37 einen Einfluss auf den späteren Ährenbefall haben kann. An den Standorten Hennef und Kerpen-Buir wurde durch die Applikation von Jewel Top® oder Amistar® zu BBCH 37 der DON Gehalt um 68 % reduziert.

Durch eine Applikation zu einem späteren Entwicklungsstadium des Weizens wurde der DON-Gehalt weniger vermindert. Im Jahr 1999 war die Reduktion des DON-Gehalts durch eine Fungizid-Applikation zum Zeitpunkt der Blüte (BBCH 65) am geringsten. Nur Tebuconazol zu BBCH 37 + 65 erreichte in Hennef die gleiche Wirkung wie die Applikation der strobilurinhaltenen Fungizide zu BBCH 37. Am Standort Meckenheim wurde die DON-Konzentration durch die Fungizide kaum gesenkt, wobei die Körner der Sorte 'Petrus' generell eine geringere DON-Konzentration aufwiesen als die von 'Ritmo'. Aber auch bei der Sorte 'Petrus' konnte durch die zweimalige Applikation von Tebuconazol der bereits niedrige DON-Gehalt um mehr als die Hälfte reduziert werden. Zwischen der ermittelten Befallshäufigkeit von *Fusarium* spp. und dem DON-Gehalt im Erntegut bestand ein enger Zusammenhang ($r = 0,60, p \leq 0,01$).

Tab. 51: Einfluss verschiedener Fungizid-Behandlungen zu unterschiedlichen Entwicklungsstadien auf den Deoxynivalenol-Gehalte im Erntegut 1999 von Winterweizen ('Ritmo').

Behandlung	BBCH	Deoxynivalenol [$\mu\text{g}/\text{kg}$]			
		Hennef 'Ritmo'	Kerpen-Buir 'Ritmo'	Meckenheim 'Ritmo' 'Petrus'	
unbehandelt		136	90	57	44
Tebuconazol	37+65	50	71	44	19
	65	130	71	44	31
Metconazol	65	95	n.u.	57	n.u.
Azoxystrobin	37	46	28	n.u.	n.u.
	49	65	36	n.u.	n.u.
	65	73	37	n.u.	n.u.
Kresoxim-methyl + Epoxiconazol	37	42	33	n.u.	n.u.
	49	71	53	n.u.	n.u.
+ Fenpropimorph	65	97	45	n.u.	n.u.
Trifloxystrobin + Propiconazol	65	66	n.u.	45	24

n.u. = nicht untersucht

Die Erträge lagen 1999 im Durchschnitt unter dem Niveau des Vorjahres, nur am Standort Hennef war der Ertrag um 8 dt/ha höher (Tab. 52). Alle Fungizid-Behandlungen steigerten den Kornertrag wie auch die Tausendkornmasse gegenüber den unbehandelten Pflanzen. Am Standort Hennef konnte kein Unterschied zwischen den verschiedenen Fungizid-Behandlungen abgesichert werden.

Tab. 31: Einfluss der Fungizid-Behandlung zu verschiedenen Entwicklungsstadien auf den Ertrag und die Tausendkornmasse von Winterweizen 1999 (Standorte Hennef, Kerpen, Meckenheim).

Sorte	BBCH	Hennef		Kerpen		Meckenheim			
		Ertrag [dt/ha]	TKM [g]	Ertrag [dt/ha]	TKM [g]	Ertrag [dt/ha]	TKM [g]	Ertrag [dt/ha]	TKM [g]
		'Ritmo'		'Ritmo'		'Rit.'	'Pet.'	'Rit.'	'Pet.'
unbehandelt		78	46 ^a	94 ^a	42,0 ^a	54 ^a	48 ^a	43 ^a	42 ^a
Tebuconazol	37+65	80	50 ^b	114 ^b	49,4 ^b	57 ^a	47 ^a	43 ^a	38 ^a
	65	80	50 ^b	113 ^b	49,7 ^b	56 ^a	46 ^a	44 ^a	39 ^a
Metconazol	65	80	48 ^b	n.u.	n.u.	57 ^a	n.u.	44 ^a	n.u.
Azoxystrobin	37	80	50 ^b	109 ^a	50,6 ^b				
	49	81	50 ^b	112 ^b	50,1 ^b				
	65	82	50 ^b	111 ^b	49,5 ^b				
Kresoxim-methyl + Epoxiconazol	37	83	50 ^b	109 ^a	50,6 ^b				
	49	84	50 ^b	107 ^a	50,9 ^b				
+Fenpropimorph	65	84	50 ^b	109 ^a	51,0 ^b				
Trifloxystrobin + Propiconazol	65	82	50 ^b	n.u.	n.u.	61 ^b	47	44	41

Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich am selben Standort signifikant

(Tukey- Test, $p \leq 0,05$)

n.u. = nicht untersucht

Wirkung gegenüber verschiedenen *Fusarium*-Arten

Die befallsreduzierende Wirkung der beiden Azolfungizide gegenüber allen *Fusarium*-Arten blieb im Durchschnitt der Versuche unter 50 % (Abb. 48). *F. avenaceum* machte 51 % der auftretenden Arten aus und wurde durch Metconazol um 24 %, durch Tebuconazol um 29 % reduziert. Der Befall mit der zweithäufigsten Art *F. poae* wurde von Metconazol um 20 %, von Tebuconazol nur um 9 % reduziert. Die beste Wirkung zeigten beide Azole gegenüber *F. culmorum* und *F. graminearum*. Tebuconazol reduzierte *F. graminearum* um fast 30 %, *F. culmorum* um 39 %. Metconazol erreichte gegenüber *F. culmorum* zwar nur 18 %, gegenüber *F. graminearum* aber bis zu 78 %. Dabei muss beachtet werden, dass *F. culmorum* und

F. graminearum zusammen nur 13 % des Befalls ausmachten. Die Arten *F. sporotrichioides* und *F. tricinctum* traten zwar mit 3 % nur selten auf, wurden aber von beiden Azolen nicht erfasst.

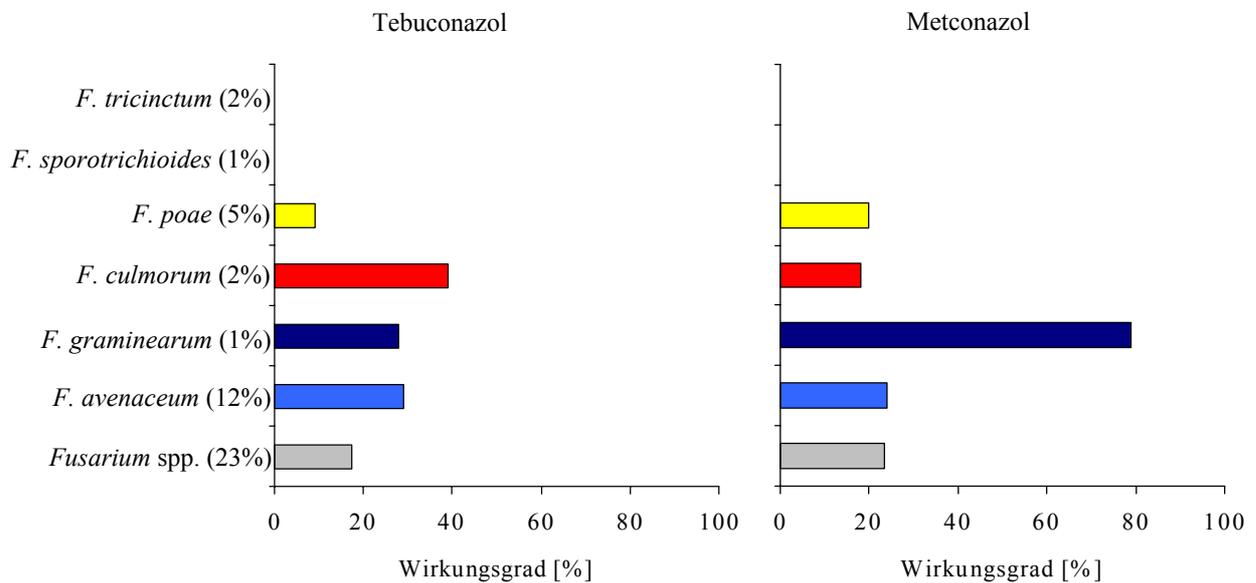


Abb. 48: Sensitivität der verschiedenen *Fusarium*-Arten an Weizenkörnern gegenüber den beiden Azolfungiziden Tebuconazol und Metconazol, (Durchschnitt der Standorte Hennef, Kerpen, Meckenheim und der Jahre 1997 - 1999; () = durchschnittliche Befallshäufigkeit unbehandelter Weizenkörner

Wirkung von Fungizidmaßnahmen bei erhöhtem Befallsdruck auf Befall und Mykotoxinbelastung

Die Wirkung von Tebuconazol, Metconazol und deren Kombination mit Fenpropimorph nach Inokulation mit *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. poae*, *F. avenaceum* bzw. *F. sporotrichioides* auf den Kornbefall, den Ertrag, die Tausendkornmasse (TKM) und den Deoxynivalenol- und Nivalenol-Gehalt des Ernteguts wurde unter kontrollierten Bedingungen und im Feld untersucht. Die Inokulation erfolgte an den Weizensorten 'Contra' und 'Ralle' zur Vollblüte mit einer Sprühapplikation mit 5×10^5 bzw. 10^6 Sporen/ml. Die Fungizid-Applikation erfolgte kurativ 12 bzw. 24 Stunden nach der Inokulation der einzelnen *Fusarium*-Arten.

Unter kontrollierten Bedingungen wurde nach Inokulation mit *F. culmorum* die höchste Befallshäufigkeit von 55 % erreicht (Abb. 49). Es zeigte sich, dass beide Azol-Fungizide den Befall reduzierten. Der Befall mit *F. culmorum* wurde besser durch Tebuconazol kontrolliert. *F. graminearum* wurde, wie in den Versuchen ohne Inokulation, besser durch

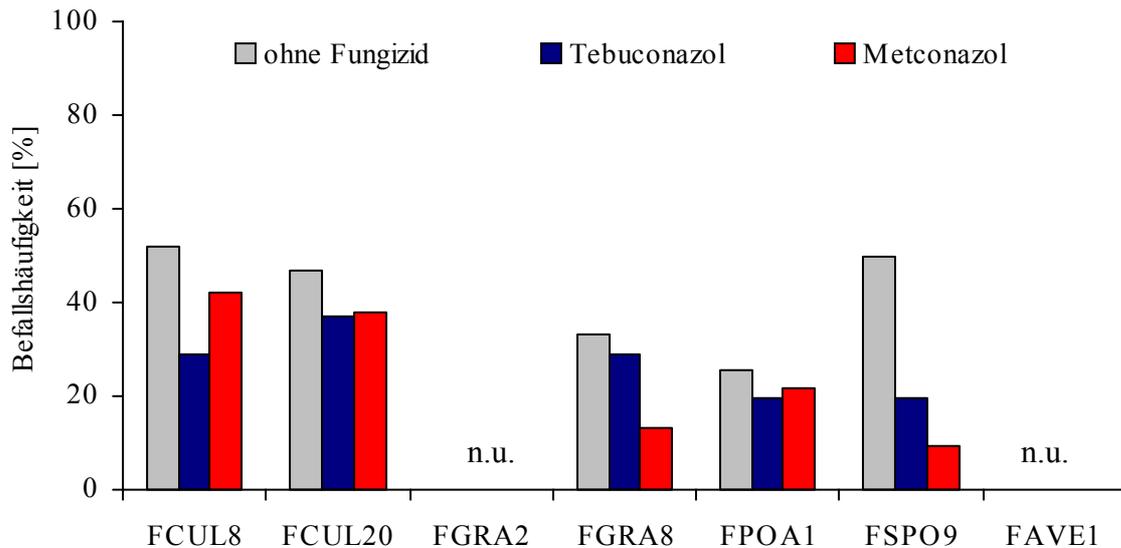


Abb. 49: Einfluss von Fungizid-Behandlungen 24 Stunden nach Inokulation mit verschiedenen *Fusarium*-Arten bzw. -Isolaten auf den Kornbefall von Winterweizen unter kontrollierten Bedingungen (FCUL = *F. culmorum*; FGRA = *F. graminearum*; FPOA = *F. poae*; FSPO = *F. sporotrichioides*, FAVE = *F. avenaceum*).

Metconazol vermindert. Das verwendete Isolat von *F. sporotrichioides* erwies sich gegenüber den Azolen am sensitivsten. Der unter kontrollierten Bedingungen durchgeführte Versuch wurde unter Feldbedingungen 1997 am Standort Hennef wiederholt. Hinzu kam eine Variante, in der eine Fungizid-Applikation schon 12 Stunden nach der Inokulation erfolgte. Die Befallshäufigkeit der inokulierten Arten *F. culmorum* und *F. graminearum* erreichten mit 80-100 % Werte über denen der unter kontrollierten Bedingungen, dies war auf Niederschläge nach der Inokulation zurückzuführen (Abb. 50). Von *F. culmorum* und *F. graminearum* wurden je zwei Isolate getestet, von denen jeweils eins (FCUL20 bzw. FGRA8) durch die Fungizid-Applikation signifikant reduziert wurde. Bei *F. poae* führte Tebuconazol zu keiner Reduktion des Befalls, Metconazol hatte dagegen eine signifikante Wirkung. Hingegen erzielten beide Fungizide gegenüber *F. sporotrichioides* und *F. avenaceum* eine signifikante Verminderung des Befalls.

Die Trichothecen-Gehalte wurden mittels HPLC bestimmt (Tab. 53). Nivalenol (NIV) wurde bei allen Isolaten von *F. culmorum* und *F. graminearum* detektiert, während DON nur jeweils bei einem der Isolate von *F. culmorum* bzw. *F. graminearum* nachgewiesen wurde. Bei *F. sporotrichioides* und *F. poae* konnten weder NIV noch DON nachgewiesen werden.

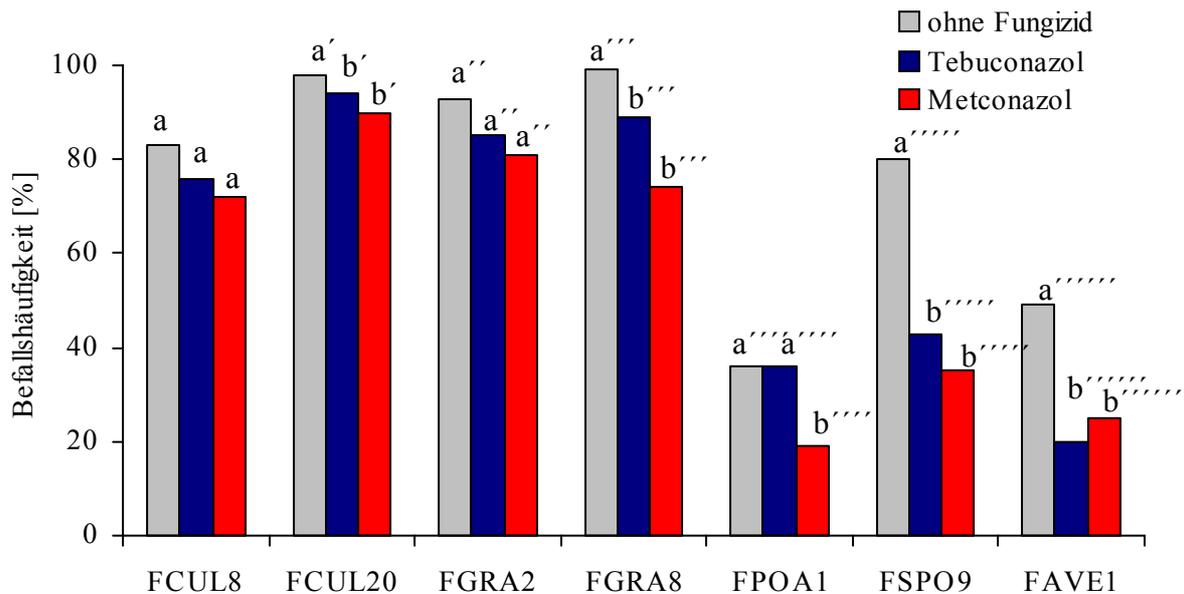


Abb. 50: Einfluss einer Fungizidbehandlung 24 Stunden nach Inokulation verschiedener *Fusarium*-Arten auf den Kornbefall von Winterweizen am Standort Hennef 1997 (FCUL = *F. culmorum*; FGRA = *F. graminearum*; FPOA = *F. poae*; FSPO = *F. sporotrichioides*; FAVE = *F. avenaceum*; Balken mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant (Student-Newman-Keuls-Test; $p \leq 0,05$).

Der DON-Gehalt der Körner nach Inokulation von *F. culmorum* war bei 31 mg/kg und wurde durch die Azolfungizide um 32 - 38 % reduziert. Der DON-Gehalt nach Inokulation mit *F. graminearum* erreichte 28 mg/kg und wurde durch Fungizide um 50 - 57 % vermindert. Der NIV-Gehalt der Isolate, die kein DON produzierten, war mit 9 - 11 mg/kg wesentlich geringer als die NIV-Konzentration der DON-bildenden Isolate (22 - 19 mg/kg). Der NIV-Gehalt der ausschließlich NIV- bildenden Isolate wurde durch beide Fungizide nicht bzw. nur um max. 18 % reduziert. Der NIV-Gehalt der übrigen Isolate wurde durch die Fungizid- Applikation um 23 - 47 % reduziert.

Der Ertrag wurde durch die Inokulation von *F. culmorum* und *F. graminearum* stark vermindert. Die geringste Auswirkung auf den Ertrag hatten die Inokulationen mit *F. poae* bzw. *F. sporotrichioides* (Tab. 54). Durch die Inokulation wurde die TKM durch alle *Fusarium*-Arten signifikant reduziert. Beim Einsatz der Fungizide erreichte die TKM fast die Masse der unbehandelten Pflanzen. Bei fast allen *Fusarium*-Arten wurde die TKM durch die Fungizide signifikant gegenüber unbehandelten Pflanzen gesteigert; einzige Ausnahme war das Isolat 2 von *F. graminearum*. Durch *F. avenaceum* und *F. sporotrichioides* wurde die TKM des Weizens kaum beeinflusst und ließ sich somit durch die Fungizide auch nicht

Tab. 53: Einfluss von Fungizid-Behandlungen 24 Stunden nach Inokulation mit verschiedenen *Fusarium*-Arten auf den Toxin-Gehalt von Weizenkörnern am Standort Hennef, 1997 (FCUL = *F. culmorum*; FGRA = *F. graminearum*; FPOA = *F. poae*; FSPO = *F. sporotrichioides*).

	FCUL8	FCUL20	FGRA2	FGRA8	FPOA1	FSPO9
	DON [mg/kg]					
ohne Fungizid	0*	31	28	0	0	0
Tebuconazol	0	21	12	0	0	0
Metconazol	0	19	14	0	0	0
	NIV [mg/kg]					
ohne Fungizid	9	19	22	11	0	0
Tebuconazol	9	13	12	9	0	0
Metconazol	8	10	17	10	0	0

* = unter der Nachweisgrenze vom 1 mg/kg

wesentlich verbessern. Der Zeitpunkt der Fungizidapplikation nach der Inokulation zeigte besonders auf die Befallshäufigkeit mit *F. poae* einen großen Einfluss (Abb. 51). Die Applikation 12 Stunden nach der Inokulation reduzierte den Befall um 60 - 80 %, eine Behandlung erst nach 24 Stunden hingegen nur noch um 20 – 40 %. Auch bei *F. culmorum* wurde durch die Fungizid-Applikation 12 Stunden nach Inokulation ein höherer Wirkungsgrad erreicht. Bei *F. sporotrichioides* war kein Unterschied zwischen der Fungizid-Applikation 12 bzw. 24 Stunden nach der Inokulation zu erkennen.

Tab. 54: Einfluss von Azolbehandlungen 24 Stunden nach Inokulation mit verschiedenen *Fusarium*-Arten auf den Ertrag und die TKM von Weizenkörnern (Hennef 1997), (FCUL = *F. culmorum*; FGRA = *F. graminearum*; FPOA = *F. poae*; FSPO = *F. sporotrichioides*; FAVE = *F. avenaceum*)

Behandlung	ohne Fungizid		Tebuconazol		Metconazol	
	Ertrag [dt/ha]	TKM [g]	Ertrag [dt/ha]	TKM [g]	Ertrag [dt/ha]	TKM [g]
ohne Inokulation	70	48	-	-	-	-
<i>F. culmorum</i> 8	50	42 ^{a*}	58	46 ^{b*}	58	45 ^{b*}
<i>F. culmorum</i> 20	34	33 ^{a*}	50	40 ^{b*}	49	39 ^{b*}
<i>F. graminearum</i> 2	46	43 ^{a*}	56	47 ^b	56	44 ^{a*}
<i>F. graminearum</i> 8	46	40 ^{a*}	55	43 ^{b*}	56	46 ^c
<i>F. poae</i> 1	60	43 ^{a*}	62	46 ^{b*}	63	46 ^{b*}
<i>F. sporotrichioides</i> 9	59	45 ^{a*}	56	46 ^{a*}	62	48 ^{b*}
<i>F. avenaceum</i> 1	50	46 ^{a*}	58	48 ^b	54	46 ^{a*}

* = unterscheidet sich signifikant von nicht-inokulierten Pflanzen

TKM: Werte einer Zeile mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant (Tukey-Test; p ≤ 0,05).

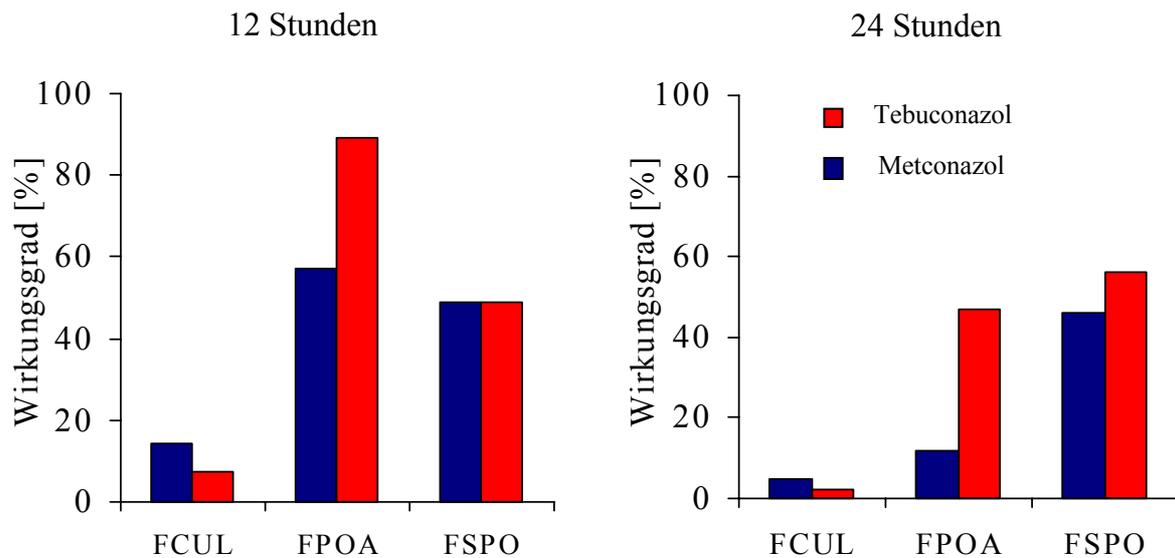


Abb. 51: Wirkung von Fungizid-Behandlungen 12 bzw. 24 Stunden nach Inokulation mit verschiedenen *Fusarium*-Arten auf den Kornbefall von Winterweizen am Standort Hennef 1997 (FCUL = *F. culmorum*; FPOA = *F. poae*; FSPO = *F. sporotrichioides*).

Isolate von *F. culmorum*

Am Standort Poppelsdorf wurden Isolate von *F. culmorum*, die von zwei verschiedenen Standorten stammten, zur Blüte inokuliert. Es wurde ein Gemisch von 10 Isolaten vom Standort Hennef bzw. von 10 Isolaten vom Standort Blankenheim untersucht. Die Inokulation mit 10^6 Sporen/ml führte zu einer Befallshäufigkeit von 83 % bzw. 89 % (Abb. 52). Die unterschiedlichen Herkünfte unterschieden sich nicht in der Befallshäufigkeit, dem DON-Gehalt oder ihrer Wirkung auf die TKM der Körner (Abb. 52, Tab. 55).

Die Fungizide - neben Azolen wurde auch Fenpropimorph verwendet, um die Wirkung der Kombination mit Azolen zu untersuchen – wurden 24 Stunden nach Inokulation appliziert und reduzierten den Befall unterschiedlich gut. Im Durchschnitt wurden die Isolate aus Hennef durch die Fungizide besser bekämpft als jene aus Blankenheim. Die Applikation von Fenpropimorph führte bei den Isolaten aus Hennef zu einer signifikanten Befallsreduktion von 20 %, nicht dagegen bei denen aus Blankenheim. Die Applikation von Tebuconazol oder Metconazol reduzierte den Befall der Isolate aus Hennef um 40 bzw. 47 %, bei den Isolaten aus Blankenheim kam es nur bei Metconazol und dessen Kombination mit Fenpropimorph zu einer signifikant verminderten Befallshäufigkeit der Körner von 37 bzw. 60 % gegenüber dem Befall der unbehandelten Pflanzen. Auch bei den Isolaten aus Hennef wurde durch diese Kombination die beste Wirkung erzielt.

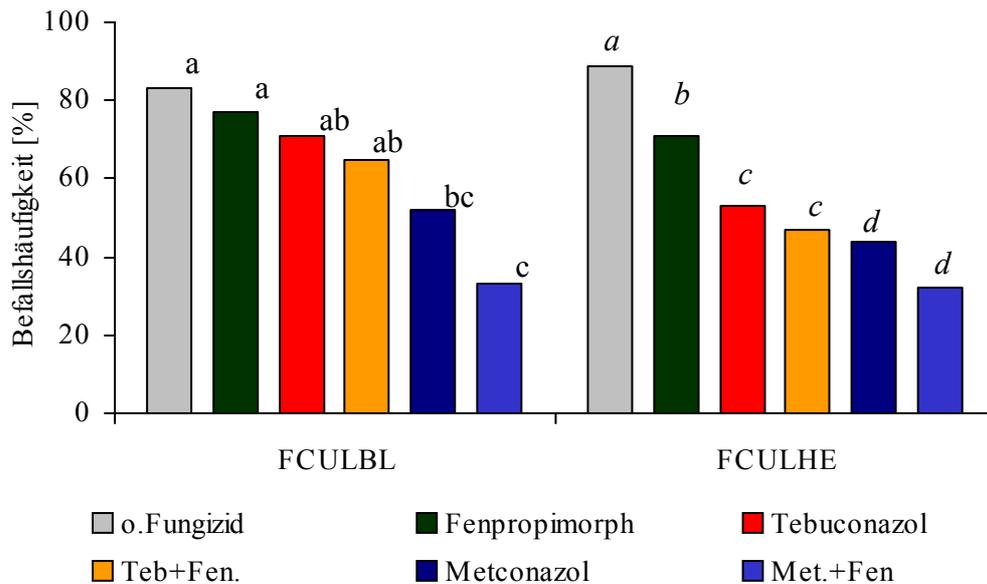


Abb. 52: Wirkung der Applikation von Azolfungiziden bzw. deren Kombination mit Fenpropimorph 24 Stunden nach Inokulation mit 10 Isolaten von *Fusarium culmorum* auf den Kornbefall von Winterweizen in Hennef 1997 (cv. 'Contra', Herkunft: FCULBL = Blankenheim; FCULHE = Hennef, Balken mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant; Tukey-Test; $p \leq 0,001$).

Der DON-Gehalt der Körner war mit 67 mg/kg nach Inokulation mit Isolaten aus Blankenheim und 76 mg/kg nach Inokulation mit Isolaten aus Hennef sehr hoch (Tab. 35). Durch Fenpropimorph wurde die DON-Konzentration nicht beeinflusst, erst der Einsatz der Azole führte zu einer Reduktion. Am stärksten war die Reduktion der DON-Gehalte durch die Kombination der Azole mit Fenpropimorph, die Applikation von Fenpropimorph mit Tebuconazol führte zu einer Reduktion von 26 – 31 % je nach Herkunft der Isolate, mit Metconazol zu einer Reduktion von 38 – 55 %.

Die Tausendkornmasse wurde durch die Inokulation von *F. culmorum* stark beeinträchtigt, durch die Fungizidapplikation wurde sie in allen Varianten signifikant erhöht. Die Applikation von Metconazol in Kombination mit Fenpropimorph hatte auch hier mit einer 40 %igen Steigerung die größte Wirkung, gefolgt von Tebuconazol kombiniert mit Fenpropimorph und Metconazol als Solopräparat.

