

Institut für Pflanzenkrankheiten der
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

**Auftreten von *Fusarium*-Arten an Winterweizen im Rheinland und Möglichkeiten der
Befallskontrolle unter besonderer Berücksichtigung der Weizensorte**

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Grades
Doktor der Agrarwissenschaften
(Dr. agr.)

der

Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Bonn

vorgelegt am 27.11.2002
von Dipl. Agr. Biol. Kerstin Lienemann
aus Marl

Abkürzungen

°C	Grad Celsius
a.i.	Wirkstoff (<u>a</u> ctive <u>i</u> ngredient)
A-DON	acetyliertes Deoxynivalenol
AHL	Ammonium-Harnstoff-Lösung
B ²	Bestimmtheitsmaß
BBCH	Entwicklungsstadium der Pflanze
BHK	Befallshäufigkeit
BSA	Bundessortenamt
demin.	demineralisiert
DON	Deoxynivalenol
dpi	Tage nach der Inokulation (<u>d</u> ays <u>p</u> ast <u>i</u> noculation)
dt	Dezitonne (100 kg)
D-Wert	Wert für die Ährendichte
F	Fahnenblatt
g	Gramm
h	Stunden
ha	Hektar
hpi	Stunden nach der Inokulation (<u>h</u> ours <u>p</u> ast <u>i</u> noculation)
kg	Kilogramm
l	Liter
min	Minuten
MW	Mittelwert
n	Anzahl Wiederholungen
N	Stickstoff
n.s.	nicht signifikant
NIV	Nivalenol
PDA	Potato-Dextrose-Agar
r	Korrelationskoeffizient nach Pearson
rel. LF	relative Luftfeuchtigkeit
s	Standardabweichung
SNA	synthetisch nährstoffarmer Agar
SNK-Test	Student-Newman-Keul Test
TKG	Tausendkorngewicht
TS	Trockensubstanz
U	Umdrehungen
WG	Wintergerste
WW	Winterweizen
ZR	Zuckerrübe

Abkürzungen *Fusarium*-Arten

FSPP total	Befall <i>Fusarium</i> species insgesamt
FAV	<i>F. avenaceum</i>
FCER	<i>F. cerealis</i>
FCU	<i>F. culmorum</i>
FEQ	<i>F. equiseti</i>
FGR	<i>F. graminearum</i>
FPO	<i>F. poae</i>
FSPO	<i>F. sporotrichioides</i>
FSPP	<i>Fusarium</i> spp.
FTRI	<i>F. tricinctum</i>

ABSTRACT

Kerstin Lienemann

Auftreten von *Fusarium*-Arten an Winterweizen im Rheinland und Möglichkeiten der Befallskontrolle unter besonderer Berücksichtigung der Weizensorte

In den Jahren 1998 – 2000 traten im konventionellen und ökologischen Weizenanbau Ährenfusariosen in Abhängigkeit von Jahr, Witterung, Standort und Weizensorte in erheblichem Maße auf. Der Kornbefall mit *Fusarium* spp. war in den Jahren 1999 und 2000 mit 18 – 20 % dreimal so hoch wie im Jahr 1998, das Auftreten von *Microdochium nivale* war dagegen nur 1998 von Bedeutung. Auch bei gleicher Bodenbearbeitung und Vorfrucht variierte der Kornbefall standortbedingt erheblich, ebenso die Zusammensetzung des Spektrums von *Fusarium*-Arten. *F. avenaceum* und *F. culmorum* dominierten dabei an den Körnern, *F. graminearum* und *F. poae* traten weniger häufig auf. Einige *Fusarium*-Arten wurden durch verschiedene Vorfrüchte wie Winterweizen oder Zuckerrübe in ihrem Auftreten gefördert, nicht jedoch durch eine konservierende Bodenbearbeitung. Die Infektion der Ähre erfolgte nach sukzessiver und zumeist symptomfreier Besiedlung der Blattetage; dies war für alle *Fusarium*-Arten mit Ausnahme von *F. graminearum* und *F. poae* von Bedeutung. *F. culmorum* kann sich auf Grund seiner Flexibilität am besten an die verschiedenen Wachstumsbedingungen im Rheinland anpassen. Das Auftreten von *F. avenaceum* und *F. culmorum* beruhte eher auf antagonistischen Wechselwirkungen, während die Wachstumsansprüche von *F. avenaceum* und *F. tricinatum* offensichtlich sehr ähnlich sind.

Die Sorten `Charger`, `Bandit`, `Rialto` und `Haven` waren unter Freilandbedingungen im dreijährigen Vergleich am anfälligsten gegenüber Ährenfusariosen, `Hybnos`, `Convent` und `Residence` erwiesen sich als wenig anfällig. Die geringe Anfälligkeit der Sorten `Kanzler` und `Ludwig` beruhte auf ihrem hohen Wuchs, während die ebenfalls langstrohige Sorte `Atlantis` auch nach einer Inokulation der Ähre einen relativ geringen Kornbefall aufwies. Die Genotypen `Bandit`, `FR 444/06` und `Hanseat` erwiesen sich als sehr anfällig gegenüber Ährenfusariosen; die Zuchtlinie `FR 444/06` fiel jedoch durch gute Erträge trotz eines starken Befalls auf. Pflanzenmorphologische Ursache einer Resistenzprägung war die Pflanzenlänge ($r = -0,66$), nicht jedoch die Ährendichte. Ein kurzer Abstand Fahnenblatt – Ähre wirkte sich bei erektophiler Fahnenblattstellung befallsfördernd aus.

Eine Blattbehandlung mit Fungiziden führte in ca. 40% der Versuche zu einer deutlichen Befallszunahme der Körner mit *Fusarium*-Arten und in einigen Fällen auch zu einer Zunahme der Mykotoxinbelastung der Körner. Eine Ährenbehandlung mit den Azolen Metconazol und Tebuconazol reduzierte nur in knapp 40% aller Versuche den Kornbefall mit *Fusarium* spp. signifikant. Die Azole wiesen gegenüber den *Fusarium*-Arten eine selektive Wirkung auf.

ABSTRACT

Kerstin Lienemann

Incidence