Tab. 55: Einfluss der Herkunft der Isolate von *F. culmorum* auf die Wirkung von Azolfungiziden und deren Kombination mit Fenpropimorph (24 Stunden nach Inokulation) auf den DON-Gehalt und die TKM von Winterweizen (cv. 'Contra', Hennef, 1997); Werte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant; Tukey-Test; $p \leq 0,05$).

Behandlung	DON [mg/kg]		TKM [g]	
	FCULBL	FCULHE	FCULBL	FCULHE
ohne Fungizid	76	67	35 ^a	39 ^a
Fenpropimorph	74	65	44 ^b	44 ^b
Tebuconazol	73	48	45 ^b	44 ^b
Tebuconazol + Fenpropimorph	56	46	48 ^{bc}	45 ^b
Metconazol	70	55	48 ^{bc}	47 ^{bc}
Metconazol + Fenpropimorph	47	30	49 ^c	48 ^c

FCULBL= 10 Isolate von *F. culmorum* aus Blankenheim; FCULHE= 10 Isolate von *F. culmorum* aus Hennef

3.2.4.6 Anbauintensität

An den Standorten Hennef und Kerpen-Buir kam es 1998 durch eine Steigerung der Stickstoff-Düngung auch zu einer Förderung des *Fusarium*-Befalls der Weizenkörner (Abb. 53 und 55). Durch den zusätzlichen Einsatz von Wachstumsreglern und Fungiziden als Blattapplikation kam es zu einer weiteren Steigerung des Befalls. Am Standort Hennef stieg die Befallshäufigkeit bei einer Erhöhung der Stickstoffgabe von 0 kg N/ha auf 110 kg N/ha um 9 % an. Eine weitere Steigerung um 40 kg N/ha führte zu einem weiteren Anstieg um wiederum 9 % (Abb. 53). Die Befallshäufigkeit mit *Fusarium* spp. wurde durch den Einsatz von Wachstumsreglern meist nur geringfügig um 4 % erhöht. Der Einsatz von Wachstumsreglern in Kombination mit Fungiziden führte dagegen zu einer Erhöhung um 6 - 11,5 %. Durch eine Stickstoffgabe von 110 kg N/ha und den Einsatz von Wachstumsreglern und Fungiziden oder eine alleinige Stickstoffgabe von 160 kg N/ha kam es zu einer signifikanten Erhöhung des *Fusarium*-Befalls gegenüber den nicht gedüngten Pflanzen. Durch den Einsatz von Stickstoff, Wachstumsreglern und Fungiziden stieg der *Fusarium*-Befall insgesamt um 30 % an.

Die Steigerung der Stickstoff-Düngung hatte auch einen Einfluss auf die Zusammensetzung der *Fusarium*-Arten der Körner (Abb. 54). Eine erhöhte Stickstoffgabe förderte das Auftreten von *F. avenaceum*. Der Anteil an *F. tricinctum* variierte leicht, die Arten *F. culmorum*, *F. graminearum* und *F. poae* blieben mit je 2 – 4 % weitgehend konstant.

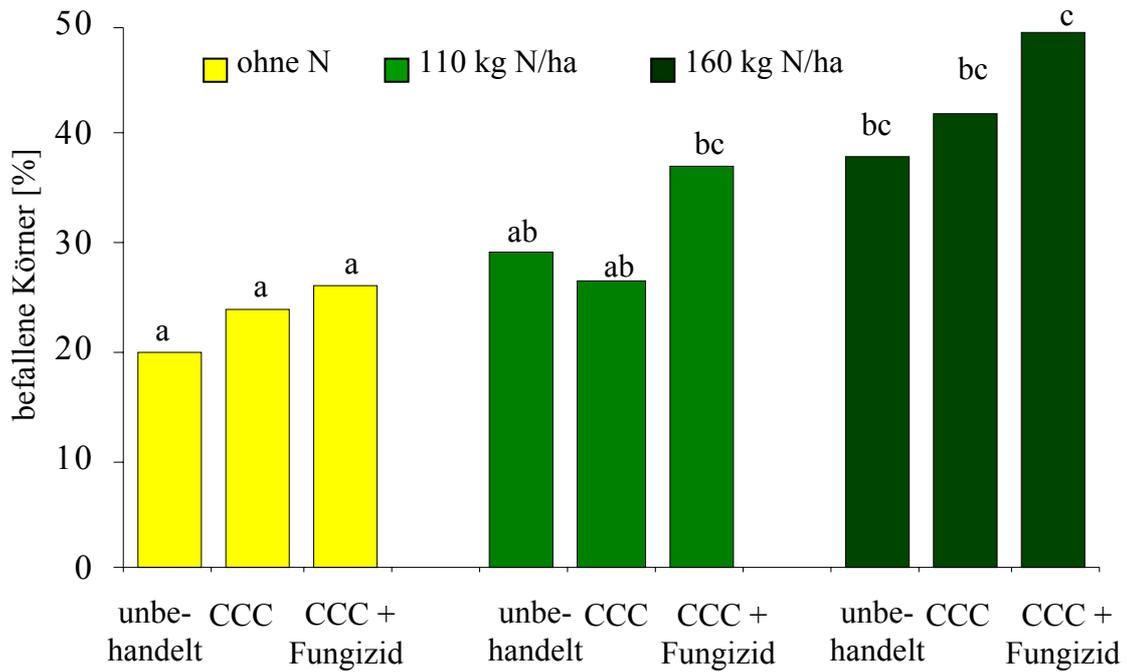


Abb. 53: Einfluss der Stickstoffdüngung mit zusätzlichem Einsatz von Wachstumsreglern und Blattfungiziden auf das Auftreten von *Fusarium* spp. ('Contra', Hennef, 1998); Balken mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant; Tukey-Test ($p \leq 0,05$).

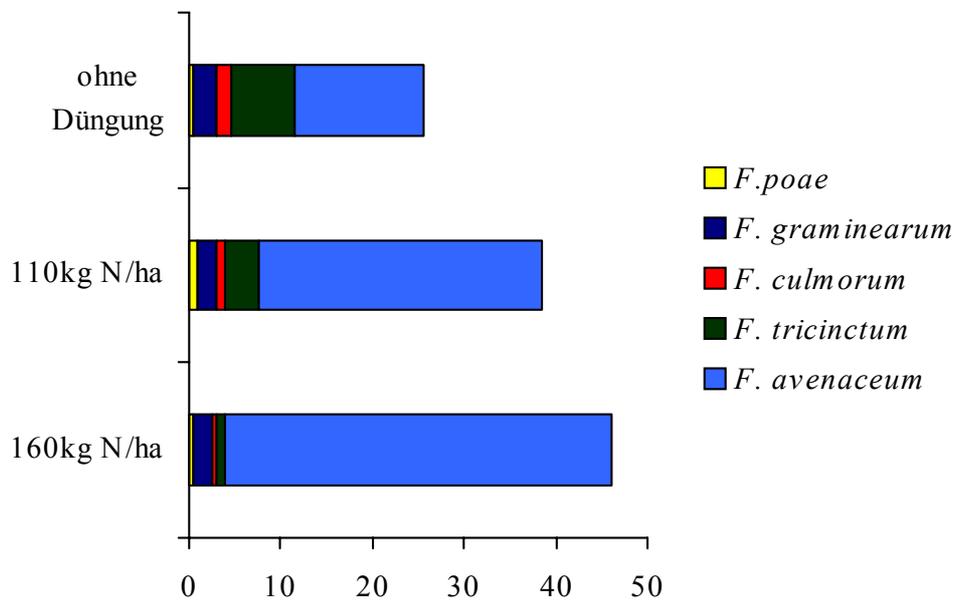


Abb. 54: Einfluss der Stickstoffdüngung auf das Spektrum der *Fusarium*-Arten an Weizenkörnern ('Contra', Hennef 1998).

Der Deoxynivalenol-Gehalt war zwischen 129 und 244 µg/kg (Tab. 56). Der Einfluss der unterschiedlichen Anbauintensität auf den Deoxynivalenol-Gehalt war gering. So belief sich der Unterschied zwischen den Körnern von Pflanzen ohne Stickstoffdüngung und denen mit hoher Düngung auf 26 µg/kg. Der Einsatz von Wachstumsreglern führte dagegen unabhängig von der N-Düngung zu einer Steigerung der DON-Gehalte um 75 %. Der zusätzliche Einsatz von Fungiziden beeinflusste den DON-Gehalt kaum.

Der Ertrag wurde durch die höhere Stickstoffgabe um 10 - 15 dt/ha gesteigert (Tab. 56). Der zusätzliche Einsatz von Wachstumsreglern und Fungiziden führte zu einer weiteren Ertragssteigerung, die in der ungedüngten Variante mit 8,5 - 14,5 dt/ha am höchsten ausfiel. In den anderen Varianten wurde ein Ertragszuwachs von nur 1,5 – 7 dt/ha erzielt. Die Tausendkornmasse wurde ebenfalls primär durch die Düngung erhöht. In der ungedüngten Parzelle betrug die TKM 38 g, durch die Düngung wurde sie auf 42 bzw. 44 g erhöht und konnte durch den zusätzlichen Einsatz von Wachstumsreglern und Fungiziden nicht mehr gesteigert werden.

Tab. 56: Einfluss der Anbauintensität auf den Deoxynivalenol-Gehalt und den Ertrag von Winterweizen ('Contra'; Heneff 1998).

Düngung	Pflanzenschutz	DON [µg/kg]	Ertrag [dt/ha]	TKM [g]
0 kg N/ha	ohne	134	40,4	37,8
	CCC	238	49,0	40,1
	CCC + Fungizid	203	55,2	42,1
110 kg N/ha	ohne	129	50,1	41,8
	CCC	237	53,0	43,7
	CCC + Fungizid	235	57,2	44,0
160 kg N/ha	ohne	160	55,4	44,1
	CCC	264	57,2	43,5
	CCC + Fungizid	244	62,5	44,2

Im gleichen Versuchsjahr wurde in Kerpen-Buir ein ähnlicher Versuch angelegt. Bei der geringsten Intensitätsstufe wurden lediglich 170 kg N/ha ausgebracht (Abb. 55; Tab. 34). In der Intensitätsstufe II wurde die Stickstoff-Düngung auf 210 kg N/ha erhöht, zusätzlich wurde ein Wachstumsregler eingesetzt. Bei der höchsten Intensitätsstufe wurde zu BBCH 32 - 37 noch ein Fungizid appliziert. Auch hier förderte die höhere Düngungsintensität und der

Einsatz von Wachstumsreglern die Befallshäufigkeit mit *Fusarium* spp., wobei es aber erst durch den Einsatz von Fungiziden zu einer signifikanten Erhöhung der Befallshäufigkeit kam.

Der DON-Gehalt lag auf dem selben Niveau wie in Hennef und zeigte ähnliche Abstufungen (Tab. 41). Durch die Düngung und den Einsatz von Wachstumsreglern wurde ein Mehrertrag von 10 dt/ha erreicht, durch eine Blattapplikation von Fungiziden kam es zu einem weiteren Anstieg um 4,5 dt/ha (Tab. 57).

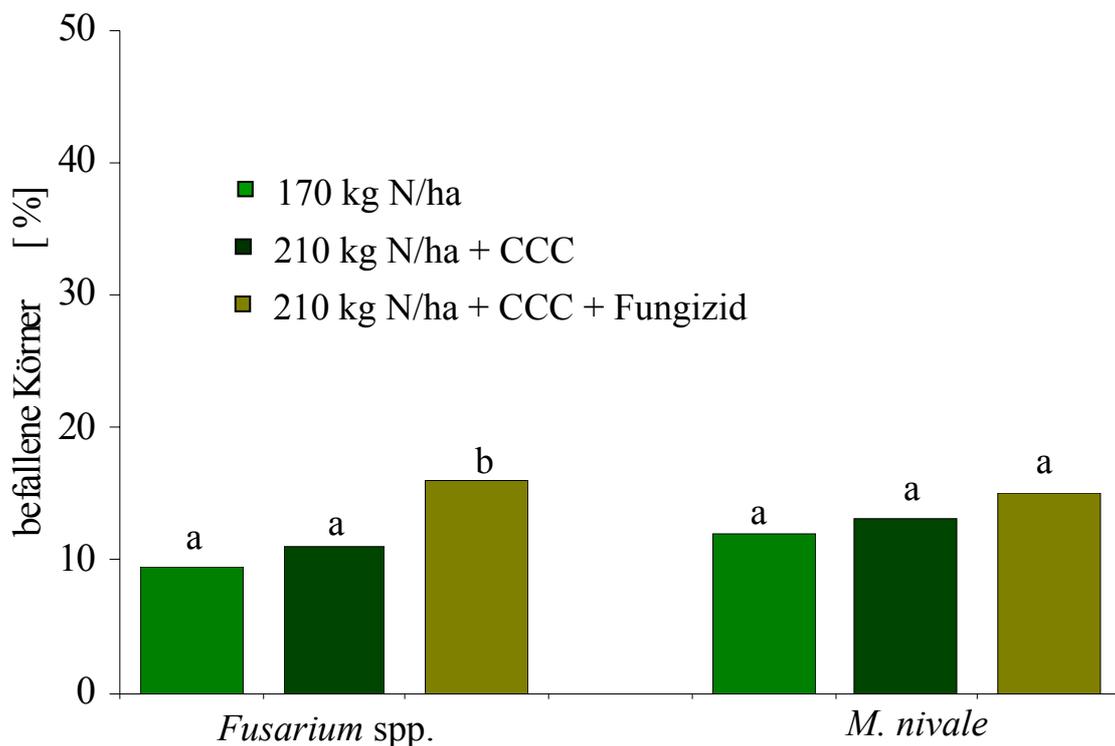


Abb. 55: Einfluss der Anbauintensität auf das Auftreten von *Fusarium* spp. an Weizenkörnern am Standort Kerpen-Buir 1998 ('Ritmo'); Säulen einer Gruppe mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant (Tukey-Test; $p \leq 0,05$).

Tab. 57: Einfluss der Anbauintensität auf den Deoxynivalenol-Gehalt und den Ertrag bzw. TKM von Winterweizen ('Ritmo', Kerpen 1998).

Düngung [kg N/ha]	Pflanzenschutz	DON [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	Ertrag [dt/ha]	TKM [g]
170 kg N/ha	ohne	139	93,5	49,7
210 kg N/ha	CCC	164	113,0	51,6
210 kg N/ha	CCC + Fungizid	172	117,5	50,7

Microdochium nivale

Die Befallshäufigkeit der Körner mit *M. nivale* wurde durch höhere Intensitätsstufen nicht in dem Maße beeinflusst wie die mit *Fusarium* spp.. Am Standort Kerpen-Buir kam es zu einer leichten Steigerung der Befallshäufigkeit, die Unterschiede waren allerdings nicht signifikant (Abb. 56). In Hennef zeigte sich ebenfalls, dass es durch den Einsatz von Stickstoff, aber auch durch Wachstumsregler, zu einem verstärkten Auftreten von *M. nivale* kam, tendenziell reduzierte aber die Blattapplikation von Fungiziden den Befall wieder. Statistisch absichern ließ sich nur die Befallsdifferenz zwischen den nicht gedüngten und den stark gedüngten, zusätzlich mit Wachstumsreglern behandelten Pflanzen (Abb. 56).

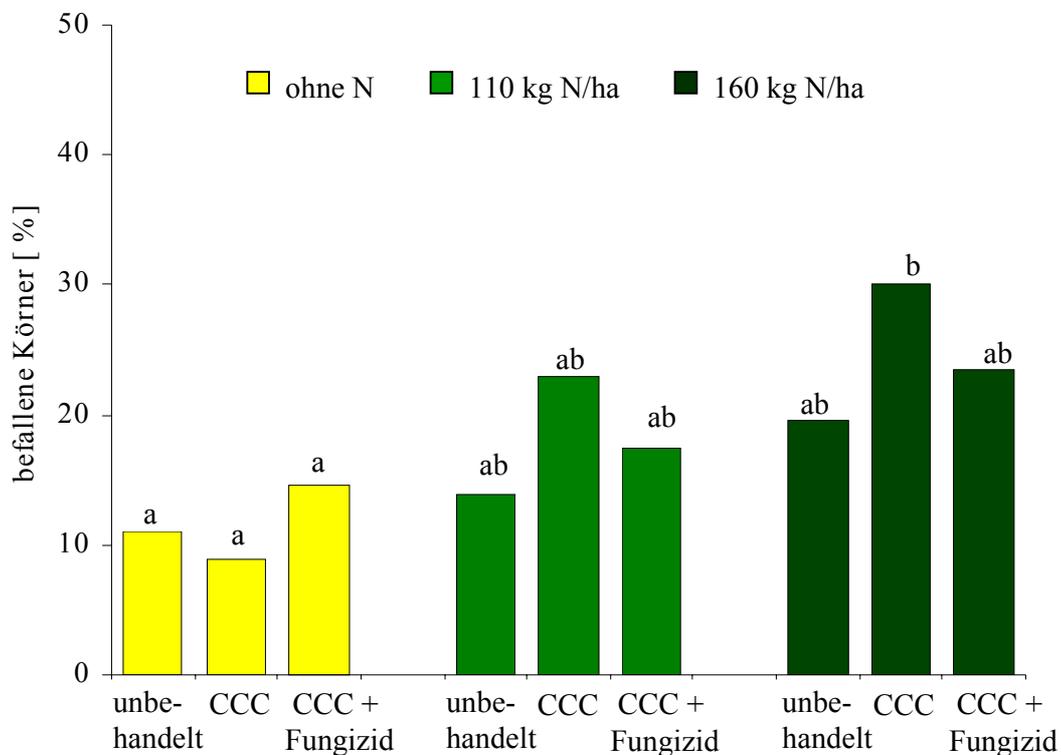


Abb. 56: Einfluss der Stickstoffdüngung bzw. Verwendung von Wachstumsregler und Fungiziden auf das Auftreten von *M. nivale* an Körnern von Winterweizen ('Contra', Hennef 1998); Säulen mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant; Tukey-Test; $p \leq 0,05$.

Im Jahr 1999 wurde am Standort Kerpen-Buir neben unterschiedlichen Düngungsintensitäten und dem Einsatz von Wachstumsreglern und Fungiziden auch die Saatstärke (180 Körner/m² und 230 Körner/m²) mit einbezogen. Zusätzlich wurde die Startdüngung mit Stickstoff (60 kg N/ha, 80 kg N/ha) und die Behandlung mit Wachstumsreglern gesplittet (Abb. 57). Es zeigte

sich, dass in Jahren mit einer geringen Befallshäufigkeit wie 1999 weder der Zeitpunkt des Einsatzes von Wachstumsreglern noch die Höhe der N-Startgabe einen Einfluss auf das Vorkommen von *Fusarium* spp. an den Körnern hatten. Die Saatstärke erhöhte die Befallshäufigkeit der Körner mit *Fusarium* spp. dagegen signifikant.

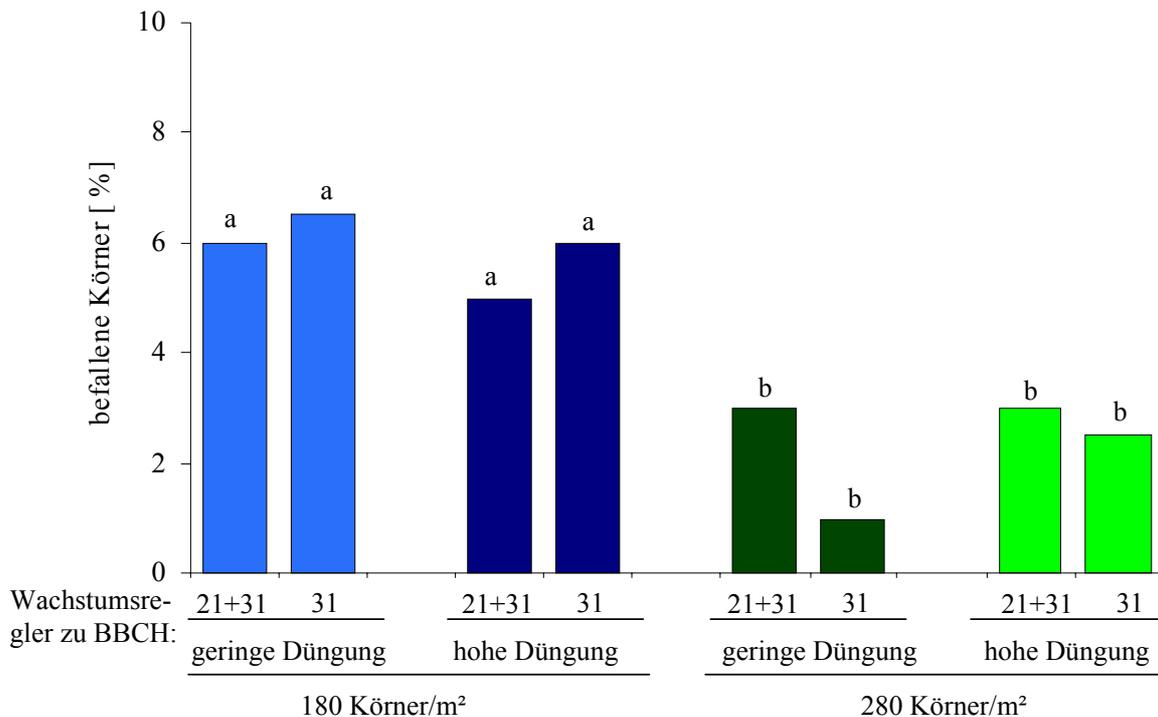


Abb. 57: Einfluss von Saatstärke, Düngung und Zeitpunkt des Einsatzes von Wachstumsreglern auf das Auftreten von *Fusarium* spp. an Winterweizen ('Flair', Kerpen 1999); Säulen mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant (Tukey-Test; $p \leq 0,05$).

3.2.4.7 Einfluss des Anbausystems

Am Standort Hennef wurde in den Jahren 1997 - 99 der Einfluss des Anbausystems auf die Befallshäufigkeit von Weizenkörnern mit *Fusarium* spp. und *M. nivale* untersucht. Dabei wurde Weizen von Flächen des Organischen Landbaus untersucht und mit Proben von Flächen des integrierten Anbaus verglichen. Die Weizenpflanzen von den integrierten Flächen wurden einmal zu BBCH 37 mit einem Blattfungizid behandelt, in einer weiteren Variante wurde zusätzlich zu BBCH 65 der Wirkstoff Tebuconazol appliziert.

Im Jahr 1998 wiesen die Körner aus integriertem Anbau einen um 15 % - 20 %, die aus dem Organischen Landbau einen um 6 % höheren Befall als 1997 auf (Abb. 58). In den Jahren

1997 und 1998 wies Weizen aus Organischem Landbau mit 9 % bzw. 15 % die geringere Befallshäufigkeit mit *Fusarium*-Arten auf. Die Körner aus integriertem Anbau wiesen ohne zusätzliche Fungizidapplikation den höchsten Befall von 30 % (1997) bzw. 50 % (1998) auf. Der Befall wurde durch die Fungizidapplikationen zu BBCH 65 auf 20 % bzw. 35 % verringert.

Im Jahr 1999 war das Befallsniveau insgesamt sehr niedrig. Trotzdem wurde von den Weizenkörnern aus Organischem Landbau mit 1 % befallenen Körnern wiederum weniger *Fusarium* spp. isoliert als von Weizen aus integriertem Anbau, der ohne zusätzliche Fungizidmaßnahme einen Befall von 6 % aufwies.

Die DON-Belastung wies 1997 die gleiche Abstufung wie der *Fusarium*-Besatz der Körner auf, von 250 µg/kg der Körner aus integriertem Anbau über 150 µg/kg bei zusätzlicher Ährenbehandlung und 100 µg/kg für Körner aus Organischem Landbau (Abb. 58). Im integrierten Anbau führte die zusätzliche Fungizidapplikation zur Blüte 1998 dagegen zur geringsten DON-Konzentration von 150 µg/kg. Im Organischen Landbau wurden 1998 DON-Gehalte von 300 µg/kg und im integrierten Anbau ohne Ährenbehandlung DON-Gehalte von 490 µg/kg ermittelt. Der DON-Gehalt der Körner war 1999 im Organischen Landbau mit 45 µg/kg unter dem des Jahres 1997, im integrierten Anbau war er mit 260 µg/kg fast auf dem gleichen Niveau wie 1997.

M. nivale war in beiden Jahren im Organischen Landbau der häufigste Schaderreger an den Körnern (Abb. 58). Der höchste Befall mit dem saatgutübertragbaren Erreger lag im Organischen Landbau 1998 bei 40,5 %. Auf den Flächen des integrierten Landbaus waren die Weizenkörner um bis zu 50 % weniger mit *M. nivale* befallen. In beiden Jahren wies der Weizen aus Organischem Landbau einen signifikant höheren Befall auf als aus integriertem Anbau, unabhängig davon, ob eine Ährenbehandlung zur Blüte erfolgte. Die beiden integrierten Varianten unterschieden sich 1997 kaum voneinander. Im Folgejahr kam es nach Fungizidanwendung zum Zeitpunkt der Blüte zu einem signifikant höheren Befall. Dies war vermutlich auf den starken *Fusarium*-Befall der Körner zurückzuführen, dessen Konkurrenzwirkung durch die Azolbehandlung verringert worden war. Im Jahr 1999 trat *M. nivale* in beiden Anbausystemen nur mit 0,5 - 3 % auf.

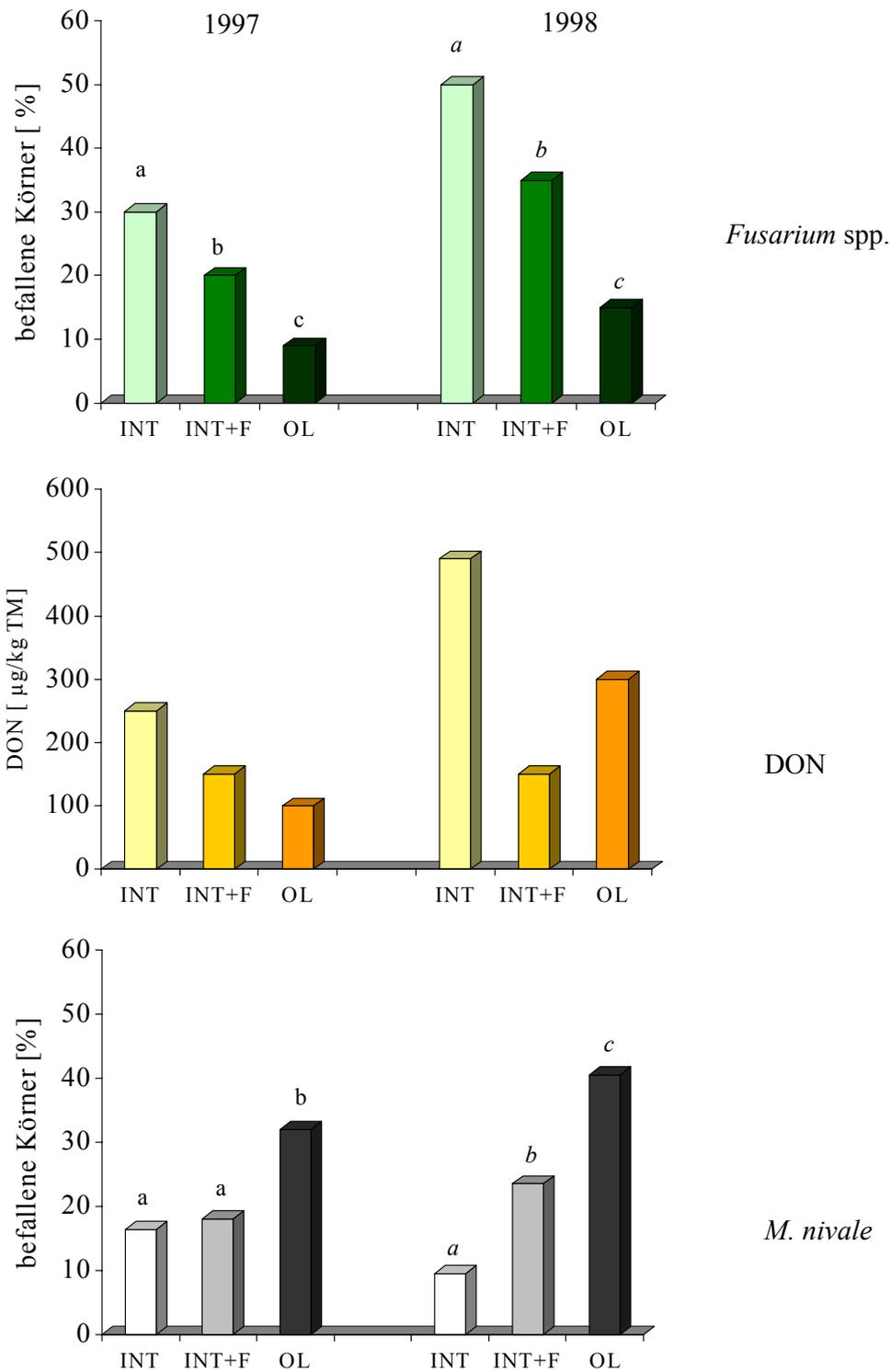


Abb.58: Einfluss des Anbausystems auf die Befallshäufigkeit von Weizenkörnern mit *Fusarium* spp bzw. *Microdochium nivale* und deren DON-Belastung in Hennef, 1997 und 1998; Proben aus Organischem (OL)- und integriertem Anbau (INT bzw. INT+F mit zusätzlicher Fungizidmaßnahme zu BBCH 65; Säulen mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant (Tukey-Test, $p \leq 0,05$).

3.3 Entwicklung von *Fusarium* spp. und *Microdochium nivale* an Weizenpflanzen

Gezielte Maßnahmen zur Reduktion des Kornbefalls mit toxinbildenden *Fusarium*-Arten bzw. *M. nivale* sind erst möglich, wenn der Befallsverlauf der Pathogene bekannt ist. Daher wurden in der Vegetationsperiode 1997/98 und 1998/99 verschiedene Pflanzenteile des Winterweizens zu mehreren Entwicklungsstadien auf Befall mit *Fusarium*-Arten bzw. *M. nivale* untersucht.

3.3.1 Halmbasis- und Blattsymptome durch *Fusarium* spp. und *Microdochium nivale*

Halmbasis

Der Befall verschiedener Weizensorten mit *Fusarium* spp. und *Microdochium nivale* an der Halmbasis wurde zu BBCH 37 am Standort Hennef in den Jahren 1998 und 1999 auf Flächen des Organischen Landbaus und 1999 auch im integrierten Anbau untersucht (Tab. 58). Im Organischen Landbau wurde an der Halmbasis überwiegend *Microdochium nivale* nachgewiesen, 1997 lag die Befallshäufigkeit bei 92 %, 1998 bei 23 %. Das Vorkommen der *Fusarium*-Arten an der Halmbasis war mit 3 – 5 % sehr gering. Im integrierten Anbau war der Anteil an Halmen, die mit *Microdochium nivale* befallen waren, mit 6 % wesentlich geringer, dies war sehr wahrscheinlich auf die Beizung des Saatguts zurückzuführen. Der Befall mit *Fusarium*-Arten war dagegen mit 22 % im integrierten Anbau wesentlich höher als im Organischen Landbau. Das auftretende Artenspektrum aus *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. poae* und *F. oxysporum* unterschied sich nicht zwischen den beiden Anbausystemen und Jahren.

Tab. 58.: Halmbasis-Befall mit *Fusarium*-Arten und *Microdochium nivale* an Weizen im Organischen und integrierten Landbau (Mittelwert der Sorten 'Astron', 'Aristos', 'Batis', 'Carolus', 'Pegassos', am Standort Hennef, 1998 und 1999).

Pathogen	Befallshäufigkeit [%]		
	Organischer Landbau		Integrierter Landbau
	1998	1999	1999
M. nivale	92	23	6
<i>F. avenaceum</i>	1	1	15
<i>F. culmorum</i>	0	1	2
<i>F. poae</i>	0	0	2
<i>F. oxysporum</i>	1	2	3
<i>Fusarium</i> spp.*	1	1	0
Σ <i>Fusarium</i> -Arten	3	5	22

* nicht näher bestimmte *Fusarium*-Arten

Blattsymptome

Die ersten Symptome einer *Fusarium*-Infektion traten zur Milchreife an Fahnenblatt-2 bis Fahnenblatt auf und nahmen bis zur Teigreife zu. Die Symptome waren zu 70 % an der Blattscheide und zu 30 % auf der Blattspreite zu beobachten. Von 13 % der Blätter wurde *Microdochium nivale* isoliert, von 14 % die Mykotoxin-bildenden *Fusarium*-Arten *F. avenaceum*, *F. culmorum* und *F. graminearum* sowie vereinzelt *F. poae* und *F. tricinctum*. Im Organischen Landbau lag der Befall mit *Microdochium nivale* 1998 mit durchschnittlich 23 % hoch, im Vergleich dazu war der Befall 1997 mit 6 %, 1999 mit 1 % sehr gering. Mykotoxin-bildende *Fusarium*-Arten traten an den Blättern 1998 mit 20 % am stärksten auf. In den beiden übrigen Jahren lag der Befall bei 8 – 10 %. Die am häufigsten auftretende *Fusarium*-Art war *F. avenaceum* (Tab. 59).

Tab. 59: Auftreten von *Fusarium* spp. und *Microdochium nivale* an Weizenblättern (Fahnenblatt und F-1) zu BBCH 85 in den Jahren 1997-1999 (Standorte Hennef, Velbert, Blankenheim, Sorten 'Astron', 'Batis', 'Carolus', 'Pegassos').

Pathogen	Organischer Landbau						Integrierter Landbau	
	1997			1998			1999	
	Hennef	Velbert	Blankenheim	Hennef	Velbert	Blankenheim	Hennef	Hennef*
<i>M. nivale</i>	0	7	10	22,5	30	17,5	1	1
<i>F. culmorum</i>	1	1	3	12	2,5	0	2	0
<i>F. graminearum</i>	2	0,5	1	6	1,5	1,5	1,5	2
<i>F. avenaceum</i>	5	8	6	15	9	10	2,5	3
<i>F. poae</i>	0	0	0	1	0	1,5	1	2
<i>F. tricinctum</i>	1	0,5	0	0	0	0	0	0
<i>Fusarium</i> spp.	0,5	0,5	0	0	0	0	1	1,5
Σ <i>Fusarium</i> spp.	9,5	10,5	9	34	13	13	8	8,5

*= mit einem Blattfungizid behandelt

3.3.2 Entwicklung des Befalls während der Vegetationsperiode

Der vom Boden ausgehende Befall mit *Fusarium*-Arten und *M. nivale* wurde 1998 bzw. 1999 an den Sorten 'Astron', 'Batis', 'Carolus' und 'Pegassos' durch die Entnahme von Pflanzenmaterial während der Vegetationsperiode untersucht (Abb. 59 und 60).

Der Befall des entnommenen Pflanzenmaterials mit *Fusarium*-Arten und mit *M. nivale* war 1998 wesentlich höher als im nächsten Jahr. Die Untersuchungen der Halmbasis zu BBCH 37 zeigten, dass zu diesem Zeitpunkt der Befall mit *M. nivale* mit einer Befallshäufigkeit von 92 % (1998) bzw. 23 % (1999) überwog. Zu Beginn des Ährenschiebens waren 20 % bzw.

16,5 % der unteren Blätter (1998 bzw. 1999) mit *Fusarium* spp. befallen, wobei die Arten *F. avenaceum*, *F. culmorum* und *F. graminearum* überwogen. Die Fahnenblätter wiesen 1998 zur Milchreife bzw. zur Teigreife höhere Infektionsraten mit *M. nivale* (22,5 %) auf als zum Zeitpunkt des Ährenschiebens. Im Erntegut 1998 war der Befall mit *M. nivale* mit 38 % sehr hoch. Die von Körnern und Blättern isolierten *Fusarium*-Arten entsprachen sich weitgehend (Abb. 59).

Im Jahr 1998 mit hoher Befallshäufigkeit von *Fusarium*-Arten und *M. nivale* an Halm und Korn korrelierte die Befallshäufigkeit zwischen Halm und Körnern ($r = 0,99$; $p \leq 0,01$) sehr eng. Des Weiteren war eine Korrelation zwischen infizierten Fahnenblättern und Körnern ($r = 0,75$; $p \leq 0,05$) sowie zwischen Halmen und Fahnenblättern ($r = 0,64$; $p \leq 0,05$) gegeben.

Nur 5% der Körner waren 1999 zur Ernte befallen, davon die Hälfte mit *F. poae*, der nur selten von Blättern bzw. Halmen isoliert werden konnte. Daher wurde kein Zusammenhang zwischen dem Befall des Ernteguts und dem der anderen Sprosssteile festgestellt. Ebenfalls konnte kein Zusammenhang zwischen dem Auftreten von *Fusarium* spp. und *M. nivale* an Saatgut und der Halmbasis bzw. den Blättern festgestellt werden.

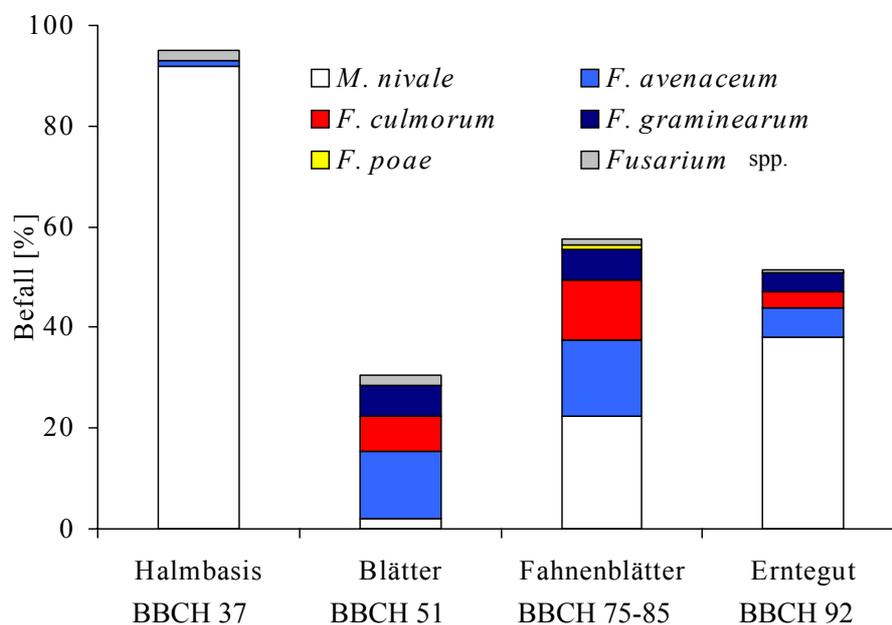


Abb. 59: Auftreten von *Fusarium*-Arten und *M. nivale* an verschiedenen Weizenorganen während der Vegetationsperiode 1998 (Mittelwert der Sorten: 'Astron', 'Batis', 'Carolus' und 'Pegassos', Hennef).

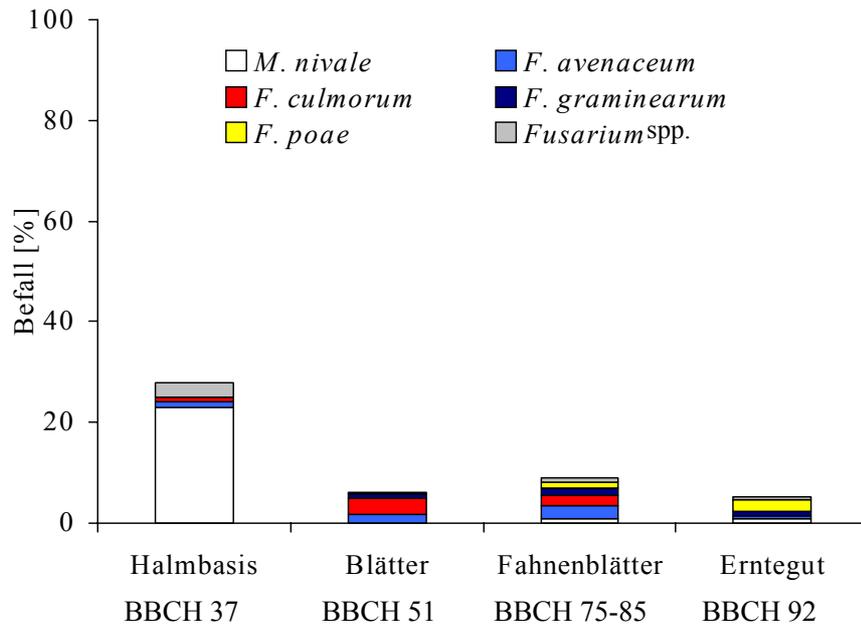


Abb. 60 Auftreten von *Fusarium*-Arten und *M. nivale* an verschiedenen Weizenorganen während der Vegetationsperiode 1999 (Mittelwert der Sorten: 'Astron', 'Batis', 'Carolus' und 'Pegassos', Hennef).

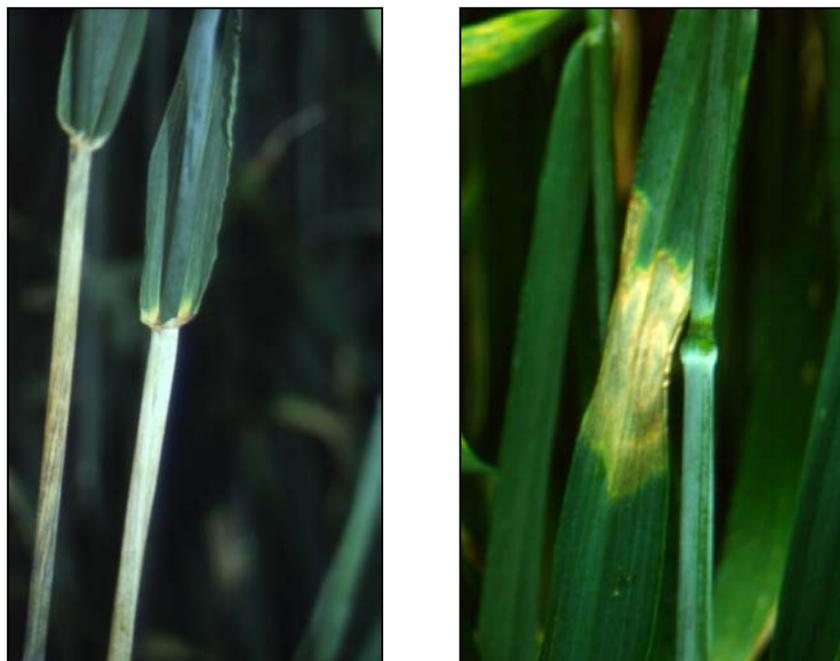


Abb. 61: Befallssymptome an Blatt und Blattspreite von Weizen durch *Fusarium* spp..

3.3.2 Befallsverlauf in der Ähre

Um die Ausbreitung eines *Fusarium*-Befalls in der Ähre zu untersuchen, wurden Ährchen in der Mitte der Ähre zum Zeitpunkt der Vollblüte gezielt mit den *Fusarium*-Arten *F. avenaceum*, *F. graminearum*, *F. culmorum* bzw. *F. poae* inokuliert. Zur Erleichterung der Pathogenausbreitung wurde ein Teil der Ähren zusätzlich befeuchtet. Wie in Abbildung 62 dargestellt, war am Erntegut zum Teil eine deutliche Ausbreitung der *Fusarium*-Infektionen zur Ährenbasis zu erkennen. Dies wurde besonders deutlich bei *F. avenaceum*, *F. graminearum* und *F. culmorum*. Nur bei *F. culmorum* führte die Befeuchtung zu einer Ausbreitung des Befalls bis in die Spindel Spitze. Bei der Inokulation mit *F. poae* konnte keine Ausdehnung festgestellt werden. Es kam immer wieder zu neuen Infektionsstellen an der Ähre, wobei einzelne dazwischen liegende Spindelstufen befallsfrei blieben; Infektionen mit *F. poae* wurden vereinzelt auch an nicht inokulierten Pflanzen festgestellt.

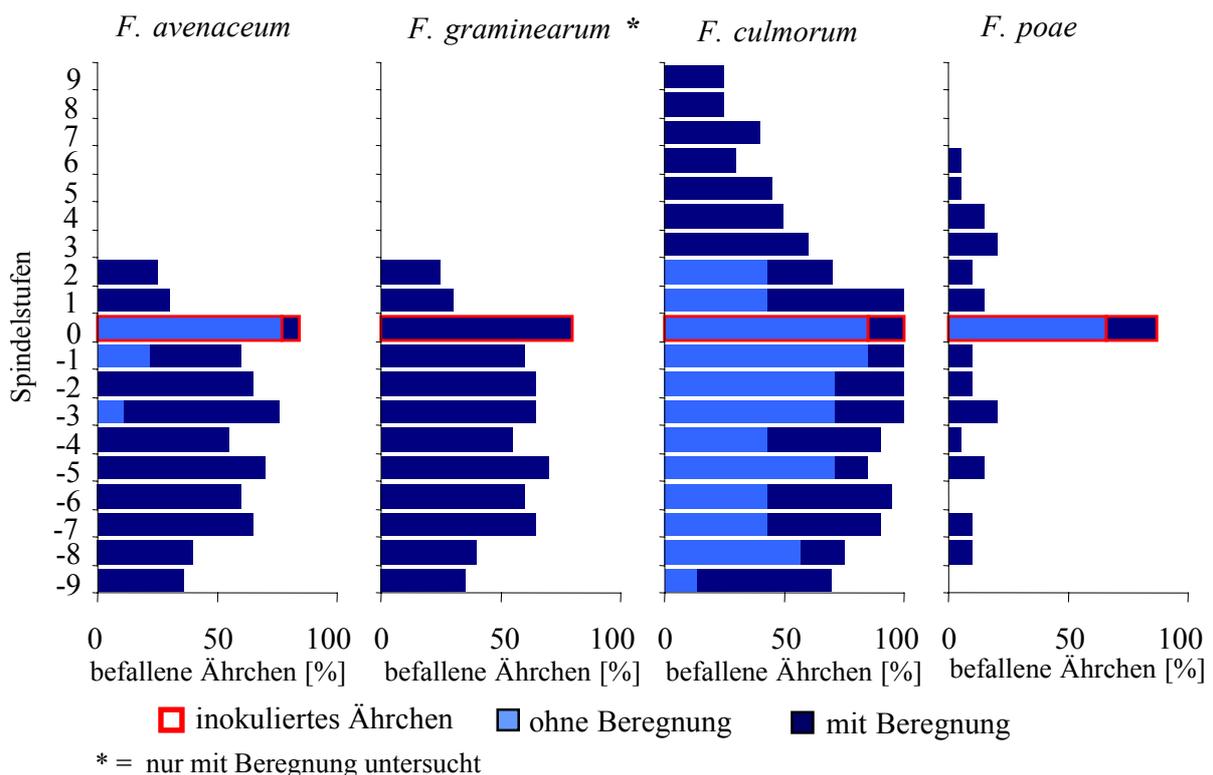


Abb. 62: Ausbreitung verschiedener *Fusarium*-Arten in der Ähre nach Inokulation von einzelnen Blüten zur Vollblüte (BBCH 65) mit und ohne Befeuchtung unter kontrollierten Bedingungen (n = 15).

3.3.3 Einfluss des Infektionszeitpunktes auf Ährenbefall und Mykotoxinbelastung

Die Anfälligkeit von Weizen zu verschiedenen Entwicklungszeitpunkten wurde unter kontrollierten Bedingungen wie auch im Freiland untersucht, in dem die Weizenpflanzen zu verschiedenen Entwicklungsstadien inokuliert wurden. Dabei zeigte sich, dass zwischen BBCH 49 und BBCH 75 sowohl unter kontrollierten Bedingungen wie auch im Freiland eine Infektion möglich war, wobei keine nennenswerten Unterschiede zwischen diesen beiden Umwelten ermittelt wurden. Daher werden im Folgenden die Ergebnisse der Freiland-Untersuchungen dargestellt. Aus Abbildung 63 geht hervor, daß die Inokulation zu BBCH 65 zur stärksten Befallshäufigkeit der Körner führte: 83 % der Körner waren mit *F. culmorum*, 81 % mit *F. avenaceum* bzw. 67 % mit *F. graminearum* befallen. Demgegenüber nahm der Infektionserfolg von *F. poae* mit dem Entwicklungsstadium zu, was zu BBCH 75 zu einer maximalen Befallshäufigkeit von 25 % führte.

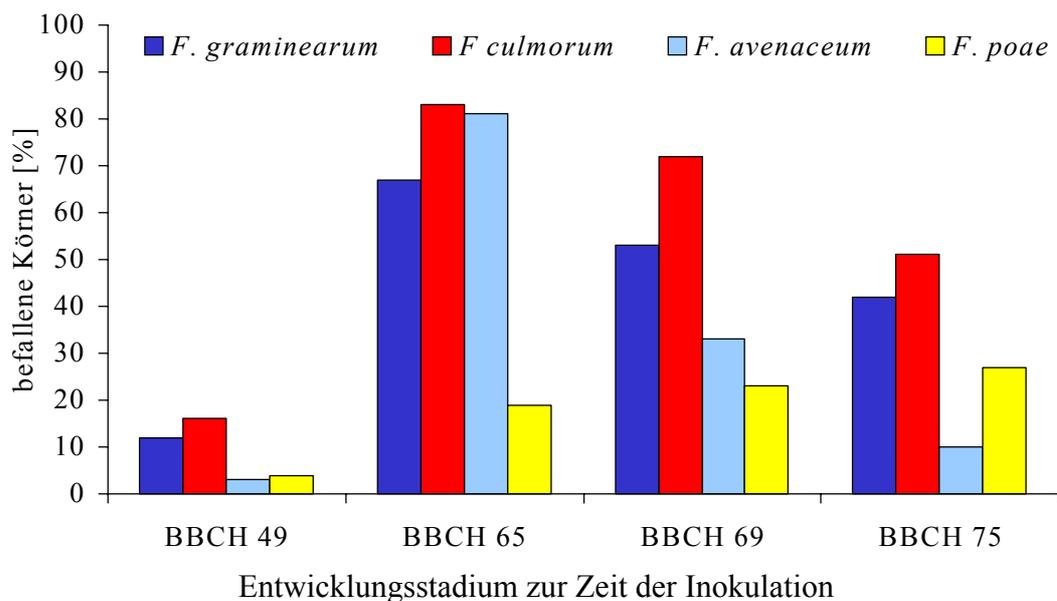


Abb. 63: Einfluss des Infektionszeitpunktes auf den Befall von Weizenkörnern der Sorte 'Ritmo' mit den *Fusarium*-Arten *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. avenaceum* bzw. *F. poae* (Hennef 1999).

Die Deoxynivalenol- und Nivalenol-Gehalte der Weizenkörner wurden mittels Hochleistungsflüssigkeits-Chromatographie ermittelt (Tab. 60). Nach Inokulation mit *F. culmorum* und *F. graminearum* wurden sowohl Deoxynivalenol wie auch Nivalenol nachgewiesen. Nach Inokulation von *F. poae* wurde kein Toxingehalt über 1 mg/kg – dem Basiswert der nicht inokulierten Pflanzen - nachgewiesen. Die DON-Gehalte lagen je nach

Infektionszeitpunkt mit 4,8 – 6,1 mg/kg deutlich über den Nivalenol-Gehalten mit 1,0 – 4,4 mg/kg. Die höchsten DON-Gehalte wurden nach einer Inokulation während der Blüte zu BBCH 65 bzw. zu BBCH 69 ermittelt. *F. avenaceum* wurde nicht untersucht, da diese Art keine Trichothecene bildet.

Tab. 60: Einfluss des Infektionszeitpunktes mit verschiedenen *Fusarium*-Arten auf die Deoxynivalenol- (DON) und Nivalenol-Gehalte (NIV) der Körner von Weizenpflanzen ('Ritmo', Hennef 1999).

Fusarium-Art	Trichothecen-Gehalt [mg/kg]							
	BBCH49		BBCH65		BBCH69		BBCH75	
	DON	NIV	DON	NIV	DON	NIV	DON	NIV
<i>F. graminearum</i>	5,82	1,33	7,34	3,86	4,92	1,80	5,42	1,00
<i>F. culmorum</i>	4,81	1,78	6,08	4,04	6,03	4,43	4,99	1,78
<i>F. poae</i>	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
nicht inokuliert	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00

F. culmorum bildete unabhängig vom Zeitpunkt der Infektion mehr Nivalenol als *F. graminearum* (Tab. 36). Die Summe der Trichothecene und die Befallshäufigkeit korrelierten nach Inokulation mit *F. graminearum* mit $r = 0,92$ ($p \leq 0,01$) und nach Inokulation mit *F. culmorum* mit $r = 0,75$ ($p \leq 0,01$) gut.

Die Tausendkornmasse wurde durch die Inokulation zu jedem Inokulationszeitpunkt signifikant gegenüber der der nicht inokulierten Körnern verringert. Am stärksten wurde sie durch *F. avenaceum* und *F. culmorum* reduziert, besonders stark, wenn die Inokulation zum Zeitpunkt der Blüte erfolgte (Tab. 61). Am geringsten war der Einfluss auf die Tausendkornmasse nach Inokulation mit *F. poae*, wo es nur bei einer Inokulation kurz nach der Blüte zu einem signifikanten Einfluss auf die Tausendkornmasse kam.

Die Reduktion der Tausendkornmasse korrelierte mit der Befallshäufigkeit der Körner mit *F. graminearum* ($r = -0,99$) und *F. avenaceum* ($r = -0,97$; $p \leq 0,01$) sehr gut (Tab. 62). Hingegen zeigte sich kein Zusammenhang zwischen der Befallshäufigkeit der Körner mit *F. poae* und der Tausendkornmasse. Eine Korrelation zwischen dem Gehalt an Nivalenol und der Reduktion der TKM durch *F. culmorum* ($r = -0,97$; $p \leq 0,01$) bzw. *F. graminearum* ($r = 0,7$; $p \leq 0,01$) war gegeben, im Vergleich dazu korrelierte der Deoxynivalenol-Gehalt nur mit der Reduktion der TKM von *F. culmorum* ($r = -0,98$; $p \leq 0,01$).

Tab. 61: Einfluss der *Fusarium*-Art und des Inokulationszeitpunktes auf die Tausendkornmasse von Weizen ('Ritmo', Hennef 1999). Werte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant (Tukey-Test, $p \leq 0,05$).

<i>Fusarium</i> -Art	Tausendkornmasse [g]			
	BBCH 49	BBCH 65	BBCH 69	BBCH 75
<i>F. graminearum</i>	48 ^a	41 ^b	40 ^b	43 ^a
<i>F. culmorum</i>	45 ^b	39 ^c	38 ^d	43 ^e
<i>F. avenaceum</i>	44 ^b	37 ^c	40 ^d	42 ^d
<i>F. poae</i>	46 ^a	46 ^a	44 ^b	47 ^a
nicht inokuliert	48 ^a	47 ^a	46 ^a	47 ^a

Tab. 62: Korrelation zwischen der Befallshäufigkeit der inokulierten *Fusarium*-Art *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. avenaceum*, *F. poae* und dem Trichothecegehalt (Deoxynivalenol und Nivalenol) bzw. der Tausendkornmasse (TKM) von Weizen.

<i>Fusarium</i> -Art	<i>Fusarium</i> -Befall/ Trichothece ¹	<i>Fusarium</i> -Befall/ TKM	Korrelationskoeffizient [r]	
			DON/ TKM	NIV/ TKM
<i>F. graminearum</i>	0,92*	-0,99*	-0,03	-0,70
<i>F. culmorum</i>	0,75	-0,68	-0,98	-0,97*
<i>F. avenaceum</i>	/	-0,97*	/	/
<i>F. poae</i>	/	-0,19	/	/

*= signifikant $p \leq 0,05$; ¹= Summe von Deoxynivalenol (DON) und Nivalenol (NIV), / = nicht untersucht

3.3.3 Einfluss von Temperatur und relativen Luftfeuchte auf den Ährenbefall

Um den Einfluss von Temperatur und relativen Luftfeuchtigkeit auf den Infektionsverlauf der *Fusarium*-Arten zu untersuchen, wurde Weizen nach einer Inokulation der Blüte mit *F. culmorum*, *F. avenaceum*, *F. graminearum* bzw. *F. poae* zum Zeitpunkt bei Temperaturen von 15 bzw. 25 °C und rel. Luftfeuchten von 80 bzw. 100 % inkubiert. Dabei nahm mit steigender Temperatur und rel. Luftfeuchtigkeit die Anzahl der infizierten Körner zu (Abb. 64). Die *Fusarium*-Arten reagierten jedoch unterschiedlich stark auf die Erhöhung von Temperatur und rel. Luftfeuchtigkeit: Während *F. poae* bei Änderung nur eines Parameters - Erhöhung der Temperatur oder der rel. Luftfeuchte - einen geringen Anstieg der Befallshäufigkeit von 10 % auf 21 % zeigte, stieg die Befallshäufigkeit von *F. avenaceum* durch die Erhöhung der Temperatur um 30 % und durch die rel. Luftfeuchte um 48 % an. Bei *F. graminearum* ließ die Erhöhung der Temperatur die Befallshäufigkeit um 27 % ansteigen, während durch die Erhöhung der rel. Luftfeuchte der Befall um 35 % zunahm. Eine Erhöhung von Temperatur und rel. Luftfeuchtigkeit führte zu einem weiteren Anstieg der

Befallshäufigkeit. Die Inkubation von *F. culmorum* bei 25 °C und 100 % rel. Luftfeuchtigkeit erbrachte mit 78 % den stärksten Kornbefall aller Umweltbedingungen.

Bei einer Nachweisgrenze von 1 mg/kg lagen die Nivalenol-Gehalte zwischen 1 – 43 mg/kg (Abb. 62). Nach Inkubation der mit *F. culmorum* inokulierten Pflanzen bei 15 °C und 80 %iger rel. Luftfeuchtigkeit wurden NIV-Gehalte von 8 mg/kg nachgewiesen. Eine höhere rel. Luftfeuchtigkeit führte zu einem NIV-Gehalt von 25 mg/kg, bei den mit *F. graminearum* inokulierten Weizenpflanzen von 17 mg/kg und bei den mit *F. poae* inokulierten auf 2,5 mg/kg. Eine Inkubationstemperatur von 25 °C ließ die NIV-Gehalte bei den mit *F. culmorum* und *F. graminearum* inokulierten Pflanzen auf 36 mg/kg bzw. 43 mg/kg ansteigen. Durch die Änderung der Inkubationsbedingungen kam es bei der Inokulation mit *F. poae* zu keiner Steigerung der Nivalenol-Gehalte.

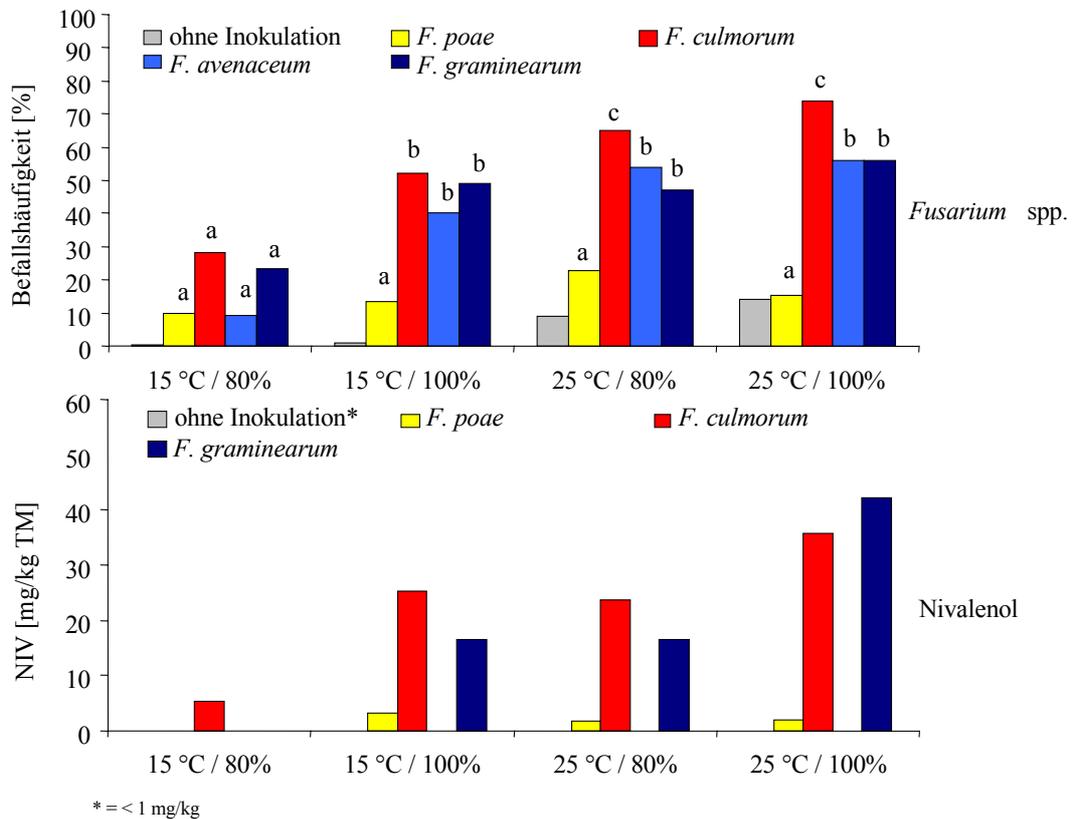


Abb. 64: Einfluss von Temperatur und rel. Luftfeuchtigkeit auf die Befallshäufigkeit mit *Fusarium*-Arten und den Nivalenol-Gehalt an Weizen; Säulen mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant; Tukey-Test, $p \leq 0,05$.

4. DISKUSSION

Veränderte acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen im konventionellen Anbau - Aussaat ertragreicher kurzstrohiger, aber häufig sehr anfälliger Sorten, steigender Getreideanteil in der Fruchtfolge, sowie Minimalbodenbearbeitung - und die Zunahme organisch bewirtschafteter Flächen ließen es notwendig erscheinen, in einer Bestandsaufnahme über mehrere Jahre Daten zum Vorkommen von *Fusarium* spp. und *M. nivale* im Weizenanbau zu erheben.

Ziel der vorliegenden Arbeit war, den Einfluss pflanzenbaulicher Maßnahmen auf die Pflanzengesundheit von Weizen im Organischen und integrierten Landbau zu erfassen und zu bewerten. Im Vordergrund stand das Auftreten von *Fusarium* spp. und *M. nivale* und deren Einfluss auf die Qualität und Quantität des Ernteguts. Die nicht ausreichende Wirksamkeit der direkten Bekämpfungsmaßnahmen mit Fungiziden (THALMANN, 1996; OBST, 1997a) machen es zudem notwendig, auch im integrierten Anbau andere Strategien zu entwickeln, mit denen die Sicherung von Ertrag und Qualität der Getreideproduktion ermöglicht werden kann. Dabei steht beim Auftreten von Ährenfusariosen in Mitteleuropa nicht die Ertragsmenge im Vordergrund des Interesses, sondern die Gefährdung der Qualität des Ernteguts durch die von den *Fusarium*-Arten gebildeten Mykotoxine.

Variabilität beim Nachweis der Erreger

Differenzen bzw. Schwierigkeiten bei der Bewertung von Ergebnissen von Freilandversuchen beruhen zum einen darauf, dass der Zeitpunkt der Ährenbonitur für jede Sorte, jedes Jahr und jeden Standort zum gleichen Entwicklungsstadium geschehen muss. Des Weiteren spielt für die Symptomausprägung die Witterung eine entscheidende Rolle, die Symptome waren am besten nach einem Regenschauer zu erkennen, bzw. bei feuchter Witterung (MAULER-MACHNIK UND ZAHN, 1994). Die eigenen Ergebnisse zeigen wie die von HERMANN et al. (1998b) und AUFHAMMER (1999), dass von der Ährenbonitur kein Rückschluss auf die Toxinkonzentration des Ernteguts möglich ist.

Auch lag der Befallswert der Ährenbonitur unter dem Befallswert der mikrobiologischen untersuchten Körner. Ein Grund kann die sortenabhängige Symptomausprägung sein; so beschrieb WOSNITZA (2000) Sorten, die bei der Ährenbonitur niedrige Befallswerte aufwiesen, aber mittlere DON-Gehalte aufwiesen und umgekehrt. Deshalb sollte die Befallshäufigkeit der Körner hinzugezogen werden, um die Anfälligkeit der Sorten einzuschätzen (MESTERHÁZY, 1996). Allerdings lässt auch die Befallshäufigkeit keine quantitative Aussage über die Menge von *Fusarium*-Myzel zu und muss nicht mit den

Toxinwerten korrelieren. Dazu könnte der Ergosterolwert mit einbezogen werden, der Aussagen über die Kornbesiedelung mit pilzlicher Biomasse zulässt. BUCHELI (1996) konnte jedoch zwischen dem Ergosterol-Gehalt und dem DON-Gehalt keinen klaren Zusammenhang feststellen. Zudem kann der Ergosterolgehalt bisher nur unspezifisch für Pilze ermittelt werden.

Durch die Ährenbonitur wird der Anteil der symptomlos befallenen Körner nicht erkannt, des Weiteren verursachen nicht alle *Fusarium*-Arten eindeutige Symptome. Im Rheinland treten vermehrt Arten wie *F. avenaceum* und *F. poae* auf, die zum einen kein DON bilden bzw. meistens nur schwache Symptome an einzelnen Ährchen verursachen (RINTELEN, 2000). Durch die Ährenbonitur ist es nicht möglich, die einzelnen *Fusarium*-Arten zu unterscheiden bzw. *M. nivale* lässt sich nicht immer klar differenzieren und kann dann zu Fehlinterpretationen führen (WEINERT & WOLF, 1999).

Auch kommt es vor, dass große Körner trotz Befalls keine Befallssymptome aufweisen. So fand RINTELEN (1995) in seinen Untersuchungen Körner, die eine Befallshäufigkeit bis zu 60 % hatten, darunter sogar 20 % mit *F. culmorum* und *F. graminearum*, ohne dass Weißfährigkeit aufgetreten war. DIEHL (1984) stellte große Unterschiede zwischen dem optisch ermittelten Ährenbefall mit *M. nivale* und dem Kornbefall fest, was dafür spricht, dass ein Großteil des Ährenbefalls latent war. Als alleinige Methode lässt sich die Ährenbonitur nur bei hohem Infektionsdruck verwenden. Auch WOSNITZA (2000) konnte dies in ihren Untersuchungen feststellen, wobei in Bayern in einigen Regionen vorwiegend *F. graminearum* vorkommt, der zur Bildung von starken Ährensymptomen neigt und eine einfache Zuordnung ermöglicht.

Durch die Oberflächendesinfektion werden anhaftende Pathogene eliminiert, wodurch im Vergleich - mit und ohne Desinfektion – der Ort des Befalls eingegrenzt werden kann. Von den untersuchten *Fusarium*-Arten wurde *F. poae*, der als schwach pathogen angesehen wird, durch eine Oberflächensterilisation am stärksten reduziert. Diese Ergebnisse bestätigen OBST & FUCHS (2000) und LEPSCHY (2000), wonach *F. poae* primär die Spelzen infiziert und kaum ins Korn eindringt. Ohne Oberflächendesinfektion wurde die Isolierungsrate der *Fusarium*-Arten durch die Konkurrenz von Saprophyten der Gattungen *Alternaria* und *Epicoccum* reduziert.

Durch die Getreidereinigung wurde ein Teil der befallenen Körner herausgereinigt, die Kümmerkörner machten allerdings nur einen geringen Anteil des Ertrags aus. Am stärksten war der Effekt bei den Arten *F. culmorum* und *F. graminearum*, die einen starken Einfluss auf die Tausendkornmasse haben. Bis zu 72 % der mit *M. nivale* befallenen Körner wurde

herausgereinigt (durchschnittlich 45 %). Diese Wirkung ist für den Organischen Landbau nicht zu unterschätzen, da das Saatgut nicht gebeizt werden darf. Allerdings scheint die Bildung von Kümmerkörnern unabhängig von der Höhe des DON-Gehalts in den Körnern zu sein (LEPSCHY, 1992). CHELKOWSKI & PERKOWSKI (1992) fanden höhere DON-Gehalte bei einer Siebsortierung > 2,5 mm als bei kleineren Körnern.

Erst durch die Entwicklung der Toxinanalytik wurde das Problem Mykotoxine durch Ährenfusariosen im Erntegut deutlich und als solches erkannt. Für die Toxinanalyse wird vor allem die High Performance Liquid Chromatography (HPLC) verwendet, da sie keine Derivatisierung benötigt und weniger fehleranfällig ist als die Analyse mittels eines Gas-Chromatographs (GC). Allerdings ist die Nachweisgrenze wegen des hohen Grundrauschens hoch. Sie ist bei Immunoassays wesentlich niedriger, dafür müssen erhebliche Kreuzreaktionen mit Vorstufen und DON-Derivaten in Kauf genommen werden; ein weiterer Nachteil ist, dass nur ein Toxin ermittelt wird. Hier liegt der Vorteil der LC-MSMS, die mehrere Toxine in einem Durchlauf analysieren kann. Die mittels ELISA und LC-MSMS erhobenen Werte korrelierten sehr eng und zeigten somit, dass die Werte vergleichbar waren. Vorteil des ELISAs ist die relativ leichte Handhabung und die im Vergleich niedrigeren Kosten.

Die Ergebnisse von OFFENBÄCHER (2002) und die eigenen zeigen, dass die Toxinanalysen von Getreide mittels ELISA und HPLC vergleichbare Ergebnisse erbringen. Allerdings war die Streuung der einzelnen ELISA-Werte größer. NOSER et al. (1996) und KRŠKA et al (2001) stellten ebenfalls fest, dass der mittels ELISA-bestimmte DON-Gehalt bei höheren Werten über dem mit HPLC bestimmten lag. Neuerdings werden im HPLC-Verfahren Immunoaffinitätssäulen eingesetzt, wodurch die Bestimmungsgrenze von DON weiter gesenkt werden kann (KRŠKA et al., 2001).

MESTERHÁZY UND BARTOK (1996) bezeichneten Nivalenol, Deoxynivalenol und Zearalenol-Verbindungen als die wichtigsten *Fusarium*-Toxine, dem widerspricht, dass in einigen Regionen, wie im Rheinland, vorwiegend *Fusarium*-Arten auftreten, die diese Toxine nicht bilden, wie z.B. *F. avenaceum*, der Moniliformin produzieren kann. Auch kommt es je nach Region vor, dass ein ganz bestimmtes Trichothecenspektrum von den *Fusarium*-Arten gebildet wird. So produzieren Stämme von *F. graminearum* aus Japan, Australien und Italien Nivalenol während die in Nord- und Südamerika vorkommenden Stämme dieses Toxin offensichtlich nicht bilden (NOSER et al., 1996).

Entwicklung an der Weizenpflanze

Neben der direkten monozyklischen Ausbreitung einiger *Fusarium*-Arten mittels der Ascosporen von Ernterückständen unmittelbar in die Ähre ist für andere Arten ein stufenweises Fortschreiten von den unteren Blattetagen nach oben anzunehmen. ADOLF (1998) stellte bei mehreren *Fusarium*-Arten eine Konidiosporenbildung ohne Auftreten entsprechender Blattsymptome fest, und zwar zeitlich versetzt von den unteren zu den oberen Blattetagen. Ein systemisches Wachstum von der Halmbasis aus konnte bisher nicht nachgewiesen werden (SCHACHMAYR & FRIED, 2000). Aber auch *Fusarium*-Arten, wie *F. culmorum* und *F. poae*, können durchaus größere Distanzen von bis zu 58 cm vertikal und 100 bzw. 70 cm horizontal durch Regentropfen überwinden, auch wenn noch keine Hauptfruchtform gefunden werden konnte. Im Schnitt überwinden sie allerdings nur 4 – 15 cm sowohl vertikal als auch horizontal (HÖRBERG, 2001). Für die Epidemiologie ist von Bedeutung, dass *Fusarium* spp. zwei Formen von Konidien bilden Mikro- und Makrosporen. Die Mikrosporen, so auch bei *F. poae*, werden locker im Luftmyzel gebildet und mit der Luftströmung verteilt. Die Makrosporen werden in dichten Lagern, den Sporodochien, mit Schleim zusammengehalten und durch Regenspritzer verbreitet (RINTELEN, 2000). Einige Arten, wie *F. culmorum* und *F. graminearum*, bilden nur Makrosporen, *F. avenaceum* bildet beide Formen, hat aber im Vergleich zu *F. poae* größere Mikrosporen. *F. poae* bildetet sehr viele Mikrosporen und selten Makrosporen.

An der Halmbasis kommt es durch eine enge Fruchtfolge bzw. durch die Verbreitung von Mais und der nicht wendenden Bodenbearbeitung zu einem Anstieg des Auftretens von *Fusarium*-Arten und *M. nivale* (OBST et al., 1995; MAULER-MACHNIK, 1996; MILLER et al., 1998). *M. nivale* trat in den eigenen Untersuchungen an bis zu 92 % der Halme auf, hingegen konnte *Fusarium* spp. nur von 3 - 22% der Halme isoliert werden. Am häufigsten wurde *F. avenaceum* isoliert, dies bestätigt die Ergebnisse von SCHADE-SCHÜTZE (1999). Da die Symptomausprägung viel zu unspezifisch ist und insbesondere *M. nivale* nicht von *Fusarium* spp. unterschieden werden konnte, wurden die Halme auf Nährmedium ausgelegt wie auch bei den Untersuchungen von CHRISTANI (1992). Von Halmen, die keine Symptome aufwiesen, ließen sich dennoch *Fusarium*-Arten isolieren. Nach WEGENER & WOLF (1994) beruht die Diskrepanz zwischen Symptomen und der Häufigkeit von Isolierungen auf Agarmedien auf dem Auftreten von latenten *Fusarium*-Infektionen. Des Weiteren können auch Mischinfektionen von *Pseudocercospora herpotrichoides* und *Fusarium* spp. bzw. *M. nivale* vorliegen.

In einigen Jahren waren zwar keine Blattsymptome zu erkennen, mikrobiologische Untersuchungen der Blätter wiesen jedoch einen Befall mit *Fusarium* spp. nach, der während der Vegetationsperiode bis zur Teigreife zunahm. Im Jahr 1998 traten schon vor der Blüte vermehrt Blattsymptome auf, die auf den Nekrosen gebildeten Sporen trugen unter den günstigen Witterungsbedingungen zu einem Kornbefall von bis zu 50 % bei. Während am Halmgrund zum Zeitpunkt des Schossens vorwiegend *M. nivale* und *F. avenaceum* isoliert wurden, konnten später von den Blättern alle an den Körnern vorkommende Arten isoliert werden. Dies unterstützt die Ergebnisse von SCHADE-SCHÜTZE (1999), die diesen Sachverhalt auf die unterschiedlichen ökologischen Ansprüche der einzelnen *Fusarium*-Arten zurückführte. Die Untersuchungen von MAULER-MACHNIK & ZAHN (1994) zeigten ebenfalls in diese Richtung, nur dass sie Blätter mit Symptomen untersuchten, auf denen sich dann meistens *M. nivale* und *F. culmorum* befanden. In Jahren mit einer hohen Befallshäufigkeit bestand ein Zusammenhang zwischen den am Blattbefall beteiligten Arten und dem Kornbefall. In Jahren mit geringer Befallshäufigkeit hingegen bestand dieser Zusammenhang nicht. Dies bestätigten die Ergebnisse von AHRENS & FEHRMANN (1984), die eine Korrelation zwischen dem Blattbefall und dem Ährenbefall mit *M. nivale* fanden.

Fusarium-Arten wachsen häufig über die Ährchenachse in die Ährenspindel und breiten sich basipetal aus (WEINERT 1995, BECK et al. 1997). BUCHENAUER & KANG (2002) konnten vier Tage nach Inokulation von *F. culmorum* die ersten sichtbaren Symptome nachweisen, der Pilz wuchs Richtung Ährchenachse, von wo aus die Seitenährchen und die Spindelachse besiedelt wurden. In den eigenen Untersuchungen lief der Infektionsverlauf bei den Arten *F. culmorum*, *F. graminearum* und *F. avenaceum* ebenso von dem infizierten Ährchen zur Spindel, zur Ährenbasis und teils noch in den Halm hinab. Über dem Infektionsort kam es zur Taubährigkeit, außer bei *F. culmorum*, bei dem bei zusätzlicher Befeuchtung der Ähre auch noch eine Ausbreitung des Erregers nach oben zu beobachten war. Eine weitere Ausnahme bildete *F. poae*, der keine systemische Ausbreitung in der Ähre zeigte. Dieser Sachverhalt deckt sich mit den Untersuchungen von WEINERT UND WOLF (1999) für *F. poae*, hingegen konnten diese Autoren bei *F. avenaceum* keine Ausbreitung von der befallenen Blüte feststellen. Allerdings wurden ihre Untersuchungen im Feld ohne Befeuchtung der Ähren durchgeführt.

Als besonders gefährdetes Entwicklungsstadium ist der Zeitpunkt der Vollblüte ausgewiesen. Der Weizen ist aber von Ende des Ährenschiebens bis zum Ende der Blüte für *Fusarium*-Infektionen anfällig (WEINERT, 1995; OBST, 2000). In den eigenen Untersuchungen zeigte sich, dass auch eine Inokulation zu BBCH 49 einen Befall bis zu 18 % der Körner

verursachen kann. Auch DIEHL & FEHRMANN (1989) beschrieben dieses Entwicklungsstadium als mögliches Infektionsstadium. In Inokulationsversuchen von LEPSCHY (1992) war eine Infektion von *F. culmorum* und *F. graminearum* während der Milchreife nicht mehr möglich. Die eigenen Untersuchungen zeigten dagegen, dass zwar die höchste Anfälligkeit vorüber war, es aber noch zu einer beachtlichen Infektionshäufigkeit kommen kann. Zudem muss berücksichtigt werden, dass die Haupt- und Bestockungshalme unterschiedlicher Ordnung die Entwicklungsstadien häufig sukzessiv durchlaufen. In neueren Untersuchungen beschreiben RINTELEN (2000) und FERNANDO et al. (1997), dass *F. graminearum* und *F. culmorum* auch noch das reifende Korn infizieren können. Nach RINTELEN (1995) sind die ersten *Fusarium*-Arten, die von der Ähre isoliert werden, *F. graminearum* und *F. culmorum*; nach seiner Meinung infizieren *F. poae* und *F. avenaceum* erst zu einem späteren Zeitpunkt (Milch- bis Teigreife). *F. culmorum* kann die Ähren offensichtlich weitgehend unabhängig von Entwicklungsstadium befallen, aber auch *F. poae* kann zumindest zu späteren Zeitpunkten noch das Korn infizieren. Hingegen sahen WEINERT & WOLF (1999) die geöffnete Blüte als alleinige Eintrittspforte für Fusarien an. Diese zum Teil sehr unterschiedlichen bzw. langen Infektionszeitpunkte erschweren die richtige Terminierung einer Fungizidbehandlung.

Die Mykotoxinbelastung der Körner nach einer Inokulation zu BBCH 49 war bei Befallshäufigkeiten von 13 % bis 16 % etwa genauso hoch wie bei einer Infektion zur Milchreife, wies aber eine 4-fach höhere Befallshäufigkeit auf. Dieser Sachverhalt ist vermutlich auf das längere Myzelwachstum bei einer frühen Infektion zurückzuführen, das allerdings nur bei einer dafür günstigen Witterung möglich ist (RINTELEN, 1995).

In den Versuchen korrelierten die Deoxynivalenol- und Nivalenolwerte mit der Befallshäufigkeit der Körner bei Inokulationen zum Zeitpunkt der Blüte am engsten, ebenso wurde die Tausendkornmasse beeinflusst. Entgegen den Ergebnissen von OBST et al. (1997) hatte ein späterer Befall der Ähre noch einen erheblichen Einfluss auf den Ertrag bzw. die Tausendkornmasse und den Toxingehalt. Den grössten Einfluss hatte *F. culmorum*, *F. poae* den geringsten.

Eine Erhöhung der Temperatur und der rel. Luftfeuchtigkeit förderte die Befallshäufigkeit der Körner und deren Trichothecegehalt durch die *Fusarium*-Arten in unterschiedlichem Maß. Dabei kam es zu Wechselwirkungen mit den *Fusarium*-Arten. Der Einfluss der Temperatur war größer als der Einfluss der rel. Luftfeuchtigkeit auf den Kornbefall mit *F. culmorum*, *F. graminearum* und *F. avenaceum*; am wenigsten reagierte *F. poae*. Für *F. culmorum* wird als Voraussetzung für eine Ähreninfektion eine rel. Luftfeuchte von 80 % mit mindestens

10 °C beschrieben (JUGNET et al. 1983), für *F. graminearum* sind Temperaturen von 25 °C und 100 % rel. Luftfeuchte optimal (PARRY et al. 1995).

Temperatur und rel. Luftfeuchte hatten ebenso einen Einfluss auf die Toxingehalte der Körner. Die höchsten Gehalte erreichten *F. culmorum* und *F. graminearum* bei 100 % rel. Luftfeuchte und 25 °C. Die Nivalenolgehalte der Körner von Pflanzen, die mit *F. poae* inokuliert worden waren, zeigten keinen Einfluss der Temperatur und rel. Luftfeuchte.

Einflussmöglichkeiten auf das Auftreten von *Fusarium* spp. bzw. *M. nivale*

Im Folgenden werden die einzelnen Faktoren nach Ihrer Gewichtung, wie in der Abbildung 65 gezeigt, diskutiert. Als erstes werden die Faktoren wie Witterung bzw. Standort behandelt, auf die man keinen direkten Einfluss hat. Des Weiteren folgen die beeinflussbaren Faktoren des integrierten Anbaus, die dann zum Abschluß mit denen des Organischen Landbaus verglichen werden.

Das Auftreten von *Fusarium* spp. an verschiedenen **Standorten** im Jahr 1998 zeigte, dass in einer Region erhebliche Befallsunterschiede von mehr als 30 % vorkommen können. Über eine große Bandbreite des Befalls in deutschem Getreide von 1988 berichteten TEICH (1989) sowie REUTTER (1999) und ELLNER (1999) ebenfalls für 1998. Je nach Witterung können ertragreiche Standorte einen höheren Befall aufweisen als Grenzstandorte für den Getreideanbau. So kam es 1998 vor, dass an ertragreichen Standorten der Weizenbestand zu üppig blieb, somit länger die Feuchtigkeit hielt und damit eine Infektion begünstigt wurde (BARTELS, 1998). Dasselbe zeigte sich 1998 in Blankenheim, einem Grenzstandort für den Weizenanbau, der im „Fusarienjahr“ den geringsten Befall aufwies. Hennef, auf Grund der hohen N_{\min} -Werte der ertragsreichste Standort, wies schon in früheren Untersuchungen von SCHAUDER et al. (1993a) höhere Befallswerte auf. Aber auch in Jahren mit einem allgemein geringen Infektionsniveau gibt es immer wieder Standorte mit einem epidemiehaftem Befall (MAULER-MACHNIK, 1995).

Vergleicht man den **Witterungsverlauf** der untersuchten Standorte mit dem Witterungsmodell von OBST (2000), so zeigt sich, dass die Voraussetzung für die Ascosporenbildung von *F. graminearum* nicht erfüllt waren, d.h. Temperaturen von $> 18^{\circ}\text{C}$ wurden im Rheinland selten erreicht. Die Bedingungen für eine Konidiosporenbildung (5 Tage Niederschlag bzw. Blattnässe) waren aber für eine Infektion der Ährenanlagen erfüllt. So kam es 1997 an allen drei Standorten zum Zeitpunkt der Blüte an 5 und mehr Tagen zu Niederschlägen, im Jahr 1998 an den Standorten Hennef und Velbert ebenfalls an 12 und

mehr Tagen. In Blankenheim fand zum Zeitpunkt der Blüte kein Niederschlagsereignis statt, dem entsprechend gering fiel der Befall aus. Im Jahr 1999 war das Vorkommen von *Fusarium*-Arten und *M. nivale* aufgrund der trockenen Witterung gering.

Die Temperatur für die Konidiosporenbildung soll für *F. culmorum* mindestens 10 °C betragen und wird für *F. graminearum* nur als geringfügig höher eingestuft. Diese Bedingungen waren an allen Standorten und Jahren gegeben. Während 1997 von den DON-bildenden Arten primär *F. culmorum* vorkam, trat im Folgejahr verstärkt *F. graminearum* auf, sehr wahrscheinlich aufgrund der relativ warmen Witterung im Mai und Juni. Im Juni gab es einige aufeinander folgende Tage mit Temperaturen über 18 °C, wodurch eine Ascosporenbildung möglich war. Hinzu kamen grössere Temperaturschwankungen, die nach VON VERSONDER et al. (1978) als stimulierend für die DON-Synthese beschrieben werden.

Die häufigsten *Fusarium*-Arten in den Jahren 1997 – 99 waren *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. poae*, *F. graminearum*, *F. tricinctum*, *F. sporotrichioides* sowie *M. nivale*. Wie in den Untersuchungen von ELLNER (2002) unterschied sich das Artenspektrum zwischen den Jahren nicht, nur die Häufigkeit der verschiedenen Arten variierte. Hingegen trat in den Untersuchungen von MAULER-MACHNIK (1995) über mehrere Jahre in Deutschland nicht immer das gleiche Artenspektrum auf. *Fusarium poae* machte sowohl in Jahren mit geringer Gesamtbefallshäufigkeit als auch in Jahren mit hohem Gesamtbefall, wie 1998 in Hennef, einen relativ konstanten Befallsanteil der Körner von 1 – 2 % aus. MAULER-MACHNIK & ZAHN (1994) sahen eine deutliche Zunahme von *F. poae* in Deutschland. Möglicherweise kann *F. poae* sich aufgrund der geringeren Konkurrenz bei optimaler Witterung nicht gegenüber den anderen Arten behaupten, zum anderen scheint diese Art geringere Ansprüche an die Infektionsbedingungen zustellen, hier besteht jedoch noch weiterer Forschungsbedarf. Auch haben die einzelnen *Fusarium*-Arten anscheinend unterschiedliche Ansprüche an die Witterung während der Infektion. Die eigenen Untersuchungen zeigten, dass Jahre mit häufigen Niederschlägen wie 1998, das Vorkommen von *F. graminearum* fördern können, soweit das Inokulumpotenzial vorhanden ist. Die Konidiosporen von *F. culmorum* breiten sich nach FOCKE (1974) bei Durchschnittstemperaturen von > 14 °C und Niederschlagsmengen von > 25 mm innerhalb von 15 Tagen vor dem Ährenschiebens aus. Ähnliches gilt für die Ausbreitung der Konidiosporen von *F. graminearum*; wahrscheinlich sind die Temperatur-Ansprüche etwas höher (OBST, 2000). Ein Grund für das verstärkte Vorkommen von *M. nivale* und *F. avenaceum* im Rheinland ist sehr wahrscheinlich in der größeren Kältetoleranz der Erreger zusehen (MAULER-MACHNIK & ZAHN, 1994; OBST & FUCHS, 2000) oder sie können sich aufgrund fehlender Konkurrenz besser verbreiten.

Das Auftreten von *F. avenaceum* scheint eng mit dem Anteil von Getreide oder Gras in der Fruchtfolge zusammenzuhängen (HALL & SUTTON, 1998). HARTLEB (1999a) isolierte 1998 in Sachsen-Anhalt von Weizen nach einer Getreide- bzw. Blattvorfrucht *F. avenaceum* ebenso am häufigsten und 1999 - einem relativ trockenem Jahr - nach einer Getreidevorfrucht *F. poae*. Auch in Bayern stellte RINTELEN (1995) fest, dass die am häufigsten isolierte *Fusarium*-Art an Getreide in den meisten Jahren *F. avenaceum* war und nicht, wie des öfteren geschrieben wurde, *F. graminearum*, der meistens an Mais in der Fruchtfolge gebunden ist. Allerdings sahen MAULER-MACHNIK & ZAHN (1994) eine Zunahme von *F. graminearum* in Mittel- und Norddeutschland, dies führt RINTELEN (2000) auf die Zunahme des Maisanbaus zurück. In neueren Untersuchungen konnte ELLNER (2002) keine Nord/Süd-Verteilung von *F. graminearum* mehr feststellen. *F. graminearum* war in allen Proben und Regionen gleichermaßen vorhanden.

Das geringe Vorkommen von *M. nivale* im Jahr 1999 lässt sich sehr wahrscheinlich auf die trockene Witterung im Mai und Juni zurückführen; nach OBST (1988) benötigt *M. nivale* lange Feuchteperioden. Wie schon die Untersuchungen von SCHAUDER et al. (1993b) und SCHADE-SCHÜTZE (1999) zeigten, trat an den Standorten Hennef und Velbert *M. nivale* stärker auf, da diese Standorte im Vergleich zu Blankenheim eine höhere Durchschnittstemperatur aufwiesen. Die Befallshäufigkeit lag bei mehr als 30 % der Körner, ähnliche Ergebnisse wurden auch im süddeutschen Raum ermittelt (BAHLE & LEIST, 1997). Dies zeigt, dass *M. nivale* auch bei warmer Witterung im erheblichem Maße auftreten kann. Es besteht offensichtlich kein Zusammenhang zwischen dem Vorkommen von *M. nivale* und dem Auftreten von *Fusarium* spp., wie die Untersuchungen der Standorte in Deutschland zeigte.

Nicht nur das vorhandene Inokulum, sondern auch die Entwicklung des Inokulums vor der Blüte hat einen Einfluss auf den Infektionsdruck zur Blüte, so konnte sich 1997 am Standort Hennef im Mai die Inokulummenge aufgrund der trockenen Witterung nicht erhöhen. Hingegen war das Jahr 1998 schon im Frühjahr sehr feucht und warm, hier konnte sich die Inokulummenge schon vor der Blüte im Bestand vermehren, erkennbar an den starken Blattsymptomen. Dies zeigt, dass die regionalen Witterungsunterschiede besonders in den Monaten Mai - Juni einen entscheidenden Einfluss auf das Befallsgeschehen haben.

Im Vergleich zu anderen Regionen lagen 1998 in den eigenen Untersuchungen der DON-Gehalt und der Befall mit *Fusarium* spp. bzw. *M. nivale* trotz der zum Teil günstigen Bedingungen für den Erreger relativ niedrig. Es lässt sich sehr wahrscheinlich auf das geringe Inokulumpotential im Boden zurückführen, welches wiederum auf der wendenden Bodenbearbeitung und vielgliedrigen Fruchtfolge basiert.

Der DON-Gehalt der Weizenkörner war 1997 und 1999 sehr niedrig. Auch in Jahren mit einer höheren Befallshäufigkeit wie 1998 lag der durchschnittliche Gehalt bei 276 µg/kg unter dem für Österreich geltenden Richtwert von 500 µg/kg, der oft als Vergleich für Deutschland herangezogen wird. In bayerischem Weizen wird in normalen Jahren im Durchschnitt 150 µg/kg DON gemessen, in „Fusarienjahren“ mehr als das doppelte (BECK et al., 1997b). Übereinstimmend mit den Untersuchungen von USLEBER & MÄRTELBAUER (1998), die die DON-Gehalte von Weizen aus Naturkostläden (36 – 370 µg/kg) prüften, wiesen die eigenen Proben 1998 ähnliche Gehalte auf. Hingegen wies REUTTER (1999) mittlere DON-Gehalte von 2700 µg/kg in Weizen aus Schleswig-Holstein nach, ELLNER (1999) fand mit bis zu 34300 µg/kg (Mittelwert 6800 µg/kg) höhere Konzentrationen in Weizen, Gerste und Hafer.

An der Kontamination des Ernteguts mit Toxinen sind offensichtlich mehrere Faktoren beteiligt, der Infektionszeitpunkt, die Wachstumsdauer des Pilzes und die Wachstumsbedingungen (HERMANN, 1998b). Für eine *Fusarium*-Infektion gibt es zu jedem Vegetationszeitpunkt viele Inokulumquellen. Die Infektion kann vom Boden, von befallenem Saatgut oder befallenen Pflanzenresten erfolgen. Einen entscheidenden Einfluss auf die Zusammensetzung und die Menge der Ernterückstände haben Vorfrucht und Bodenbearbeitung. Einige *Fusarium*-Arten haben in ihrer saprophytischen Phase als Zellulosezerersetzer Bedeutung für den Abbau von Ernterückständen im Boden. Alle getreidepathogenen *Fusarium*-Arten können saprophytisch auf Ernterückständen überleben (BOWEN & HARPER, 1990).

JUGNET et al. (1983) sahen eine Luftfeuchtigkeit von $\geq 80\%$ (Minimum 60%) und eine tägliches Temperaturmaximum von mindestens $>10\text{ }^{\circ}\text{C}$ am Bestandsgrund als günstig für eine Erhöhung der Inokulummenge auf Mais- und Weizenernterückständen. Die Ergebnisse von DÄNIKE (2000) zeigen, dass ein erhöhter Inokulumdruck unter günstigen Witterungsbedingungen auch zu höheren DON-Gehalten führen kann

Im Frühjahr wurden von der organischen Substanz aus dem Boden vermehrt die Arten *F. avenaceum* und *M. nivale* isoliert. Der anschließende Rückgang in der Vegetationsperiode könnte auf der geringeren saprophytischen Konkurrenzkraft dieser Arten beruhen (OBST & FUCHS, 2000). Hingegen verfügt *F. culmorum* auf absterbendem und abgestorbenem Pflanzengewebe über eine hohe Konkurrenzkraft (BARTELS, 1998). *F. poae* wurde dagegen in den eigenen wie auch in Untersuchungen von POLLEY & THOMAS (1991) sehr selten von Ernterückständen isoliert.

Nach WEGENER & WOLF (1995) variieren die dominierenden *Fusarium*-Arten von Jahr zu Jahr. Einfluss auf das *Fusarium*-Spektrum haben die Rotationsfrequenz, Jahreszeit, Bodenart

und Bodenbearbeitung. Trotzdem hat die Befallshäufigkeit des Vorjahrs einen deutlichen Einfluss auf die Inokulummenge im Folgejahr. Da auch die Artenzusammensetzung sich während der Vegetation ändert, kommt es zu einer Neubesiedlung von noch nicht kontaminierten Partikeln, dies hängt wiederum von der entsprechenden Witterung ab.

Auch nahm die Gesamtmenge an Partikeln ab, während der *Fusarium*-Anteil konstant blieb. *Fusarium* spp. hat eine Persistenz von bis zu drei Jahren und mehr im Boden (WEGENER & WOLF, 1995). SUTTON (1982) sah in den Ernterückständen von Getreide einschließlich Mais die größte Inokulumquelle, *F. graminearum* konnte dort bis zu 56 Wochen überleben. Das Inokulumpotenzial war in integriert bewirtschafteten Böden in allen Jahren höher als in organisch bewirtschafteten Böden.

Die **Vorfrucht** Mais hinterließ im Vergleich zu allen anderen Vorfrüchten den größten Anteil mit *Fusarium*-Arten befallener Ernterückstände. So trat auch *F. graminearum* am stärksten an Weizenkörnern nach der Vorfrucht Mais auf, wie auch von BECK (2000) und ELLNER (2002) beschrieben. Der Grund für den hohen *F. graminearum*-Befall von Maisstoppeln liegt nach BECK (1997a) an dem hohen N-Anteil des Gewebes (im Gegensatz zu anderen Gramineen-Arten). BECK (1997a) ermittelte in Bayern den höchsten DON-Gehalt an Weizen nach der Vorfrucht Körnermais, hingegen waren die Gehalte nach den Vorfrüchten Gerste und Weizen am geringsten. Nach den Vorfrüchten Zuckerrübe und Kartoffel wurden wiederum höhere Gehalte als nach Getreide ermittelt. Dies konnte in den eigenen Untersuchungen und denen von HARTLEB et al. (1999b) nicht bestätigt werden. Hier wies Getreide eine höhere Vorfruchtwirkung auf als Blattvorfrüchte. Allerdings wurden bei den Untersuchungen von BECK (1997a) nur die DON-Gehalte ermittelt, andere *Fusarium*-Arten wie *F. avenaceum* wurden nicht erfasst. Des Weiteren wurde nicht das Inokulumpotenzial ermittelt, das von der Vorfrucht hinterlassen wurde, sondern der Befall der Folgekultur. Dieser wiederum hängt in erheblichem Umfang von weiteren Faktoren, wie z.B. dem Witterungsverlauf während der Vegetation, ab. Auch besteht anscheinend kein Unterschied mehr zwischen den Vorfrüchten Mais und Sommerweizen, wenn dieser mit Haferkörnern inokuliert wurde, in der Wirkung auf die Befallshäufigkeit und die Belastung der Folgefrucht Winterweizen mit DON (YI et al., 2001). In unseren Versuchen wiesen Futtergräser als Vorfrucht eine ebenso hohe Infektionsrate auf, wie Weizen als Vorfrucht. Auch RODEMANN (1999) sieht in der Vorfrucht Futtergras eine Erhöhung des Inokulumdrucks. SUTY (1996) sah allgemein eine Erhöhung der Inokulumdichte durch eine monokotyle Vorfrucht (Weizen, Mais). Die untersuchten Ernterückstände wiesen alle *F. culmorum* und *F. avenaceum* auf, Arten wie *F. poae* und andere wurden nur sehr selten isoliert. Der Grund liegt für *F. culmorum* und *F. avenaceum* in

dem ungewöhnlich großen Wirtspflanzenkreis von dikotylen wie auch monokotylen Pflanzen, Arten wie *F. graminearum* und *F. poae* treten hingegen primär an monokotylen Pflanzen auf (RINTELEN, 2000). Zudem kommt es bei einer schlechten Bodengare bzw. bei schwer verrottbaren Teilen vor, dass noch infektiöse Reste der Vor-Vorfrucht an die Oberfläche gelangen (WINDELS & KOMMENDAHL, 1984).

Der vom Boden ausgehende Infektionsdruck von Pathogenen ist ein wichtiger Faktor, der Einfluss auf das Befallsgeschehen im Vegetationsverlauf hat und durch Verfahren der **Bodenbearbeitung** wesentlich bedingt wird (DÄNIKE, 2000). Durch eine wendende Bodenbearbeitung konnte der Anteil der mit *Fusarium*-Arten befallenen Ernterückstände deutlich reduziert werden wie auch die Befallshäufigkeit der Körnern mit *Fusarium* spp. und *M. nivale*. SUTTON (1982) stellte fest, dass Kolonien von *F. graminearum* an der Erdoberfläche besser überwinterten als eingearbeitete. Der DON-Gehalt wurde ebenfalls in den beiden untersuchten Jahren reduziert. Hingegen konnte BECK (2000) bei der Befallshäufigkeit von *F. graminearum* zwischen wendender und nicht-wendender Bodenbearbeitung bei „Nicht-Mais-Vorfrüchten“ keinen Unterschied feststellen. Er stellte aber eine Reduktion des DON-Gehalts um 90 % fest, wenn nach einer Mais-Vorfrucht statt einer Minimalbodenbearbeitung Ernterückstände untergepflügt wurden (BECK et al., 1997a). DILL-MACKY & JONES, 2000 stellten eine signifikante Reduktion der Taubährigkeit nach Einsatz eines Streichblechpflugs fest. Zwischen der Bodenbearbeitung mit dem Grubber und Direktsaat bestand kein Unterschied. Durch die Kombination der Vorfrucht Mais mit einer nicht-wendenden Bodenbearbeitung entsteht ein großes Infektionsrisiko (DILL-MACKY & JONES, 2000; KREBS et al., 2000, ELLNER, 2002, KLINGENHAGEN, 2002). Aufgrund der geringeren Besiedlung der Partikel mit *Fusarium* spp. und *M. nivale* im Organischen Landbau zeigte der Einsatz des Pfluges im integrierten Anbau eine größere Wirkung.

Eine vollständige Resistenz oder Immunität gegen Ährenfusariosen ist bei **Weizensorten** und verwandten Arten bisher nicht gefunden worden (MIELKE, 1995; CHEN et al., 1996). Die Resistenzausprägung von Weizentypen gegen Ährenfusariosen ist sehr komplex und nur teilweise aufgeklärt. Es gibt sowohl morphologische und physiologische Faktoren als auch biochemische Faktoren, die bei der Abwehrreaktion der Pflanze eine Rolle spielen (MIEDANER, 1997). GILCHRIST et al. (1996) berichteten über drei Varianten der *Fusarium*-Resistenz: Typ I wird als Eindringresistenz bezeichnet, Typ II als Ausbreitungsresistenz und bei Typ III wird vom Abbau der vom Pilz produzierten Toxine ausgegangen. Bei dem Abbau der Toxine durch einige Weizensorten handelt es sich anscheinend um Enzyme, die in der Lage sind Deoxynivalenol abzubauen (MILLER & ARNISON, 1986). BUCHENAUER & KANG

(2002) stellten in cytologischen Studien fest, dass die Ausbreitung von *F. culmorum* in Ähren resistenter Sorten durch die Errichtung struktureller Abwehrkomponenten deutlich verzögert war. Bei Sorten, die eine biochemische Reaktion aufwiesen, zeigten sich deutlich höhere Gehalte an freien phenolischen Verbindungen (SIRANIDOU, 2002).

Der Großteil der untersuchten Sorten im Freiland deckte sich in ihrer Resistenzausprägung mit der in der „Beschreibenden Sortenliste“, dies bestätigten Untersuchungen von WOSNITZA (2000) und ELLNER (2002). Sortenversuche ohne Inokulation sind stark von den Witterungsverhältnissen abhängig und zeigen daher große Schwankungen in der Befallshäufigkeit. Im Jahr 1997 mit einem mittleren Befallsniveau mit *Fusarium* spp. lag die Differenz zwischen den anfälligsten und den resistertesten Sorten an den Standorten Hennef und Velbert bei nur 3,5 %; es ließen sich keine Unterschiede in der Anfälligkeit absichern. Erst bei einer Befallsdifferenz von 5 % und mehr in Blankenheim konnten signifikante Unterschiede zwischen den Sorten nachgewiesen werden, d.h., Voraussetzung für eine Beurteilung der Sorten ist, dass es zu einem relativ hohen Befall kommt. Jahre wie 1998 mit einem Befall von bis zu 25 % sind daher gut geeignet. Der Vergleich der Sorten über die Jahre und Standorte zeigte, dass von den untersuchten Sorten, 'Contra', 'Flair', 'Aristos' und 'Toronto' anfälliger waren als 'Bold', 'Zentos', 'Petrus' und 'Rektor'. Trotz des zum Teil unterschiedlichen Sortenspektrums stufte auch MIELKE (1995) die Sorten 'Toronto' und 'Contra' als anfällig ein, die Sorte 'Zentos' als weniger anfällig. Einige Sorten waren immer durchschnittlich stark befallen, wie 'Ambras', 'Batis' und 'Pegassos'. Andere waren wiederum nicht klar einzuordnen, da der Befall dieser Sorten stark variierte. Der Grund ist wahrscheinlich in einer sehr frühen oder späten Blüte der Sorten begründet. Der unterschiedliche Blühzeitpunkt der einzelnen Sorten ist in der Sortencharakterisierung eine weitere Schwierigkeit, da die Witterung zu den verschiedenen Blütezeiträumen unterschiedlich sein kann. Des Weiteren spielt auch die Blühdauer eine Rolle für das Infektionsrisiko. So kann es zu einer Scheinresistenz kommen, wenn Blüte und Niederschläge nicht aufeinander treffen. Deshalb sollten Sorten unter verschiedenen Umweltbedingungen getestet werden (MESTERHÁZY, 1987).

Die *Fusarium*-Arten, die an den untersuchten Sorten auftraten, ließen keine sortenspezifische Selektivität erkennen. Wenn ein Befall auftrat, waren stets mehrere *Fusarium*-Arten vorhanden bzw. von allen Sorten zu isolieren. Die Anfälligkeit der Sorten gegenüber *M. nivale* deckte sich nicht mit der gegenüber *Fusarium* spp. und variierte erheblich zwischen den Jahren und Standorten. Im Durchschnitt waren die Sorten 'Carolus' und 'Ástron' anfälliger als die Sorten 'Winni' und 'Zentos'.

Zwischen der Befallshäufigkeit und dem DON-Gehalt konnte keine Korrelation festgestellt werden. Dies stellte MESTERHAZY (1996) ebenso fest, da verschiedene Sorten bei gleicher Körnerinfektion sehr unterschiedliche Toxinkontaminationen aufweisen können. Hier spricht man von einer Resistenz gegen die Mykotoxinakkumulation. Demnach gibt es Genotypen, bei denen trotz hohem Befall der Körner kaum eine Toxinbildung beobachtet wurde, andererseits wiesen einige Sorten bei gleich hohem Befall hohe Toxingehalte auf (DÄNIKE & OLDENBURG (2000). Dies zeigt, dass die Befallshäufigkeit keinen Rückschluss auf die Toxinmenge zulässt und umgekehrt, dies scheint noch von weiteren Faktoren abzuhängen. So wiesen die Sorten 'Bold' und 'Winni' gegenüber den Sorten 'Aristos' und 'Batis' eine relativ geringe Befallshäufigkeit der Körner auf, aber einen doppelt so hohen DON-Gehalt auf, ähnlich hoch wie der anfälligen Sorte 'Contra'. Im Sortensortiment gehörte 'Toronto' allerdings bei Befall und DON-Gehalt zu den anfälligsten Sorten, wie sich schon in den Untersuchungen von SCHADE-SCHÜTZE (1999) gezeigt hatte. Dem folgten die Sorten 'Rektor' und 'Petrus', die aber eine wesentlich geringere Befallshäufigkeit aufwiesen. Allerdings waren die Toxingehalte generell relativ gering.

Besonders umfangreiche Erfahrungen liegen zur Sortenprüfung mittels einer Sprühinokulation der Ähren mit *Fusarium*-Sporensuspensionen vor (MESTERHAZY, 1996). Die Sprühinokulation mit den im Rheinland vorkommenden *Fusarium*-Arten in die Ähre führte zu einer massiven Erhöhung des Kornbefalls und des DON-Gehalts. Die Inokulation mit einer Mischung von *Fusarium*-Sporen führte zu einer Verschiebung der Häufigkeit der einzelnen *Fusarium*-Arten gegenüber nicht inokulierten Pflanzen, z.B. trat *F. poae* trotz Inokulation nicht häufiger auf, dafür trat *F. culmorum* erst durch die Inokulation sehr stark auf. Bei einer Sprühinokulation in die Ähre besteht das Problem des unterschiedlichen Blühzeitpunktes der Sorten, der eine Inokulation aller Sorten zum gleichen Entwicklungsstadium verhindert. Zudem wird bei der Sprühinokulation der Einfluss der sortenmorphologischen Charakteristika nicht berücksichtigt, sondern gezielt nach physiologischen Resistenzmechanismen gesucht.

Das Ausstreuen von mit *Fusarium*-Arten bewachsenen Getreidekörnern hat den Vorteil, dass die Infektionsbedingungen den natürlichen Gegebenheiten weitgehend gut entsprechen (OBST et al., 1995). Hierbei wird das Inokulumpotenzial auf der Bodenoberfläche erhöht. Die Infektion der Ähre bleibt weiterhin witterungsabhängig, während bei einer Sprühinokulation die Witterung nur noch eine Rolle für die Eindringtiefe des Erregers und für die Toxinproduktion bzw. das Konkurrenzverhalten der Sporen einer Art oder von verschiedenen *Fusarium*-Arten spielt. Leider kann sich dies, wie sich 1998 am Standort Meckenheim zeigte,

auch als Nachteil erweisen, wenn die Witterung zum Infektionszeitpunkt zu trocken ist. Dieses Risiko muß für epidemiologische Fragestellungen in Kauf genommen werden, da man hierbei nicht auf das natürliche Befallsgeschehen verzichten kann (OBST, 2000). Eine Optimierung des Inokulationsverfahrens wäre mit einer Erhöhung des Inokulumpotenzials und einer zusätzlichen Beregnung gegeben.

Die geringe Anfälligkeit einer Sorte bringt nur einen Erfolg, wenn gleichzeitig ein hoher Ertrag erfolgt (MIEDANER, 1987). Eine Sorte mit geringem Ertrag wird sich in der Praxis nicht behaupten können. WEINERT & WOLF (1995) stellten fest, dass meistens die Sorten mit hohen Ertragsfähigkeiten sehr anfällig sind. In den eigenen Versuchen waren auf Grund der ausgewählten Sorten, die für den Organischen Landbau geeignet sein sollten, solche Sorten nicht vorhanden. Hier gehörten Sorten wie 'Petrus' und 'Bold', die eine geringe Krankheitsanfälligkeit aufweisen, auch mit zu den ertragreichsten.

MIELKE (1998) stellte durch *F. culmorum* verursachte Ertragsverluste von bis zu 30 % fest. WEINERT (1995) berichtete von 20 - 30 % Ertragsverlusten, mit Inokulation sogar von bis zu 75 %. In den eigenen Untersuchungen wurden nach Inokulation Ertragsverluste durch *Fusarium* spp. von bis zu 60 %, bei der Tausendkornmasse von 30 % ermittelt, wobei die Sorte 'Carolus' mit den höchsten Verlusten weder den höchsten *Fusarium*-Befall noch den höchsten DON-Gehalt aufwies. Allerdings hängt die Verlusthöhe auch von der *Fusarium*-Art ab. Oft sind die Belastungen mit Mykotoxinen viel schwerwiegender.

Morphologische Komponenten sind zum einen die Wuchshöhe, der Ährenaufbau, d.h. die Kompaktheit bzw. Begrannung, sowie die Offenblütigkeit und Blühdauer. Die Halmlänge der Sorten und der Befall der Körner mit *Fusarium* spp. waren eng negativ miteinander korreliert. Dies stellten BARTELS (1999) HARTL et al. (2001), ZIMMERMANN (2000) und RODEMANN (1999) ebenfalls fest. Allerdings zeigte sich die höhere Anfälligkeit der kurzstrohigen Sorten auch bei einer Inokulation der Ähre, obgleich der kürzere Weg von der Inokulumquelle zu den Ähren keine Rolle spielte. Dies könnte an einem günstigeren Mikroklima durch die dichtere Blattmasse begründet sein (SCOTT et al. ,1986).

Schon ARTHUR (1891) beobachtete, dass früh abreifende Weizensorten weniger anfällig waren als spät abreifende Sorten. Hingegen sahen FEHR et al. (1964) und KEYEL (1972) die Gefahr für eine pilzliche Blüteninfektion in der Offenblütigkeit. Im Jahr 1999 war der Kornbefall mit *Fusarium* spp. und *M. nivale* sehr niedrig, in diesem sehr trockenen Jahr kam es bei einigen Weizensorten schon zur Blüte bevor die Ähre ganz geschoben war. Auch WEINERT (1994) sieht eine kürzere Blühdauer als einen Grund für eine geringere Anfälligkeit gegenüber *Fusarium* spp. an.

Nach KEYEL (1972) übt die Witterung auch einen indirekten Einfluss aus, wenn die Antheren länger an der Ähre bleiben. Dann kann über die Filamente ein Kontakt mit der Kornanlage entstehen und somit eine Infektion begünstigen.

Das Merkmal Anzahl Körner/ Ähre dient als Hilfsparameter für die Blühdauer einzelner Weizensorten. Eine hohe Anzahl Körner je Ähre bedeutet im allgemeinen eine lange Blühdauer und umgekehrt (AUFHAMMER, 1999a). Dies konnte, wie auch AUFHAMMER (1999a) bestätigte, nicht eindeutig bewiesen werden. Die Einstufung der Sorten in der Sortenliste nach ihrer Blühdauer deckte sich nicht mit den eigenen Untersuchungen, vielmehr interagierten die Sorten in ihrer Blühdauer mit den Jahren und Standorten. Tendenziell waren in den eigenen Untersuchungen die Sorten mit einer hohen Anzahl Körner/Ähre anfälliger.

Die Körner von Sommerweizen wiesen geringere DON-Gehalte und eine geringere Befallshäufigkeit mit *Fusarium* spp. und *M. nivale* auf als die von Winterweizen (OBST & FUCHS, 2000). Ein Grund für die geringere Befallshäufigkeit könnte die kürzere Blühdauer sein. Die Ertragsdifferenz der Sommerweizen - gegenüber den Winterweizensorten - war im Organischen Landbau gering, so dass die Sommerfrucht eine Anbaualternative darstellt. Weitere Vorteile für den Organischen Landbau sind, dass Sommerweizen einen höheren Proteingehalt aufweist bzw. erst im Frühjahr eine schonende Bodenbearbeitung möglich ist (SNEYD, 1994).

Es gibt nur wenige gegen *Fusarium* spp. ausreichend wirksame **Fungizide**. Um so wichtiger ist daher die Wirkstoffwahl und der Einsatztermin unter Berücksichtigung der pflanzlichen Entwicklung. Eine optimale Terminierung ist allerdings schwierig, da die Applikation zeitnah zum Infektionszeitpunkt stattfinden muss, um eine hinreichende Wirkung zu erzielen. Die untersuchten Azole und Strobilurine zeigten unterschiedliche Wirkungsweisen. So wirkten die Azole vor allem auf das Myzelwachstum, hingegen konnte Azoxystrobin insbesondere die Sporenkeimung hemmen. Der Einsatz von Fenpropimorph hatte außer auf das Myzelwachstum von *M. nivale* so gut wie keine Wirkung.

Für die Fungizidversuche wurden die *Fusarium*-anfälligen Sorten 'Ritmo' und 'Contra' verwendet, um unter natürlichem Infektionsdruck einen möglichst sicheren *Fusarium*-Befall zu erreichen bzw. um Wechselwirkungen von Sorte und Fungizidmaßnahme zu erfassen. Denn die Aggressivität der *Fusarium*-Isolate als auch die Resistenz der Weizensorte beeinflussen die Wirkung der Fungizide (MESTERHAZY, 1996).

Durch die Kombination einer gering anfälligen Sorte wie 'Petrus' mit einer Fungizidbehandlung konnte der Befall noch stärker gesenkt werden als bei der anfälligen Sorte 'Ritmo'; ähnliche Ergebnisse hatten bereits MILLER et al. (1985) in ihren

Sortenversuchen festgestellt. Besonders anfällige Sorten können in Jahren mit hohem *Fusarium*-Druck durch eine Fungizidmaßnahme nur unzureichend geschützt werden (MESTERHAZY, 1996, MATTHIES, 1998).

Die Azole Metconazol und Tebuconazol zeigten im Myzelwachstumstest und in den Inokulationsversuchen im Freiland eine recht gute Wirkung gegenüber allen *Fusarium*-Arten, hingegen zeigte sich in den im Freiland mit natürlichem Infektionsdruck durchgeführten Versuchen, dass die *Fusarium*-Arten *F. avenaceum* und *F. poae* wie auch *F. sporotrichioides* nicht so gut erfasst werden. Ein Grund könnte in unterschiedlichen Ansprüchen an die Infektionsbedingungen wie auch in der Tatsache liegen, dass diese Arten schnell große Mengen an Mikrosporen bilden und schnell Neuinfektionen verursachen. Des Weiteren zeigte sich im Myzelwachstumstest, dass *F. graminearum* von Metconazol besser als von Tebuconazol erfasst wird. Bekannt ist, dass die Wirkstoffe Metconazol und Tebuconazol keine ausreichende Wirkung gegenüber *M. nivale* haben; Kombinationen mit Fenpropimorph bzw. Azoxystrobin wiesen eine wesentlich bessere Wirkung auf, wie auch BARTELS (1999) feststellte. Durch die Beimischung von Fenpropimorph reduzierte sich der Befall mit *M. nivale* um 50 - 80 % (OBST et al., 1992).

Untersuchungen von FEHRMANN (1989), MIELKE & MEYER (1990), Obst (1992), MAULER-MACHNIK (1994), MAUFRAS (1995), MESTERHAZY (1996) und SUTY (1996) zeigten, dass Tebuconazol-haltige Präparate die zur Zeit wirksamste Möglichkeit zur Bekämpfung von Ährenfusariosen darstellen. Der Erreger wird jedoch meistens nicht ganz eliminiert. Auch Untersuchungen mit Metconazol und Tebuconazol von CARON (1995) und JUNGET (1988) zeigten, dass diese Azol-Fungizide die stärksten Effekte gegenüber den *Fusarium*-Arten haben. In den eigenen Felduntersuchungen unterschieden sich Metconazol und Tebuconazol kaum in ihrer Wirkung auf die Befallshäufigkeit, wie auch in den Untersuchungen von CARON (1995), OBST (2000b), ELLNER (2002). Die erzielten Wirkungsgrade variierten ohne zusätzliche Inokulation stärker als nach einer Inokulation, denn bei einer Inokulation kommt es nur zu einem Infektionsereignis. Dies erleichtert die Wahl des richtigen Zeitpunktes für den Fungizideinsatz. Es kam zu starken Abweichungen zwischen den Jahren und Standorten hinsichtlich des Wirkungsgrades der Fungizide.

Im Durchschnitt der Jahre und Standorte wurde nur ein Wirkungsgrad von ca. 25 % erzielt; eine ausreichende Wirkung wird erst bei einem Wirkungsgrad von 60 % erreicht (OBST 2000b). Da die Weizenpflanze nicht nur zum Zeitpunkt der Blüte gegenüber einer *Fusarium*-Infektion anfällig ist (OBST, 2000b), kann eine einmalige Fungizid-Applikation nicht ausreichend bzw. falsch terminiert sein. So war der Bekämpfungserfolg 1998 unabhängig

vom Applikationstermin schlecht, weil die Primärinfektion der Ähre wahrscheinlich schon erfolgt war, da zum Zeitpunkt der Blüte etwa 12 Tage optimale Witterung für eine Infektion herrschte. Die Applikation zeigte 1999 in die Blüte keine ausreichende Wirkung, hingegen führte die Applikation zu einem früheren Entwicklungsstadium zu einer deutlichen Reduktion von *Fusarium* spp., was dafür spricht, dass die Infektion schon zu einem früheren Zeitpunkt stattgefunden hatte.

Eine zweimalige Applikation zu BBCH 37 und 65 übertraf die Wirkung einer einmaligen Behandlung, da das auf den unteren Blättern schon vorhandene Inokulum reduziert wurde. Einige Autoren beschreiben für eine Doppelapplikation zwar nur eine geringe Steigerung der Wirksamkeit, allerdings handelte es sich dabei um zwei Applikationen mit nur wenigen Tagen Abstand, diese Anwendung ist aber schon aus wirtschaftlichen und toxikologischen Gründen bedenklich (MATTHIES, 1998; GAREIS, 1994; MIELKE, 1990; JUNGET, 1988).

Eine Mischung der beiden Azole erbrachte 1998 keine bessere Wirkung als das Solopräparat Tebuconazol. Wie auch von OBST (1997c) beschrieben verbessert dagegen die Zugabe eines Morpholinfungizids wie Fenpropimorph die Wirkung der Azole nach einer Inokulation von *Fusarium* spp.. Es wurde sowohl die Befallshäufigkeit als auch der DON-Gehalt verringert und die Tausendkornmasse gesteigert. Ohne Inokulation wurde allerdings eher eine Verschlechterung erzielt, was auf den erheblichen Anteil von *F. avenaceum* am Befall beruhen könnte, eine von Azolen schlechter erfassten Art, oder dass bei der Mischung nicht die vollen Aufwandmengen verwendet wurden.

Auch in den Inokulationsversuchen konnte keine Reduktion des Befalls von 60 % erreicht werden, die Azole reduzierten den Befall zwar signifikant, aber meistens nur um 20 % - 40 %. Anhand einer Konidiosporen-Inokulation war zu erkennen, dass der optimale Zeitpunkt einer Fungizid-Applikation nach der Infektion eine entscheidende Rolle spielt und dass dieser Zeitraum nicht sehr groß ist. Eine Applikation 12 Stunden nach Inokulation erbrachte eine wesentlich bessere fungizide Wirkung als nach 24 Stunden, besonders gravierend war dies bei der Art *F. poae*. Nach einer Inokulation mit *F. culmorum* war der Erreger aufgrund seines sehr schnellen Wachstums kaum mehr zurück zu drängen. Somit wurde nur eine geringe Wirkung der Fungizide erreicht, wie auch OBST (2000) und MAULER-MACHNIK (1994) feststellen mussten.

Untersuchungen mit Isolaten von *F. culmorum* zeigten, dass die Herkunft der Isolate einen Einfluss auf die Wirksamkeit der Fungizide hat, so wurden die Isolate vom Standort Hennef besser bekämpft als die vom Standort Blankenheim. Unter kontrollierten Bedingungen zeigte

sich, dass Isolate einer *Fusarium*-Art unterschiedlich auf die Fungizid-Applikation reagieren, diese Wechselwirkungen stellte MESTERHAZY (1996) in seinen Versuchen ebenfalls fest.

Die Wirksamkeit der Azole auf den Toxingehalt ergibt sich aus der Wirkung auf die Befallshäufigkeit bzw. Intensität der Kornbesiedlung und auf die Toxinbildung pro Pilzbiomasse bzw. Änderungen in der Zusammensetzung und Sekretion der Toxine. Die DON-Gehalte lagen in den Fungizid-Versuchen 1997 zwischen 52 – 382 µg/kg, in einem Jahr mit hohem Befallsdruck wie 1998 zwischen 245 - 490 µg/kg und im trocknen Jahr 1999 nur bei 44 – 136 µg/kg. Ohne zusätzliche Inokulation zeigte sich bei einem mittlerem Befallsniveau im Jahr 1997, dass durch die beiden Azole der DON-Gehalt bei einer Applikation zur Blüte um bis zu 50 % reduziert werden kann. Bei hohem Befall wurde durch eine Applikation von Tebuconazol nur eine Reduktion um 23 %, mit Metconazol dagegen um 63 % erzielt. In einem Jahr mit sehr niedrigen Befallswerten war auch die DON-Reduktion geringer, wiederum war die Wirksamkeit von Metconazol höher. Ähnliche Ergebnisse erzielten SIRANIDOU & BUCHENAUER (2001) in Versuchen mit einer Sporeninokulation mit *F. culmorum* am Ende der Blüte.

Interessant sind die trotz der geringen Befallshäufigkeit relativ hohen DON-Gehalte an den Standorten Kerpen-Buir und Meckenheim im Jahr 1998. Die Art *F. graminearum*, ein potenter DON-Bildner, trat im Vergleich zu den anderen Jahren stärker auf. Die ermittelte Befallshäufigkeit der Körner in den Fungizidversuchen stand in engem Zusammenhang mit der DON-Konzentration im Erntegut. Das bedeutet, dass die Befallshäufigkeit mit den DON-bildenden *Fusarium*-Arten *F. culmorum* und *F. graminearum* durch die Fungizide ebenso wie der DON-Gehalt reduziert wurden, welche aber nur einen Teil des Gesamtbefalls ausmachten.

Durch Inokulation mit *F. culmorum* kam es zu einer DON-Belastung von bis zu 76 mg/kg. In den Jahren 1997 - 1999 hatten die Fungizidbehandlungen nach einer Inokulation der Ähre eine gute Wirksamkeit gegen die DON-Belastung des Ernteguts. Untersuchungen von OBST et al. (1992) zeigten, dass durch eine kurative Applikation von Tebuconazol + Triadimenol eine Reduktion des DON-Gehalts von 82 % erzielt werden konnte. Im Gegensatz dazu stellten GAREIS UND CEYNOWA (1994) fest, dass trotz verminderten Ährenbefalls nach einer Applikation mit dieser Wirkstoffkombination der Nivalenol-Gehalt zugenommen hatte.

Durch die Analyse der von verschiedenen Isolaten gebildeten Mykotoxine konnte festgestellt werden, dass es nicht reicht, allein den DON-Gehalt zu bestimmen, da einige Isolate von *F. culmorum* und *F. graminearum* DON und NIV bzw. ausschließlich NIV bilden (MUTHOMI et al., 2000). Die NIV-Gehalte wurden durch eine Azolbehandlung weniger stark reduziert als die DON-Gehalte. Die Reduktion des Befalls und des DON-Gehalts durch Fungizide war

nach einer Inokulation höher als ohne Fungizidanwendung. Aufgrund der unterschiedlichen Wirksamkeit gegenüber den Pathogenen reduzierten Tebuconazol und Metconazol den Toxingehalt der Körner nach Inokulation mit *F. graminearum* besser als bei Befall mit *F. culmorum*.

Der Einsatz von Epoxiconazol und Fenpropimorph allein hatte in den *in vitro*-Versuchen gegenüber allen *Fusarium*-Arten keine ausreichende Wirkung; dies bestätigt Ergebnisse von MESTERHAZY (1996). Epoxiconazol wurde primär eingesetzt, um andere Blattkrankheiten während der Vegetationsperiode zu bekämpfen.

Die Wirkungen der Fungizide auf die Tausendkornmasse und den Ertrag lassen sich ohne vorhergehende Inokulation nicht auf die Reduktion der Ährenfusariosen zurückführen, sondern spiegeln viel mehr die Reduktion von Blattkrankheiten wieder (OBST, 2000). Nur in den Inokulationsversuchen ist ein direkter Bezug zu erkennen. Eine Infektion des Getreides mit *Fusarium* spp. kann zu Verlusten von bis zu 60% führen (HÄNI, 1981; PARRY, 1995; MIEDANER, 1993). In den eigenen Versuche reduzierte eine Inokulation mit *F. culmorum* den Ertrag um die Hälfte und die Tausendkornmasse um ein Drittel, für ein anderes Isolat lagen diese Werte aber nur bei 30 % bzw. 12 %. Die Isolate von *F. graminearum* und *F. avenaceum* reduzierten den Ertrag nur um 30 %, die Tausendkornmasse um 10 – 17 %. Die geringste Wirkung von 10 % bzw. 4 % zeigten die Inokulationen mit *F. sporotrichioides* bzw. *F. poae*. MUTHOMI et al. (2000) stellten fest, dass aggressive Isolate von *F. culmorum* – gemessen an der Reduktion der Tausendkornmasse - vor allem DON bildeten, während weniger aggressive Isolate bevorzugt NIV produzierten, was ein Hinweis auf die Beteiligung von DON an der Pathogenese ist. Dieser Sachverhalt konnte in den eigenen Untersuchungen bestätigt werden, allerdings nur für *F. culmorum*.

Untersuchungen in den USA, Frankreich und den Niederlanden zeigten, dass durch die Verwendung von anderen Spritzdüsen sowie durch den Einsatz von Netz/Haftmitteln als Eindringhilfe der Wirkungsgrad von wirksamen Fungiziden noch verbessert werden kann, da die Ähre von den Standard-Flachstrahldüsen schlechter benetzt wird (SCHEPERS, 2001).

Nach Literaturangaben können Strobilurine ein bestehendes *Fusarium*-Toxinrisiko erhöhen (DUNCAN et al., 2001, SIRANIDOU & BUCHENAUER, 2001, FORRER et al., 2000, Obst, 1999). Strobilurinhaltige Präparate wurden in zwei Jahren untersucht, 1998 in einem Jahr mit hohem Befallsdruck und 1999 bei vergleichsweise trockener Witterung. Durch die Beimischung von Azoxystrobin zu einem Azol wurde die Befallshäufigkeit der *Fusarium*-Arten 1998 nicht bzw. unwesentlich reduziert. Dafür wurde aber *M. nivale* signifikant reduziert. Diesen Effekt stellten auch BARTELS (1998), FORRER (2000) und DUNCAN et al. (2001) fest. Hingegen stieg

der DON-Gehalt gegenüber den unbehandelten Pflanzen an. Hier kam es durch die für Strobilurine sehr späte Applikation (BBCH 65) zu einem ausgeprägten „Greening-Effekt“, der sich auch im Ertrag positiv niederschlug. Der „Greening-Effekt“ der Strobilurine könnte ein wesentlicher Grund für höhere Toxingehalte sein, da das Abreifen verzögert wird und die DON-Produktion im infizierten Weizenkorn erst unter 16 % Kornfeuchte unterbrochen wird (FORRER, 2000). Ein weiterer Aspekt ist die Beeinträchtigung anderer Pilze durch die Strobilurine und dadurch verringerte antagonistische Wirkung der Mikroflora auf die *Fusarium*-Arten (LIGGITT et al., 1997). Dies ist eine wenig bekannte Nebenwirkung von Strobilurinen, die eine breiteres Wirkungsspektrum haben als andere Fungizide.

FORRER et al. (2000) stellten 1998 ebenso eine Erhöhung des DON-Gehalts nach einer Amistar®-Behandlung zur Blüte fest, ohne eine größere Befallshäufigkeit nach einer Inokulation von *F. culmorum* festzustellen. OBST (1999) sieht im Einsatz eines Strobilurin-Fungizids unabhängig von Einsatztermin einen Risikofaktor. PIRGOZLIEV et al. (2001) hingegen stellten in Gewächshausversuchen keine Erhöhung sondern eine Reduktion der DON-Gehalte fest, wenn auch geringer als durch Metconazol. Allerdings wurden die Weizenpflanzen vor einer Inokulation mit *F. culmorum* oder *F. graminearum* in die Blüte zu BBCH 59 schon mit den Fungiziden behandelt.

Einige Sorten wiesen 1999 durch den Einsatz von **Wachstumsregler** und Fungizid zu BBCH 37 eine 8 mal höhere Befallshäufigkeit von *Fusarium* spp. und den 6,5-fachen DON-Gehalt auf. Der Einsatz von Fungiziden und eine späte Stickstoffdüngung führen zu einer Verlängerung der Reifephase, wodurch sich Fusarien besser ausbreiten können (WEINERT & WOLF, 1995). Des Weiteren kann die Applikation von Fungiziden einen „Stressfaktor“ darstellen und dadurch zu einer verstärkten Mykotoxinbildung führen (GAREIS & CEYNOWA, 1994).

Die DON-Werte stiegen durch die Stickstoffdüngung nur geringfügig an, durch die zusätzliche Gabe von Wachstumsreglern und Fungiziden nahm der DON-Gehalt jedoch zu. Ähnliche Ergebnisse erzielte KLINGENHAGEN (2002) in Versuchen, in denen der DON-Gehalt weniger durch die Stickstoffdüngung, sondern vielmehr durch die Fungizidbehandlungen vor der Blüte stieg, besonders bei Abschlussbehandlungen ohne *Fusarium*-Wirkung.

Die in der landwirtschaftlichen Praxis verwendeten **Düngemittel** sind im Hinblick ihrer Wirkung auf den *Fusarium*-Befall bisher nicht ausreichend untersucht worden. Nach Literaturangaben kann sowohl eine zu hohe wie auch eine zu niedrige Dosierung der N-Gaben zu einer Begünstigung des *Fusarium*-Befalls führen (WARREN & KOMMEDAHL, 1973; COOK, 1980; TEICH, 1987; OBST, 1988; HINTERHOLZER, 1992; SCHADE-SCHÜTZE, 2000). In den

eigenen Untersuchungen nahm der Ährenbefall mit *Fusarium* spp. durch eine Erhöhung der Stickstoffgabe zu. Des Weiteren kam es zu einer Verschiebung der Artenzusammensetzung; bei höheren N-Gaben trat vermehrt *F. avenaceum* auf. Nach Untersuchungen von SCHAUDER et al. (1993) stieg der *M. nivale*-Befall durch organische Düngemittel überproportional an, in den eigenen Untersuchungen war nur ein geringfügiger Anstieg zu erkennen. Der *Fusarium*-Befall stieg durch den zusätzlichen Einsatz von Wachstumsreglern und Blattfungiziden (BBCH 37) weiter an. Untersuchungen von MARTIN & MAC LEOD (1991) zeigten ebenfalls eine Steigerung des Vorkommens von *Fusarium* spp. nach dem Einsatz von Wachstumsreglern und erhöhter Düngung, die Autoren stellten aber keine Befallssteigerung durch den Einsatz von Fungiziden fest. Blattapplikationen von Fungiziden schützen die Blätter vor typischen Blattpathogenen, erfassen aber *Fusarium* spp. meist nicht, somit kann durch die fehlende Konkurrenz der Erreger der *Fusarium*-Befall zunehmen.

Eine zu hohe Stickstoffversorgung regt das Pflanzenwachstum an, erhöht aber auch die Anfälligkeit gegenüber Krankheitserregern und reduziert die Standfestigkeit, die entweder wiederum zu einer höheren Krankheitsanfälligkeit führt oder durch Wachstumsregler ausgeglichen werden muss. Eine direkte Wirkung von Wachstumsreglern und N- Düngung auf *Fusarium* spp. wird nach LANGERFELS (1971) und FAUZI (1994) ausgeschlossen. Eher wird eine indirekte Wirkung über die Halmverkürzung und Änderung des Mikroklimas vermutet. Durch erhöhte N-Gaben findet ein längeres vegetatives Wachstum statt, der Bestand wird dichter und die Feuchtigkeit hält sich besser, das Gewebe wird lockerer und dünnwandiger (HOFFMANN et al., 1994). Auch ist die Taubildung in dichten Beständen höher als in lückigen Beständen, zusätzlich wird der empfindliche Stadium durch hohe Düngergaben verlängert. Andererseits können in einem lichten Bestand durch aufwärts gerichtete Luftbewegungen die Sporen leichter in die Ähren gelangen (AUFHAMMER, 1999).

Nach MILLER & GREENHALGH (1985) benötigt *F. graminearum* für die Biosynthese von Trichothecenen ein hohes N-Angebot in Form von Aminosäuren.

Untersuchungen von HERMANN et al. (1998) TEICH & NELSON (1984) und TEICH & HAMILTON (1985) zeigten, dass der Zeitpunkt der N-Düngung wie auch die Düngerform von Bedeutung sind, so hatte Harnstoff eine günstigere Wirkung als Kalkammonsalpeter auf den Befall mit *Fusarium* spp.. YI et al. (2001) erzielten durch den Einsatz von Kalkstickstoff eine Reduktion des Kornbefalls bis zu 59 % gegenüber Kalkammonsalpeter, allerdings wurde der DON-Gehalt nicht so deutlich reduziert.

Der Wirtspflanzenkreis von *Fusarium* spp. ist groß, oft gehört auch die **Begleitflora** dazu (MAULER-MACHNIK & ZAHN,1994). Somit stellt die Begeitflora eine weitere Inokulumquelle

dar, die zum einen der Persistenz des Erregers dienen kann, zum anderen die Inokulummenge erhöht bzw. durch das Mitwachsen die Distanz zur Ähre reduziert. Die Untersuchungen von JENKINSON & PARRY (1994a) zeigten, dass die Halmbasis bzw. Blätter der Begleitflora als Wirt dienen können. Samen von *Gallium aparine* vom Standort Hennef waren in einigen Jahren zum Teil stärker mit *Fusarium*-Arten befallen als das Erntegut des Weizens. JENKINSON & PARRY (1994a) stellten ebenso an der Begleitflora, allerdings an der Halmbasis, *Fusarium* spp. fest. An *Gallium aparine* isolierten sie ebenso *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. poae*, nicht aber *F. graminearum*. Sie konnten aufgrund einer anderen Florenzzusammensetzung *Fusarium* spp. auch an anderen Begleitflorapflanzen wie *Capsella bursa-pastoris* und *Cirsium arvense* isolieren. Auf diesem Gebiet besteht auf jeden Fall weiter Forschungsbedarf.

In den drei Jahren wurden neben den Weizenproben aus dem Organischen Landbau Proben aus dem integrierten Anbau untersucht. Dabei war die Befallshäufigkeit der Körner mit *Fusarium* spp. im integrierten Anbau um das 2- bzw. 3fache höher als im Organischen Landbau. Durch eine zusätzliche Fungizidmaßnahme zur Blüte war der Befall nur doppelt so hoch. Nur bei witterungsbedingtem hohen Befall wurde der DON-Gehalt durch eine Fungizidmaßnahme zum Zeitpunkt der Blüte unter den Gehalt der Körner aus dem Organischen Landbau gesenkt. Das geringere Vorkommen von *Fusarium* spp. und die daraus resultierenden DON-Gehalte im Organischen Landbau sind neben den besonderen Anbaubedingungen – abwechslungsreiche Fruchtfolge, geringere Bestandsdichte und Düngung - auf das geringere Inokulumpotential im Boden zurückzuführen. Auch führt die Bekämpfung von Blattkrankheiten im integrierten Anbau zu einer verlängerten Abreife, womit ein höherer Kornbefall möglich werden kann.

BAHLE & NEIST (1997) stellten im integrierten Anbau eine größere Variationsbreite der *Fusarium*-Befallsstärke fest, worin sie ein größeres Befallsrisiko sahen. In Thüringen war 1998 der DON-Gehalt im Weizen aus konventionellem Anbau signifikant höher als im ökologischen (DÖLL, 2002). BECK (2000) stellte im südbayerischen Raum ebenso fest, dass Weizen aus ökologisch bewirtschafteten Betrieben einen deutlich geringeren Befall und DON-Gehalt aufwiesen als Weizenproben aus konventionellen Betrieben, und führte dies primär auf die fehlenden Risikofaktoren einer Mais-Vorfrucht und einer minimalen Bodenbearbeitung zurück. Mais wird im Organischen Landbau aufgrund der schlechten Regulierbarkeit der Begleitflora, Erosionsgefahr und dem hohen Nährstoffanspruch in der Jugendphase relativ selten angebaut (HUNTGEBURTH, 1999). Somit ist das bodenbürtige Infektionspotenzial von *F. graminearum* sehr gering. Des Weiteren spielen im Organischen

Landbau die besseren Mineralisierungsbedingungen im Boden für den Abbau der Ernterückstände eine Rolle (AUFHAMMER, 1999). Zwischen dem Organischen Landbau und dem integrierten Anbau konnten jedoch hinsichtlich der Zusammensetzung der *Fusarium*-Arten keine Unterschiede festgestellt werden, dies bestätigten die Ergebnisse von BAHLE & LEIST (1997).

Für *M. nivale* zeigte sich ein anderes Bild, welches auf die Saatgutbeizung im integrierten Anbau zurückzuführen war. Im Organischen Landbau haben die Sortenwahl und Saatgutqualität eine grössere Bedeutung für die Befallsprävention als das Inokulum im Boden (DORNBUSCH et al., 1993). Die wichtigsten Inokulumquellen stellen nach DORNBUSCH et al. (1993) infiziertes **Saatgut** und Pflanzenreste dar. Einfluss auf den vorhandenen Befallsdruck haben die Temperatur und Feuchtigkeit, denn das Inokulum kann nur bei entsprechenden Bedingungen sporulieren bzw. die Ascosporen ausschleudern und zu einer Infektion führen.

Der Ährenbefall mit *M. nivale* beeinflusst die Kornausbildung und hat somit Auswirkungen auf die Triebkraft des Keimlings. Im Extremfall keimt das Korn nicht und gehört dann ebenfalls zur organischen Substanz. Es zeigte sich, dass die Keimung durch *M. nivale* bis zu 70 % vermindert sein kann, sowie auch DORNBUSCH et al. (1992) einen signifikant negativen Zusammenhang zwischen Saatgutbefall und Feldaufgang feststellten. HÄNI (1980) beschrieb weiterhin, dass die Saatgutinfektion an günstigen Getreidestandorten mit nur kurzer Bedeckung des Bodens mit Schnee - wie am Standort Hennef - eine bedeutende Rolle spielt, an Grenzstandorten mit viel Schnee hingegen auch der Bodenkontamination eine entscheidende Rolle zukommt.

Das Auftreten von *Fusarium* spp. hatte dagegen keinen Einfluss auf die Triebkraft der Körner. Hingegen berichteten WEINERT & WOLF (1995) von einem Einfluss. Offenbar ist die Stärke des Kornbefalls entscheidend (DIEHL, 1984). DIEHL (1984) und DUBEN (1980) konnten im Gegensatz zu SCHADE-SCHÜTZE (1999) für die Arten *F. graminearum*, *F. culmorum* und *M. nivale* einen Zusammenhang zwischen Saatgut- und Halmbasis- Befall herstellen. Ein Unterschied lag in der Vorgehensweise, DIEHL (1984) benutzte inokuliertes Erntegut, SCHADE-SCHÜTZE (1999) inokulierte das Saatgut, d.h. der Erreger blieb wahrscheinlich nur an der Oberfläche. Trotz relativ hohem *M. nivale*-Befall am Saatgut zeigte sich auch hier im Gegensatz zu den Untersuchungen von DIEHL (1984) keine Korrelation zum Halmbasis-Befall. Der hohe Befall der Halmbasis von bis zu 100% mit *M. nivale* beruht sehr wahrscheinlich auf den geringeren Temperaturansprüchen des Erregers, die es ihm ermöglichten, schon im Frühjahr die Halmbasis zu befallen.

Es bestand kein Zusammenhang zwischen den am Saatgut auftretenden *Fusarium*-Arten und denen am Erntegut der selben Pflanzen. Die Ähreninfektion über systemisches Wachstum wird als Infektionsweg ausgeschlossen (MAULER-MACHNIK, 1994; WEINERT & WOLF, 1995). Die eigenen Untersuchungen wurden ohne Inokulation durchgeführt, es wurde zertifiziertes Saatgut verwendet, das aber teilweise erheblich mit *M. nivale* befallen war. Dieser Sachverhalt zeigt, dass die Empfehlung von KOCH (1981), im Organischen Landbau zertifiziertes Saatgut zu verwenden, keine Garantie für einen geringeren Befall darstellt; vielmehr müssen für Saatgut, das für den Organischen Landbau bestimmt ist, strengere Kontrollen durchgeführt werden. Dies gilt vor allem für den eigenen Nachbau, der im Organischen Landbau verbreitet ist, und bei dem auf chemische Beizung verzichtet werden muss (SCHAUDER et al., 1993).

Um die Eignung von Saatgut für den Ökologischen Landbau festzustellen, wird daher seit Jahren neben dem Anerkennungsverfahren zusätzlich ein Kalttest in Erde durchgeführt, der besagt, dass bei 10 °C noch 80 % der Körner keimen müssen (OBST & FUCHS, 2000). Standorte mit geringen Niederschlägen während der Getreideabreife und einer guten Nährstoffversorgung sind prädestiniert für die Erzeugung von qualitativ gutem Saatgut (DORNBUSCH, 1993). Eine Alternative für den Organischen Landbau stellt die Warm- und Heißwasserbehandlung des Saatguts gegen Auflaufkrankheiten dar. Hier wurden zumindest für *M. nivale* und *F. graminearum* erste erfolgversprechende Ergebnisse erzielt (WINTER, 1997). Ein hoher Bekämpfungserfolg ist auch für die Art *F. avenaceum* zu erwarten, da diese oft an der Oberfläche des Korns anzutreffen ist (DUBEN, 1978). Eine weitere Möglichkeit wäre eine Kombination von Mikrowellen- und Dampfbehandlung. Damit wurde bei Erhalt der Keimfähigkeit des Saatguts eine vollständige Pilzabtötung (*F. culmorum*) erzielt (VON HÖRSTEN, 1994).

Das Problem der **Untersaat** ist zum einen, eine Nicht-Wirtspflanze für *Fusarium* spp. zu finden, zum anderen darf diese die Ernte nicht behindern und sollte möglichst kein Nährstoffkonkurrent des Weizens sein. Die gewählten Kleeuntersaaten zeigten nicht den erhofften Effekt, sie führten meistens zu einer Erhöhung des Befalls und DON-Gehalts, dies dürfte auf einer länger anhaltenden Feuchtigkeit im Bestand beruhen. Im Organischen Landbau wird die Kleeuntersaat zur Fixierung von Stickstoff angewandt, der dann der Fruchtfolge zugute kommt und letztlich den Eiweißgehalt des Weizens für die Backqualität erhöhen soll (SCHOTT, 1997).

Einige Autoren diskutieren immer wieder **andere Pathogene**, wie *Puccinia* spp., *Blumeria graminis* und *Septoria* spp., die *Fusarium* spp. als mögliche Eintrittspforte dienen könnten

(MAULER-MACHNIK & ZAHN, 1994; DIEHL, 1994; MESTERHAZY, 1983). Krankheitserreger der Halmbasis können neben Blattpathogenen die Ursache für Ertragsverluste sein, hierzu zählen vor allem *Pseudocercospora herpotrichoides*, *Fusarium* spp., *M. nivale* und *Rhizoctonia cerealis*. In den eigenen Untersuchungen war die Befallshäufigkeit von *P. herpotrichoides* im integrierten Anbau am Standort Hennef über der Bekämpfungsschwelle von 25 % befallener Halme. Es ließ sich aber kein Zusammenhang zwischen dem Auftreten von *Fusarium* spp. bzw. *M. nivale* und *P. herpotrichoides* feststellen.

Septoria tritici trat in allen Jahren und an allen Standorten an Weizenblättern auf, nicht aber an den Ähren, so dass auch hier weder ein positiver noch ein negativer Zusammenhang mit dem Vorkommen von *Fusarium* spp. festgestellt werden konnte. Allerdings korrelierte das Vorkommen von *M. nivale* an den Blättern mit dem Vorkommen von *S. tritici*, wobei *M. nivale* wesentlich häufiger auftrat als *S. tritici*, diese Tatsache bestärkt nicht die Theorie der Notwendigkeit einer Eintrittspforte für *Fusarium* spp., sehr wahrscheinlich beruht sie eher auf den ähnlichen Witterungsansprüchen. Zudem führen z.B. Sturm und Hagel zu genügend vielen natürlichen Verletzungsstellen, die *Fusarium* spp. und *M. nivale* als Eindringungsstelle dienen können. Auch ist mit dieser Art der Erhebungen nicht auszuschließen, dass die beiden Pathogene lediglich ähnliche Ansprüche an die Umweltbedingungen haben; hierfür könnten mikroskopische Untersuchungen eher Aufschluss geben. FORRER et al. (1982) konnte in durch *Septoria tritici* verursachten Nekrosen vermehrt *M. nivale* nachweisen. DIEHL (1989) konnte bei einer vorausgegangenen Infektion mit Echtem Mehltau mit Sporenabwaschungen vermehrt *Septoria nodorum*, *M. nivale*, *Fusarium*-Arten und weitere Pilzarten auf Blattflecken mit Mischsymptomen nachweisen. ARSENIUK et al. (1998) stellte fest, dass eine Blattapplikation mit z. B. Propiconazol vor der Blüte gegen *Septoria nodorum* (*Stagonospora nodorum*) den Kornbefall mit *Fusarium* spp. verstärkt.

In Jahren, in denen beide Erreger stark auftraten war das Auftreten von *P. recondita* negativ mit dem Vorkommen von *Fusarium* spp. bzw. *M. nivale* korrelierte. Dies spräche für eine Konkurrenz auf dem Blatt und hat auf den Ährenbefall nur eine sehr begrenzte Auswirkung, denn hier wird nur die Vermehrung der Inokulummenge verhindert, deren weiterer Verbleib zu dem stark witterungsabhängig ist. Die Ursache könnte in den unterschiedlichen Witterungsansprüchen liegen, da *P. recondita* weniger Niederschläge benötigt als *Fusarium* spp..

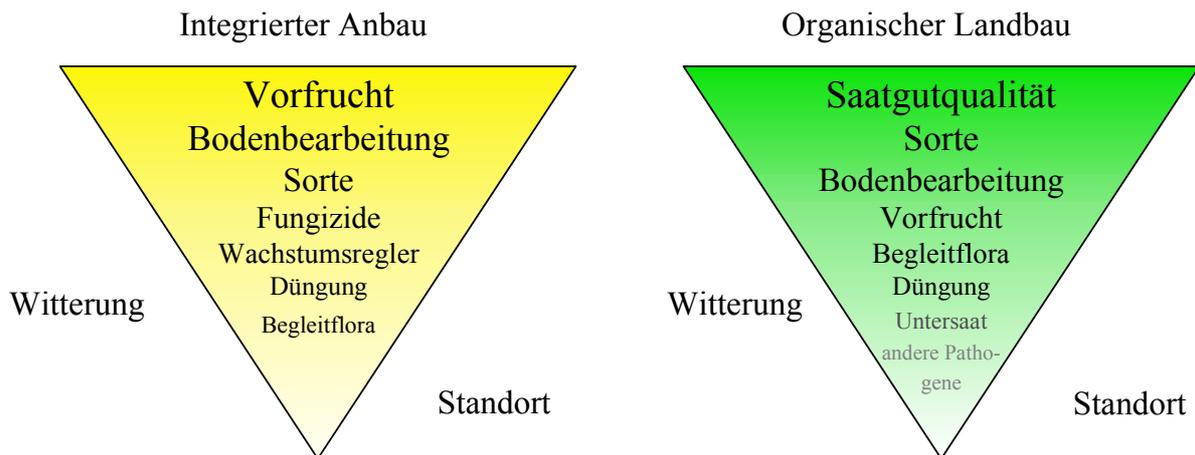


Abb. 65: Bewertung der Einflussmöglichkeiten auf das Vorkommen von *Fusarium* spp. und *M. nivale* im integrierten und Organischen Weizenanbau.

Ausblick

Der größte Risikofaktor für einen *Fusarium*-Befall stellt die Witterung dar. Diese ist jedoch nicht zu beeinflussen. Um das Risiko einer Ähreninfektion schon im Vorfeld möglichst gering zu halten, sollten pflanzenbauliche Maßnahmen wie eine weite Fruchtfolge, wendende Bodenbearbeitung, der Anbau einer wenig anfälligen Sorte und eine angepasste Anbauintensität berücksichtigt werden.

Im Organischen Landbau war auf Grund der abwechslungsreichen Fruchtfolge, der stets wendenden Primärbodenbearbeitung und der fehlenden Vorfrucht Mais das Inokulumpotenzial niedrig. Daher kam es im Vergleich zum integrierten Anbau zu einem relativ geringen Kornbefall mit den *Fusarium*-Arten. Dagegen ist das Vorkommen von *M. nivale* im Organischen Landbau primär auf Grund der fehlenden Saatgutbeizung höher. Im integrierten Anbau wird eine direkte Bekämpfung mit Fungiziden neben pflanzenbaulichen Maßnahmen auch weiterhin eine Rolle spielen. Die Zulassung der Wirkstoffe Tebuconazol und Metconazol zur Bekämpfung von Ährenfusariosen garantiert auf Grund des langen Zeitfenster einer möglichen Infektion und der begrenzten Wirksamkeit bzw. des engen Zeitraumes einer Applikation keine Wirkungssicherheit. Auch sind die zusätzlichen Spritzkosten nicht zu unterschätzen, da in Deutschland nur Richt- und noch keine Grenzwerte für Mykotoxine vorhanden sind und die höhere Qualität Mykotoxin-armen Getreides preislich nicht immer honoriert wird.

Die Wahl einer weniger anfälligen Sorte, deren Resistenz-Ausprägung stark von Umweltfaktoren beeinflusst wird, bietet bei starkem Infektionsdruck ebenfalls keinen ausreichenden Schutz und sollte daher mit anderen Maßnahmen kombiniert werden.

Über die Witterungsansprüche von *F. graminearum* und *F. culmorum* gibt es vergleichsweise viel Information. Hingegen treten im Rheinland vermehrt Arten wie *F. avenaceum*, *F. poae* auf, über deren Ansprüche an die Infektionsbedingungen weitaus weniger bekannt ist.

Es zeigte sich, dass der DON-Gehalt allein zur Beurteilung der Toxinbelastung des Ernteguts nicht ausreicht, für häufig vorkommende *Fusarium*-Arten wie *F. poae* und *F. avenaceum* kein DON, aber andere toxische Stoffwechselmetabolite nachgewiesen wurden. Ebenso produzieren einige Isolate, z.B. von *F. culmorum*, vorwiegend das giftigere NIV bzw. DON und NIV.

5 ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss pflanzenbaulicher Maßnahmen des Organischen und integrierten Anbaus auf die Pflanzengesundheit des Weizens untersucht. Hierbei wurden die Auswirkungen des Standorts, der Witterung, der Sortenwahl, von Fungiziden, der Bodenbearbeitung, Fruchtfolge bzw. Vorfrucht, der Anbauintensität und der Begleitflora auf den Ährenbefall mit verschiedenen *Fusarium*-Arten sowie *Microdochium nivale* berücksichtigt. Dem Kornbefall durch *Fusarium* spp. wurde dabei auf Grund der möglichen Mykotoxinbelastung des Ernteguts und dessen Nutzung als Nahrungs- und Futtermittel besondere Bedeutung beigemessen. In den Jahren 1997 - 1999 wurde an drei Standorten des Organischen Landbaus und integrierten Anbaus das Auftreten von Krankheiten an Weizen mit dem Schwerpunkt Ährenbefall durch *Fusarium* spp. und *Microdochium nivale* untersucht.

- Eine Ährenbonitur eignete sich nur bedingt für eine Beurteilung der Befallshäufigkeit mit *Fusarium* spp., denn nur bei Inokulation mit einer *Fusarium*-Art zeigten sich auch deutliche Ährensymptome. Nicht alle Arten verursachen klare Ährensymptome wie z.B. *F. poae* und *F. avenaceum*, andererseits bilden Arten wie *M. nivale* Symptome, aber keine Toxine und haben somit eine andere Bedeutung. Ohne Inokulation handelt es sich meistens um eine Mischpopulation, die sich optisch nicht differenzieren lässt.
- An den Standorten Hennef, Velbert und Blankenheim trat *Septoria tritici* in allen Jahren auf, *Puccinia striiformis* und *P. recondita* traten nur in Hennef auf. An keinem Standort war ertragsrelevanter Befall mit *Blumeria graminis* zu verzeichnen. Zwischen dem Auftreten von *Septoria* bzw. *P. recondita* und dem Befall mit *Fusarium* spp. und *M. nivale* konnte keine Beziehung festgestellt werden.
- Bezüglich des Standorts ließ sich im Verlauf der Versuchsjahre kein Einfluss auf den Befall der Körner mit *Fusarium* spp. nachweisen. Für *Microdochium nivale* zeigte sich ein Einfluss des Standorts. Das Artenspektrum von *Fusarium* war an allen Standorten gleich, lediglich der Anteil der einzelnen Arten am Gesamtbefall variierte, *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. poae*, *F. graminearum*, *F. tricinctum*, *F. sporotrichioides* sowie *Microdochium nivale* wurden nachgewiesen. Das Auftreten der *Fusarium*-Arten an den Körnern hängt entscheidend von der Witterung während der Weizenblüte ab. Bei ausreichenden Niederschlägen und vorhandenem Inokulum kann es zu einer Infektion

kommen. Auf das Inokulumpotenzial hat die Bodenbearbeitung in Wechselwirkung mit der Vorfrucht entscheidenden Einfluss.

- Für den Ährenbefall mit *Fusarium* spp. dienen die befallenen organischen Partikel der Vorfrüchte als Primärinokulum. Das Saatgut hatte keinen Einfluss auf das Auftreten der *Fusarium*-Arten. Einige Arten der Begleitflora können befallen werden und somit ebenfalls als Infektionsquelle dienen, besonders Arten, die wie *G. aparine* im Bestand mit heraufwachsen, waren teilweise stärker befallen als der Weizen. Die Verwendung von Klee-Untersaaten verringerte den *Fusarium*-Befall der Ähren nicht, sondern erhöhte ihn zum Teil sogar.
- Der größte Teil der Korninfektionen findet bei allen untersuchten *Fusarium*-Arten zur Blüte statt. Allerdings darf bei entsprechender Witterung die Infektionsgefahr vor der Blüte (BBCH 49 - 63) bzw. bis zur Teigreife nicht unterschätzt werden.
- Der Vergleich der Sorten in verschiedenen Umwelten zeigte, dass die Sorten 'Bold', 'Zentos' und 'Petrus' die geringste *Fusarium*-Anfälligkeit aufwiesen; dies deckt sich mit der Einstufung laut Sortenliste. Nur bei stärkerem *Fusarium*-Auftreten konnten zwischen den Sorten Unterschiede in der Befallshäufigkeit statistisch abgesichert werden. Halmlänge und Ährenbefall waren negativ korreliert. Die Anfälligkeit der Sorten gegenüber *Fusarium* spp. kann nicht auf *Microdochium nivale* übertragen werden. Spezifische Resistenzen gegenüber einzelnen *Fusarium*-Arten konnten nicht nachgewiesen werden. Sortenmischungen von plano- und erektophilen Weizenpflanzen reduzierten die Befallshäufigkeit nicht.
- Der Befall kann durch eine termingerechte Fungizidbehandlung mit einem Azolfungizid reduziert, aber nicht verhindert werden. Da der Zeitpunkt der Infektion und die Applikation in kürzester Zeit aufeinander folgen sollten, um eine gute Wirkung zu erzielen, ist der Handlungszeitraum beschränkt. Die Azolfungizide haben keine Wirkung gegenüber *Microdochium nivale*. Hier sollte Azoxystrobin bzw. Fenpropimorph hinzugezogen werden, die diesbezüglich eine gute Wirkung zeigten.
- Eine hohe Anbauintensität führte zu einem höheren Befall; besonders von *F. avenaceum* aber auch von *Microdochium nivale*. Allerdings war der Effekt zwischen keiner und einer Stickstoffdüngung bis 160 kg/ha größer als bei einer Steigerung von 170 kg N/ha auf 210 kg N/ha. Der Einsatz von Wachstumsreglern und Blattfungiziden verstärkten diesen Effekt.

- Eine Getreidevorfrucht, besonders aber Mais, und eine nicht-wendende Bodenbearbeitung können bei der entsprechenden Witterung zu einer hohen Befallssituation führen.
- Der Vergleich zwischen integriertem und Organischen Anbau zeigte, dass aufgrund der weiteren Fruchtfolge ohne Mais und der konsequenten wendenden Bodenbearbeitung auch eine phytosanitäre Bereinigung des Bodens durch höhere Vitalität stattfindet, die das Inokulumpotenzial reduziert. Auch die geringere Intensität trägt dazu bei, dass der Befall mit *Fusarium* spp. und der DON-Gehalt geringer war. Allerdings sollte im Organischen Landbau der Saatgutqualität mehr Aufmerksamkeit zukommen, da es dort zu erheblichen Ausfällen aufgrund des starken Befalls mit *M. nivale* kommt.
- Der DON-Gehalt alleine reicht zur Beurteilung der Toxinbelastung des Ernteguts nicht aus. Im Rheinland treten häufig *Fusarium*-Arten wie *F. poae* und *F. avenaceum* auf, bei denen bis heute kein DON nachgewiesen wurde, zum anderen produzieren einige Isolate z.B. von *F. culmorum* vorwiegend NIV bzw. DON und NIV.

Die Stärke einer *Fusarium*- bzw. DON-Belastung ist das Ergebnis einer komplexen Wechselwirkung vieler Faktoren. Es zeigt sich, dass eine Bekämpfungsmaßnahme allein zur Lösung des *Fusarium*-Problems nicht ausreicht. Vielmehr ist eine Kombination aus Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Sortenwahl, Fungiziden und Anbauintensität sowie Begleitflorabeseitigung erforderlich.

6 LITERATUR

- Abbott, W.S. (1925): A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. econ. Entomol.* **18**, 265-267.
- Abildgren, M.P.; Lund, F.; Thrane, U.; Elmholt, S. (1987): Czapek-Dox agar containing iprodione and dicloran as a selektive medium for the isolation of *Fusarium* species. *Letters in Applied Microbiology* **5**, 83-86.
- Adolf, B. (1998): Epidemiologie und Nachweis von Getreidefusariosen: Untersuchungen an Weizen und Gerste. Herbert Utz Verlag, München, 125 S.
- Ahrens, W. Fehrmann, H. (1984): Weizenbefall mit *Septoria nodorum* und Ährenfusariosen. I Schadensanalyse. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* **91**, 42-58.
- Anonym (1997): Beschreibende Sortenliste- Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen, (großkörnig), Hackfrüchte. Herausgegeben vom Bundessortenamt, Landbuch-Verlag Hannover.
- Anonym (1999): Beschreibende Sortenliste- Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen, (großkörnig), Hackfrüchte. Herausgegeben vom Bundessortenamt, Landbuch-Verlag Hannover.
- Arseniuk, E. Góral, T., Sowa, W., Czembor, H.J., Krysiak, H., Scharen, A.L. (1998): Transmission of *Stagonospora nodorum* and *Fusarium* spp. on Triticale and Wheat Seed and Effekt of Seedborne *Stagonospora nodorum* on Disease Severity under Field Conditions. *J. Phytopathology* **146**, 339-345.
- Arthur, J.C. (1981) Wheat scab. *Indiana Agricultural Experimental Station Bulletin* **36**, 129-132.
- Aufhammer, W., Kübler, E., Kaul, H.-P. (1999a): Bekämpfung von Ährenfusariosen durch produktionstechnische Maßnahmen. *Fusarium-Symposium an der Universität Hohenheim*, 10-11.
- Aufhammer, W.; Hermann, W.; Kübler, E. (1999b): Ährenbefall mit *Fusarium graminearum* und Mykotoxingehalte des Kornguts von Winterweizen, -triticale und -roggen in Abhängigkeit von Sorte und Anbauintensität. *Pflanzenbauwissenschaften*, Verlag Eugen Ulmer GmbH& Co., Stuttgart. **3** (1), 32-39.
- Bahle, F.; Leist, N. (1997): Einfluß konventioneller, integrierter und ökologischer Wirtschaftsweise sowie einzelner anbautechnischer Maßnahmen auf den Befall von Winterweizen mit samenbürtigen Pilzen. *Gesunde Pflanze* **49**(7), 220-225.
- Bai, G.H.; Shaner, G. (1996): Variation in *Fusarium graminearum* and cultivar resistance to scab. *Plant Disease* **80**(9), 975-979.

- Bartels, M. (1998): Ährenfusarien – die unterschätzte Gefahr? Top-Agrar **12**, 62-65.
- Bartels, M. (1999): Weiter so mit Fungiziden? DLG-Mitteilungen **2**, 36-42.
- Beck, R., Lepschy, J., Obst, A. (1997b): Fusarien schon im Herbst aufs Korn nehmen. DLG-Mitteilung **9**, 28-32.
- Beck, R., Lepschy, J. (2000): Ergebnisse aus dem *Fusarium*-Monitoring 1989-1999 -Einfluss der produktionstechnischen Faktoren Fruchtfolge und Bodenbearbeitung. In: Bayrische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP) (ed.). Risiken durch den Ährenparasiten *Fusarium graminearum*- Ergebnisse eines LBP-Forschungsverbands, Druckhaus Kastner, Wolnzach, p.39-47.
- Beck, R.; Lepschy, J.; Obst, A. (1997a): Gefahr aus der Maisstoppel. DLG-Mitteilung **5**, 34-38.
- Birzele, B. (2001): Untersuchungen zur mikrobiologischen Qualität von erntefrischem und suboptimal gelagertem Weizen aus Organischem Landbau unter besonderer Berücksichtigung der Mykotoxine Deoxynivalenol und Ochratoxin A. Dissertation Universität Bonn.
- Bucheli, B., Diserens, P., Rychener, M., Tiéche, J.-D., Trenkner, N. (1996): Untersuchungen zum Fusariumbefall und zur Mykotoxinbelastung des schweizerischen Brotgetreides der Ernte 1992 - 1994. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **87**, 84 - 102.
- Buchenauer, H., Kang, Z. (2002): Cytologische Studien zur Infektion und Ausbreitung von Fusarien in Weizenähren sowie zur Abwehrreaktion in der Ähre resistenter und anfälliger Weizensorten. Tagungsband der 13. und 14. Wissenschaftlichen Fachtagung: *Fusarium*-Befall und Mykotoxinbelastung von Getreide und Schadverdichtung in Ackerböden. 5. Dezember 2001. 45-54.
- Caron, D. (1995): Les fongicides contre la fusariose des epis. Pourquoi leur efficacité est elle seulement moyenne? Perspectives Agricoles **198**, 80-82.
- Chelkowski, J., (1989): Formation of mycotoxin produced by fusaria in heads of wheat, triticale and rye. In: Chelkowski (ed.) *Fusarium: Mycotoxin, Taxonomy and Pathogenicity*. Elsevier-Verlag, Amsterdam – Oxford - New York, 63-84.
- Chelkowski, J., Perkowski, J. (1992): Mykotoxins in cereal grain (part. 15). Distribution of deoxynivalenol in naturally contaminated wheat kernels. *Mycotoxin Research* **8**, 27-31.
- Chen, P., Liu, D., Sun, W. (1996): New countermeasures of breeding wheat for scab resistance. In Proc. CIMMYT-Workshop; *Fusarium* Head Scab, Global Status and Future Prospects, CIMMYT, El Batan, Mexico, 59-65.

- Christani, C. (1992): Seed-borne *Microdochium nivale* (Ces. ex. Sacc.) Samuels (= *Fusarium nivale* (Fr.) (Ces.)) in naturally infected seeds of wheat and triticale in Italy. *Seed Science and Technologie* **20**, 603-617.
- Cook, R.J. (1980): *Fusarium* foot rot of wheat and its control in the Pacific Northwest. *Plant Disease* **64** (12), 1061-1066.
- Dänike, S.; Oldenburg, E. (2000): Risikofaktoren für die Fusarientoxinbildung in Futtermitteln und Vermeidungsstrategien bei der Futtermittelerzeugung und Fütterung. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft* 216.
- Desjardins, A.E. Proctor, R.H. (2001): Biochemistry and genetics of *Fusarium* toxins. p. 50-69. in: Summerell, B.A., Leslie, J.F., Backhouse, D., Bryden, W.L., Burgess, L.W. (eds.): *Fusarium- Paul E. Nelson Memorial Symposium*, APS Press, American Phytolopathological Society, St. Paul, USA.
- Dickson, J.G. (1922): zit. nach Schroeder, H.W. und Christensen, J.J. (1963)
- Diehl, T. (1984): Weizenfusariosen - zur Symptomentwicklung und Schadensanalyse bei Blatt- und Ährenbefall.- Dissertation Universität Göttingen.
- Diehl, T.; Fehrmann, H. (1989): Weizenfusariosen - Einfluß von Infektionstermin, Gewebeschädigung und Blattläusen auf Blatt- und Ährenbefall. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* **96**(4), 393-407.
- Dill-Macky, R., Jones, R.K. (1999): Effects of previous crop and tillage on *Fusarium* head blight of wheat. *Phytopathology* **89**(6), S21.
- Döll, S., Valenta, H., Dänike, S, Flachowsky, G. (2002): *Fusarium* mycotoxins in conventionally and organically grown grain from Thuringia/Germany. *Landbauforschung Völkenrode* **52**, 91-96.
- Dornbusch, CH., Schauder, A., Piorr, H.P.(1992): Erzeugung von Z-Saatgut im Organischen Landbau. *VDLUFA-Schriftreihe* **35**, Kongressband.
- Dornbusch, CH., Schauder, A., Piorr, H.P. und Köpke, U. (1993): Qualitätsbeeinflussende Parameter von Saatgutpartien aus dem Organischen Landbau. *VDLUFA-Schriftreihe* **36**, Kongressband.
- Duben, J. (1978): Untersuchungen zum Fußkrankheitskomplex an Weizen unter besonderer Berücksichtigung von Arten der Gattung *Fusarium* Lk.. Dissertation Universität Göttingen.
- Duben, J.; Fehrmann, H. (1980): Vorkommen und Pathogenität von *Fusarium*-Arten an Weizen in der Bundesrepublik Deutschland III. Zusammenhang zwischen dem Befall der Halmbasis und der Ähre. *Z. PflKrankh. PflSchutz* **87**(1); 1-12.

- Ellner, F.M. (1999): 1998 - Ein Jahr für Fusariumtoxine. In: ROSNER, H. KIELSTEIN, P. (eds.) Proceedings des 21. Mykotoxin-Workshops, Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin, Jena, pp. 1-4.
- Ellner, F.M. (2002): *Fusarium*-Toxine in Getreide – Vorkommen und Vermeidungsstrategien. Tagungsband der 13. und 14. Wissenschaftlichen Fachtagung: *Fusarium*-Befall und Mykotoxinbelastung von Getreide und Schadverdichtung in Ackerböden. 5. Dezember 2001. 14-22.
- Eudes, F., A. Comeau, S. Rioux, Collin, J. (2001): Impact of trichothecenes on *Fusarium* head blight [*Fusarium graminearum*] development in spring wheat (*Triticum aestivum*). Canadian Journal of Plant Pathology **23**, 318-322.
- Fauzi, M.T.; Paulitz, T.C. (1994): The effect of plant growth regulators and nitrogen on *Fusarium* head blight of the spring wheat cultivar Max. Plant Disease **78**, 289-292.
- Fehr, W.R.; Lambert, J.W.; Rasmusson, D.C. (1964): Inheritance of lodicule size in two barley species and effects of lodicule size on loose smut infection. Crop. Sci. **4**, 304-307.
- Fehrmann, H., Diehl, Th. (1989): Partielle Taubährigkeit chemisch bekämpfen. Pflanzenschutz-Praxis **2**, 29-31.
- Fernando, W.G.D., Paulitz, T.C., Seaman, W.L., Martin, R.A. (1997): *Fusarium* head blight susceptibility of wheat inoculated at different growth stages. Phytopathology **87**, 30.
- Focke, I. (1974): Zur Überwachung und Schadwirkung der partiellen Taubährigkeit (*Fusarium culmorum* (W.G.Sm.) Sacc.) an Winterweizen. - Symposium mit internationaler Beteiligung zur Schaderregerüberwachung in der industriemäßigen Getreideproduktion -, Halle (Saale), 16.-18.10.1974, Manuskript der Vorträge, Teil III, 417-429.
- Forrer, H.-R., Hecker, A., Külling, A., Kessler, P., Jenny, E., Krebs, H. (2000): Fusarienbekämpfung mit Fungiziden? Agrarforschung **7(6)**, 258-263.
- Forrer, H.-R.; Rijdsdijk, F.H.; Zadoks, J.C. (1982): Can mildew assist in the entry of *Fusarium* fungi into wheat leaves? Neth. J. Pl. Path. **88**, 123-125.
- Gareis, M. (1999): Mykotoxine und Schimmelpilze. ForschungsReport (Ernährung, Landwirtschaft, Forsten). **2**, 4-5.

- Gareis, M.; Ceynowa, J. (1994): Einfluß eines Fungizids Matador (Tebuconazol/Triadimenol) auf die Mykotoxinbildung durch *Fusarium culmorum*. Lebensm. Unters. Forsch. **198**, 244-248.
- Gilchrist, L., Rajaram, S., Mujeeb-Kazi, A., von Ginkel, M., Vivar, H., Pfeiffer, W. (1996): *Fusarium* scab screening programe at CIMMYT. In: Proc. CIMMYT-Workshop; *Fusarium* Head Scab, Global Status and Future Prospects, CIMMYT, El Batan, Mexico, 7-12.
- Hall, R., Sutton, J.C. (1998): Relation of weather, crop, and soil variables to the prevalence, incidence, and severity of basal infection of winter wheat in ontario. Canadian J. Plant Pathology **20**(1), 69-80.
- Häni, F. (1979): Über Getreidefusariosen in der Schweiz: Saatgutbefall, Ährenbefall und Bodenkontamination. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, **87** (5/6), 257-280.
- Häni, F. (1980): Zur Biologie und Bekämpfung von Fusariosen bei Weizen und Roggen. Phytopathologische Zeitschrift **100**, 44-87.
- Häni, F. (1981): On the biology and control of *Fusarium* diseases of wheat and rye. Phytopath. Z. **100**, 44-87.
- Hartelb, H., Woff, C. (1999a) Ährenfusariosen an Winterweizen in Sachsen-Anhalt und Möglichkeiten der Bekämpfung. *Fusarium*-Symposium an der Universität Hohenheim, 31-32.
- Hartelb, H., Gibbert, R., Wolff, Ch. (1999b): Wann Weizen im Trockengebiet gefährdet ist. Top-Agrar **5**, 52-55.
- Hartl, L., Wosnitza, A., Zimmerman, G. (2001): Sortenresistenz wird besser. DLG.-Mitt. **8**, 40-43.
- Hermann, W. (1998a): Befall und Toxinproduktion durch Ährenfusariosen bei Winterweizen, -triticale und -roggen in Abhängigkeit von produktionstechnischen Maßnahmen. Dissertation Universität Hohenheim.
- Hermann, W., Kübler, E., Aufhammer, W. (1998b): Ährenbefall mit Fusarien und Toxingehalt im Korngut verschiedener Wintergetreidearten. Pflanzenbauwissenschaften **3**, 97-107.
- Hinterholzer, J. (1992): Pflanzenbauliche Aspekte zum Toxinproblem bei Mais. In: Veröffentlichung der Bundesanstalt für Agrarbiologie Linz/Donau, 69-80.
- Hoffmann, G.M., Nienhaus, F.; Poeling, H.M., Schönbeck, F.; Welzien, H.C.; Wilbert, H. (1994): Lehrbuch der Phytomedizin, Blackwell Wissenschafts-Verlag Berlin.

- Hörberg, H. (2001): Patterns of splash dispersed conidia of *Fusarium poae* and *F. culmorum*. European Journal of Plant Pathology **108**, 73-80.
- Huntgeburth, H. (1999): Keine Tabupflanze für den Ökolandbau. Bio-Landbau **4**, 26-27.
- Jelinek, C.F.; Pohland, A.E.; Wood, G.E. (1989): Worldwide occurrence of Mycotoxins in foods and feeds - an update - . J. AOAC **72**, 223-230.
- Jenkinson, P.; Parry, D.W. (1994a): Isolation of *Fusarium* species from common broad leaved weeds and their pathogenicity to winter wheat. Mycol. Res. **98**, 776-780.
- Jenkinson, P.; Parry, D.W. (1994b): Splash dispersal of conidia of *Fusarium culmorum* and *Fusarium avenaceum*. Mycol. Res. **98** (5), 506-510.
- Joffe, A. Z., (1971): Alimentary toxic aleukia. In: Kadis, S., Ciegeler, A., Ajl, S.J. (eds). Microbial toxins, Vol.7., Academic Press, London, p. 139-189.
- Junget, M.P., Baurrault, G., Caron, D. et Albertini, L. (1983): Epidemiologie de *Fusarium culmorum* (W.G.Smith) Sacc. Sur ble dans le sud ouest de la France. Mecanismes et agents de dissemination des conidies. Cryptogamie, Mycol. **14**, 95-108.
- Junget, M.P., Marquet, D. (1988): Fusariose des epis. Perspectives Agricoles **31**, 131.
- Kang, Z., Buchenauer, H. (2002): Immunocytochemical localization of *Fusarium* toxins in infected wheat spikes by *Fusarium culmorum*. Physiol. Mol. Pl. Pathol. **55**, 275-288.
- Keyel, F. (1972): Blütenbiologische Untersuchungen: 1. Offenblütigkeit verschiedener Winterweizensorten. Bayer. Landw. Jb. **49**, 688-701.
- Klingenhagen, G., Frahm, J. (2002): Unterschiedliche Anbauintensitäten und *Fusarium*-belastung. Tagungsband der 13. und 14. Wissenschaftlichen Fachtagung: *Fusarium*-Befall und Mykotoxinbelastung von Getreide und Schadverdichtung in Ackerböden. 5. Dezember 2001, 23-31.
- Koch, G. (1981): Pilzliche Schaderreger an Winterweizen im Vergleich zweier konventioneller Betriebe und eines biologisch-dynamischen Betriebs in Hessen (BRD) 1986/87. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz **98**, 125-136.
- Köhler, W., Schachtel, G., Voleske, P. (1996): Biostatistik, 2. Auflage, Springer Verlag.
- Krebs, H., Dudois, D., Külling, C, Forrer, H.-R. (2000): Fusarien- und Toxinbelastung des Weizens bei Direktsaat. Agrarforschung **7**(6), 264-268.
- Krska, R., Baumgartner, S., Josephs, R. (2001): The state-of-the-art in the analysis of type-A and -b trichothecene mycotoxins in cereals. Fresenius J. Anal. Chem. **371**, 285-299.

- Krska, R., Josephs, R. (2001): The state-of-the-art in the analysis of estrogenic mycotoxins in cereals. *Fresenius J. Anal. Chem.* **369**, 469-476.
- Langerfeld, E. (1971): Untersuchungen über den Einfluß von Chlorcholinchlorid (CCC) auf das Wachstum und die 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.
- Lepschy, J. (1992): Fusarientoxine in Getreide - ihre Entstehung und Vorbeugungsmaßnahmen. *Gesunde Pflanze* **44**, 35-39.
- Lepschy, J. (2000): Die häufigsten Fusarientoxine in Getreide – Analytik, Toxikologie, Grenzwerte. In: Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP) (ed.). Risiken durch den Ährenparasiten *Fusarium graminearum*- Ergebnisse eines LBP-Forschungsverbunds, Druckhaus Kastner, Wolnzach, p.27-32.
- Lew, H., Adler, A. (1997): *Fusarium*-Befall – der größte Schaden entsteht im Stall. Mais, **25**(2), 71-73.
- Liggitt, J., Jenkinson, P. and Parry, D.W. (1997): The role of saprophytic microflora in the development of *Fusarium* ear blight of winter wheat caused by *Fusarium culmorum*. *Crop Protection* **16**, 679-685.
- Lindhauer, M.G., Münzing, K. (1999): Anforderungen an den Status „gesund und handelsüblich“ bei Getreide unter besonderer Berücksichtigung der Fusarienproblematik. *Fusarium*-Symposium an der Universität Hohenheim, 22-24.
- Martin, R.A.; MacLeod, J.A. (1991): Influences of production inputs on incidence of infection by *Fusarium* species on cereal seed. *Plant Disease* **75**, 784-788.
- Matthies, A. (1998): Untersuchungen zur Hemmung der Trichothecenbiosynthese bei *Fusarium graminearum* in vitro und zur Reduzierung des Ährenbefalls und Mykotoxinproduktion durch Fusarien an Getreide. Dissertation Hohenheim
- Maufras, J.X., Maumene, C. (1995): Fongicides cereales et protegineux. *ITCF*, 144 S.
- Mauler-Machnik, A. (1995): Ährenfusariosen an Weizen - regional von Bedeutung. *Pflanzenschutz Kurier* **2**, 10-11.
- Mauler-Machnik, A., Nass, P. (1990): Einfache Methode zur Frühdiagnose von *Pseudocercospora herpotrichoides* mit dem Bayer- Diagnose-System nach Verreet/Hoffmann. *Gesunde Pflanze* **42**, 130-132.

- Mauler-Machnik, A., Zahn, K. (1994): Ährenfusariosen an Weizen - neue Erkenntnisse zur Epidemiologie und Bekämpfung mit Folicur[®] (Tebuconazol)-. Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer **47**(2), 133-159.
- Mauler-Machnik, A. (1996): Ährenfusariosen an Weizen – Tebuconazolhaltige Produkte ermöglichen erfolgreiche Bekämpfung. Pflanzenschutz- Kurier **1**, 10-12.
- Mesterházy, Á., (1983): Breeding wheat for resistance to *F. graminearum* and *F. culmorum*. Plant Breeding **91**, 295-311.
- Mesterházy, Á., (1987): Selection of head blight resistant wheats through improved seedling resistance. Plant Breeding **98**(1), 25-36.
- Mesterházy, Á.; (1995): Types and components of resistance to *Fusarium* head blight of wheat. Plant. Breed. **114**, 377-386.
- Mesterházy, Á.; Bartok, T. (1996b): Bekämpfung von Ährenfusariosen des Weizens durch Fungizide und deren Effekte auf die Toxinverseuchung der Körner. Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer **49** (2), 187-206.
- Mesterházy, Á. (1996a): Breeding for resistance to *Fusarium* head blight of wheat. In Proc. CIMMYT-Workshop; *Fusarium* Head Scab, Global Status and Future Prospects, CIMMYT, El Batan, Mexico, 79-85.
- Meyer, D., Weipert, D., Mielke, H.(1986): Beeinflussung der Qualität von Weizen durch den Befall mit *Fusarium culmorum*. Getreide, Mehl, Brot 35-39.
- Miedaner, Th.; Walter, H. (1987): Ermittlung der *Fusarium*-Resistenz von Weizen im Ährenstadium. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz **94**(4), 337-347.
- Miedaner, T., Borchardt, D.C.; Geiger, H.H. (1993): Genetic analysis of inbred lines and their crosses for resistance to headblight (*Fusarium culmorum*, *F. graminearum*) in winter rye. Euphytica **65**, 123-133.
- Miedaner, T. (1997): Review: Breeding wheat and rye for resistance to *Fusarium* diseases. Plant Breeding **116**, 201-220.
- Miedaner, Th., Reinbrecht, C., Bahle, F., Schneider, B., Geiger, H:H. (1999): Genetische Variationen und Mykotoxingehalte des Ernteguts von Getreide bei Befall der Ähren mit *Fusarium*-Arten. *Fusarium*-Symposium an der Universität Hohenheim, 12-13.
- Miedaner, Th., Schneider, B. (2002): Züchtungsstrategien zur Verringerung von Ährenfusariosen und Mykotoxingehalte bei Getreide. Tagungsband der 13. und

14. Wissenschaftlichen Fachtagung: *Fusarium*-Befall und Mykotoxinbelastung von Getreide und Schadverdichtung in Ackerböden. 5. Dezember 2001. 55-67.
- Mielke, H., Meyer, D. (1990): Neuere Untersuchung zur Bekämpfung der Partiellen Taubährigkeit unter Berücksichtigung der Auswirkung des Fungizideinsatzes auf die Ertragsleistung und Backqualität beim Weizen. Nachrichten bl. Deut. Pflanzenschutzdienst. **42** (11), 161-170.
- Mielke, H. (1995): Untersuchungen zur Anfälligkeit verschiedener Weizensorten gegenüber der Partiellen Taubährigkeit (*Fusarium culmorum* (W.G.Sm.) Sacc.). Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzdienst. **47** (10), 254-262.
- Mielke, H., Weinert, J. (1996): Untersuchungen zur Wirkung verschiedener Fungizide gegenüber dem Erreger der Partiellen Taubährigkeit (*Fusarium culmorum* (W. G. Sm.) Sacc.) Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst. **48** (5), 93-95.
- Mielke, H. (1998): Zur Anfälligkeit inländischer Weizensorten gegenüber der Partiellen Taubährigkeit (*Fusarium culmorum*). Mitt. a. d. Biol. Bundesanst. **357**, 92.
- Miller, J. D.; Young, J.C.; Sampson, D.R. (1985): Deoxynivalenol and *Fusarium* head blight resistance in spring cereals. Phytopath. Z. **133**, 359-367.
- Miller, J.D.; Arnison, P.G., (1986): Degradation of deoxynivalenol by suspension cultures of fusarium head blight resistant wheat cultivar Frontana. An. J. Plant Path. **8**, 147-150.
- Miller, J.D.; Culley, J., Fraser, K., Hubbard, S., Meloche, F., Quillet, T., Seaman, W.L., Seifert, K.A., Turkington, K., Voldeng, H. (1998): Effects of tillage particle on *Fusarium* head blight of wheat. Canadian Journal of Plant Pathology **20**, 95-103
- Miller, J.D.; Greenhalgh (1985): Nutrient effects on the biosynthesis of trichothecenes and other metabolites by *Fusarium graminearum*. Mycologia. **77**, 130-136.
- Muthomi, J.W., Schütze, A., Dehne, H.-W., Mutitu, E.W., Oerke, E.-C. (2000): Characterization of *Fusarium culmorum* isolates by mycotoxin production and aggressiveness to winter wheat. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz **107**(2), 113-123.
- Nelson, P.E., Toussoun, T.A., Marasas, W.F.O. (1983): *Fusarium* species: an illustrated manual for identification. Pennsylvania State University Press. University Park and London 193 pp.
- Niessen, L., Donhauser, S., Weideneder, A., Geiger, E., Vogel, H. (1992): Mykologische Untersuchungen an Cerealien und Malzen im Zusammenhang mit dem Wildwerden (Gushing) des Biers. Brauwelt **16/17**, 702-714.

- Nirenberg, H.I., (1976): Untersuchungen über die morphologische und biologische Differenzierung in der *Fusarium*-Sektion Liseola. Mitteilung BBA (Berlin-Dahlem) **169**, 1-117.
- Nirenberg, H.I., Bresch, (1996): Stimmen Fumonisinproduktion und Artendifferenzierung in der *Fusarium*-Sektion Liseola überein? In: Gareis, M., Scheuer, R. (eds.) Proceedings 18. Mykotoxin Workshop Kulmbach 10-12. Juni 1996, 7-14.
- Noser, R., Wenk, P., Sutter, A. (1996): Deoxynivalenol, Zearalenon und Ochratoxin in Weizen aus dem Kanton Basel-Landschaft. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg. **87**, 574-586.
- Obst, A. (1988): Wie man Ährenfusariosen vermeidet. DLG-Mitteilung. 9, 470-471
- Obst, A.; Lepschy-v. Gleissenthal, J.; Huber, G. (1992): Zur gezielten Bekämpfung der Ährenfusarien bei Weizen – Beobachtungen und Versuchsergebnisse aus Bayern. Gesunde Pflanze **44** (2), 40-47.
- Obst, A.; Beck, R. and Lepschy, J. (1995): New results on the epidemiology and control of *Fusarium graminearum*, causing head blight of wheat in Bavaria. In Proc. International Seminar on *Fusarium*, Mycotoxins, Taxonomy and Pathogenicity, Matina Franca, S. 104.
- Obst, A. (1997a): Partielle Taubährigkeit (*Fusarium culmorum*) des Weizens - Ähreninfektion und Befallsverlauf, Resistenzmechanismen und Sortenreaktion. In: Ährenfusariosen des Getreides. Bayr. Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, 2. Auflage **1**, 29-34
- Obst, A. (1997b): Zu Epidemiologie und Bekämpfung von *Fusarium graminearum* und *Fusarium culmorum* - Erkenntnisse aus den Rahmenplanversuchen Nr. 955. In: Ährenfusariosen des Getreides. Bayr. Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, 2. Auflage **1**, 2-29.
- Obst, A., Lepschy, J., Beck, R. (1997c): Ährenfusarien nicht unterschätzen. Top Agrar, **5**, 48-54.
- Obst, A. (1999): Erfahrungen des Amtlichen Pflanzenschutzdienstes - die Situation in Bayern. *Fusarium*-Symposium an der Universität Hohenheim, 27-28.
- Obst, A., Bechtel, A.(2000a): Witterungsvoraussetzung für den Ährenbefall des Weizens mit *Fusarium graminearum*. In: Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP) (ed.). Risiken durch den Ährenparasiten *Fusarium graminearum*- Ergebnisse eines LBP-Forschungsverbunds, Druckhaus Kastner, Wolnzach, pp.81-88.

- Obst, A.; Fuchs, H. (2000b): Der *Fusarium*-Besatz bei Winter- und Sommergetreide - Untersuchungsergebnisse von Saatgetreidestichproben aus Bayern 1987-99. Ergebnisse eines LBP-Forschungsverbunds, Druckhaus Kastner, Wolnzach, pp.21-25.
- Offenbächer, G. (2002): Zur Analytik von *Fusarium*-Mykotoxinen. Tagungsband der 13. und 14. Wissenschaftlichen Fachtagung: *Fusarium*-Befall und Mykotoxinbelastung von Getreide und Schadverdichtung in Ackerböden. 5. Dezember 2001, 4-13.
- Parry, D.W., Jenkinson, P., McLeod, L. (1995): *Fusarium* ear blight (Scab) in small grain cereals - a review. *Plant Pathol.* **44**, 207- 238.
- Pawelzik, E., Permady, H.H., Weinert, J., Wolf, G.A. (1998): Untersuchungen zum Einfluß einer Fusarien-Kontamination auf ausgewählte Qualitätsmerkmale von Weizen. *Getreide Mehl und Brot* **52**(5), 264-266.
- Perkowski, J., Plattner, R.D., Golinski, P. Versonder, P.F., Chelkowski, J. (1990): Natural occurrence of deoxynivalenol, 3-acetyl-deoxynivalenol, 15-acetyl-deoxynivalenol, Nivalenol, 4,7-Dideoxynivalenol and zeralenone in Polish wheat. *Mycotoxin Research* **6**, 7-12
- Pirgozliev, S.R., Edwards, S.G., Hare, M.C., Jenkinson, P. (2002): Effect of dose rate of azoxystrobin and metconazole on the development of *Fusarium* head blight and the accumulation of deoxynivalenol (DON) in wheat grain. *European Journal of Plant Pathology* **108**, 469-478.
- Polley, W.R., Thomas, M.R. (1991): Survey of diseases of winter wheat in England and Wales, 1976-1988. *Ann. Appl. Biol.* **119**, 1-20
- Reutter, M. (1999): Zearalenon und Deoxinivalenol in Getreide und Futtermitteln Schleswig-Holsteins: Untersuchungen aus dem Erntejahr 1998. In: ROSNER, H. KIELSTEIN, P. (eds.) *Proceedings des 21. Mykotoxin-Workshops*, Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin, Jena, pp. 5-9.
- Rintelen, J. (1995): Zum Infektionszeitpunkt von Fusarien an Weizenkörnern. *Gesunde Pflanze*, **47**(8), 315-317.
- Rintelen, J. (2000): Erste Untersuchungen in den Jahren 1982 bis 1989 zum Befall von Futtergetreide, Mais-, Hafer- und Weizenkörnern mit Fusarien. Ergebnisse eines LBP-Forschungsverbunds, Druckhaus Kastner, Wolnzach, pp.15-20.
- Rodemann, B. (1999): Mykotoxine in Getreide. *ForschungsReport (Ernährung, Landwirtschaft, Forsten)* **2**, 6-9.

- Rossi, V., Languasco, L., Patteri, E., Giosuè, S. (2002): Dynamics of airborne *Fusarium* macroconidia in wheat fields naturally affected by head blight. *Journal of Plant Pathology* **84**(1), 53-64.
- Saur, L., Benacef, N. (1993): Relation entre les symptômes de fusariose de l'épi et la perte de rendement chez le ble tendre. *Agronomie* **13**, 829-833.
- Schachtmayr, G., Fried, P.M. (2000): Problemkreis Fusarien und Mykotoxine, *Agrarforschung* **7**(6), 252-257.
- Schauder, A.; Dornbusch, CH., Piorr, H.P., Köpke, U. (1993a): Qualitätsmonitoring von Weizen im Organischen Landbau. *VDLUFA-Schriftreihe* **36**, Kongressband.
- Schauder, A.; Dornbusch, CH., Piorr, H.P., Köpke, U. (1993b): Strategien in der Qualitätssicherung bei Saatgetreide und Speisegetreide im Organischen Landbau. 37. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, 30.09-2.10.1993. Gießen. In: *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* **6**, 149-152.
- Schepers, H.T.A.M. (2001): Vorkommen und Bedeutung der Ährenfusariosen in den Niederlanden. *Bayer-Pflanzenschutz Kurier* **2**, 9-11.
- Schade-Schütze, A. (1999): Auftreten und biologische Charakterisierung von *Fusarium*-Arten im Weizenanbau. Dissertation Universität Bonn
- Schweighardt, H., Schuh, M. (1981): Deoxynivalenol – Ein bedeutendes Trichothecen. Übers. *Tierernährung* **9**, 11-32.
- Scott, P.R.; Benedikz, P.W. (1986): *Septoria* und *Fusarium* ear blight. Annual Report of the Plant Breeding Institute 1985. Cambridge: Plant Breeding Institute Publication p.100
- Scott, M.P., Trucksess, M.W. (1997): Application of Immunoaffinity Columns to Mycotoxin Analysis. *Journal of AOAC International* **80**(5), 941-948.
- Siranidou, E., Buchenauer, H. (2001): Chemical control of *Fusarium* head blight on wheat. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* **108** (3), 231-243.
- Siranidou, E., Kang, Z., Buchenauer, H. (2002): Studies on symptom development, phenolic compounds and morphological defence responses in wheat cultivars differing in resistance to *Fusarium* head blight. *Journal of Phytopathology* **150**, 200-208.
- Sneyd, J., Elers, B (1994): Die Züchtung von extrem frühen Winterweizen – und Sommerweizensorten mit hohem Proteingehalten für den extensiven und ökologischen Anbau. 2. GPZ-Tagung Quedlingburg, 2 - 5 März 1994, Votr. *Pflanzenzüchtung* **28**, 149-152.

- Snijders, C.H.A. (1991): *Fusarium* nur durch neue Sorten bekämpfen. Pflanzenschutz-Praxis, **1**, 25-27.
- Snijders, C.H.A.; Krechting, C.F. (1992): Inhibition of deoxynivalenol translocation and fungal colonization in *Fusarium* head blight resistant wheat. Can. J. Bot. **70** (8), 1570-1576.
- Sutton, J.C. (1982): Epidemiology of wheat head blight and maize ear rot caused by *Fusarium graminearum*. Can. J. Plant Pathol. **4**, 195-209.
- Suty, A., Mauler-Machnik, A. (1996): Ährenfusariosen an Weizen - Neue Erkenntnisse zur Epidemiologie und Bekämpfung von *Gibberella zeae*, die Hauptfruchtform von *Fusarium graminearum* mit Folicur®. Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer **49** (1), 55-70.
- Tanaka, T., Hasegawa, A., Yamamoto, S., Lee, U., Sugiura, Y., Ueno, Y. (1988): Worldwide contamination of cereals by *Fusarium* mycotoxins nivalenol, deoxynivalenol and zearalenone. 1. Survey of 19 countries. J. of Agric. Food Chem. **36**, 979-983.
- Teich, A.H., Nelson, K., (1984): Survey of *Fusarium* head blight and possible effects of cultural practices in wheat fields in Lambton County in 1983. Canada Plant Disease. Survey **64**(1), 11-13.
- Teich, A.H., Hamilton, J.R. (1985): Effects of cultural practices, soil phosphorus, potassium and pH on the incidence of *Fusarium* head blight and deoxynivalenol levels in wheat. Appl. and Environmental Microbiology **49**(6), 1429-1431.
- Teich, A.H.; Sampson, D.R.; Shugar, L.; Smid, A.; Curnoe, W.E.; Kennema, C. (1987): Yield, quality and disease response of soft winter wheat cultivars to nitrogen fertilization in Ontario, Canada. Cereal Research Communication **15**(4), 265-272.
- Teich, A.H. (1989): Epidemiology of wheat (*Triticum aestivum*) scab caused by *Fusarium* spp.. In: Topics in Secondary Metabolites 2. *Fusarium*, Mycotoxins, Taxonomy and Pathogenicity, eds. J. Chelkowski. Amsterdam, Oxford, New York, Tokio.
- Thalmann, A. (1996): Fusarien - Problem für Ackerbauer und Viehhalter. Vorsorge fängt im Anbau an. Schwäbischer Bauer **33**, 13-16
- Thrane, U., (1987): *Fusarium* species and their specific profiles of secondary metabolites. In: J. Celkowski (ed.) *Fusarium: Mykotoxin, Taxonomy and Pathogenicity*. Elsevier-Verlag, Amsterdam-Oxford- New York, 199-226.

- Usleber, E.; Märtelbauer, E. (1998): A limited survey of cereal food from the German market for *Fusarium* toxins (deoxynivalenol, zearalenone, fumonisins). *Archiv für Lebensmittelhygiene* **49**, 42-45.
- Vesonder, R.F., Golinski, P., (1987): Metabolites of *Fusarium*. In: J. Celkowski (ed.) *Fusarium: Mykotoxin, Taxonomy and Pathogenicity*. Elsevier-Verlag, Amsterdam-Oxford- New York, 1 – 40.
- von Hörsten, D., Lücke, W., Wolf, G. (1994): Abtötung von *Fusarium culmorum* in Weizensaatgut mit der Mikrowellenenergie. *Mitt. a. d. Biol. Bundesanst.* **301**, 68.
- Warren, H.L.; Kommendahl, T. (1973): Fertilization and wheat refuse effects on *Fusarium* species associated with wheat roots in Minnesota. *Phytopathology* **63**, 103-108.
- Wegener, M., Wolf, G.A. (1995): Halmbasiskrankheiten auch durch Fusarien. *Pflanzenschutz-Praxis* **1**, 27-29.
- Wegener, M.; Wolf, G.A. (1994): Fusarien als Halmbasiskrankheitserreger. *Mitt. a. d. Biol. Bundesanst.* **301**, 70.
- Weinert, J., Wolf, G.A. (1994): Ursachen unterschiedlicher Sortenanfälligkeit gegenüber der Partiellen Taubährigkeit (*Fusarium* spp.). *Mittl. a. d. Biol. Bundesanstalt*, **301**, 277
- Weinert, J., Wolf, G.A. (1995): Gegen Ährenfusarien helfen nur resistente Sorten. *Pflanzenschutz-Praxis* **2**, 30-32.
- Weinert, J., Wolf, G.A. (1999): Erfahrungen zum Auftreten von Ährenfusariosen und zur Bekämpfungsstrategie im Weizen. *Fusarium-Symposium*, Hohenheim 1999, 18-21.
- Windels, C.E., Kommedahl, T. (1984): Late-season colonization and survival of *Fusarium graminearum* group II in Cornstalles in Minnesota. *Plant Disease* **68**(9), 791-793.
- Winter, W., Bänziger, I., Krebs, H., Rügger, A.(1997): Warm- und Heißwasserbehandlung gegen Auflaufkrankheiten. *Agrarforschung* **4**(11-12), 467-470.
- Wollenweber, H.W., Reinking, O.A. (1935): Die Fusarien, ihre Beschreibung, Schadwirkung und Bekämpfung. Verlag Paul Parey Berlin, 355 pp.
- Wosnitza, A. (2000) Verbesserung der Fusariumresistenz-Bewertung bei Weizen. In: Bayrische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP) (ed.). Risiken durch den Ährenparasiten *Fusarium graminearum* - Ergebnisse eines LBP-Forschungsverbunds, Druckhaus Kastner, Wolnzach, p.59-74.
- Yi, C., Kaul, H.-P., Kübler, E., Schwadorf, K., Aufhammer, W. (2001): Head blight (*Fusarium graminearum*) and deoxynivalenol concentration in winter wheat as

affected by pre-crop, soil tillage and nitrogen fertilization. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz **108**(3), 217-230.

Zimmermann, G. (1997): Ährenfusariosen bei Winterweizen in Bayern und Ausprägung der Resistenz von aktuellen Sorten. In: Ährenfusariosen des Getreides. Bayrische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, 2. Auflage, **1**, 55-60.

Zimmermann, G. (2000): Nutzung der genetischen Resistenz zur Eindämmung von *Fusarium*-Ährenkrankheiten bei Weizen. In: Bayrische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP) (ed.). Risiken durch den Ährenparasiten *Fusarium graminearum* - Ergebnisse eines LBP-Forschungsverbunds, Druckhaus Kastner, Wolnzach, p.49-57.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich herzlich danken:

Herrn Prof. Dr. Heinz-Wilhelm Dehne für die Überlassung des Themas und das ständige Interesse an dieser Arbeit sowie die anregenden Diskussionen.

Herrn Prof. Ulrich Köpke (Institut für Organischen Landbau) für die Bereitschaft zur Übernahme des Korreferats und für die Koordination der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderte Forschergruppe „Optimierungsstrategien im Organischen Landbau (OSIOL)“ sowie für die Organisation und Durchführung der Versuche im Organischen Landbau.

Ebenso danke ich Herrn Prof. Dr. Erich Christian Oerke ganz herzlich für die freundschaftlichen Diskussionen, vielfältigen Anregungen und Hilfestellungen.

Herrn Dr. Holger Hindorf für die „Einführung in die Mykotoxin-Community“ und seine Unterstützung.

Den Kollegen der DFG-Forschergruppe OSIOL für die gute Zusammenarbeit, viele nützliche Diskussionen, Anregungen und persönliche Begegnungen. Ganzbesonders möchte ich Frau Dr. Barbara Birzele, Herrn Dr. Nils Kühlsen, Dr. Martin Diller, Herrn Dr. Daniel Neuhoff und Herrn Dr. Jons Eisele sowie den Versuchstechnikern Johannes Riebeling und Hennig Siebichteroth danken.

Herrn Prof. Johannes Krämer und seinen Mitarbeitern/innen, Abt. Landwirtschaftliche und Lebensmittel-Mikrobiologie, Institut für Pflanzenkrankheiten, für die erfolgreiche Zusammenarbeit bei der Bestimmung der Deoxynivaleol-Gehalte.

Besonders danke ich Astrid Böhm, Daniel Nicolic und Carmen Müllborn und allen weiteren Landwirtschaftlichen Technischen Assistenten und Studentischen Hilfskräften, die mir vor allem während der Freilandsaison und den Routinearbeiten im Labor tatkräftig zur Seite standen und entscheidend zum Erfolg beigetragen haben.

Für die gute Zusammenarbeit mit der chemischen Industrie gilt Herrn Dr. Blankenagel (Cynamid) mein Dank, insbesondere für die freundliche Unterstützung der Versuche. In gleicher Weise möchte ich mich bei Herrn Dr. Fechner (Bayer AG) für die Hilfe bei der Mykotoxin-Analytik herzlich bedanken.

Ich danke allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts für Pflanzenkrankheiten für die gewährte Unterstützung bei der Durchführung der vorliegenden Arbeit und die angenehme Arbeitsatmosphäre.

Der Deutschen Forschungsgesellschaft für die finanzielle Unterstützung dieser Arbeit im Rahmen der Forschergruppe OSIOl an der Universität Bonn.

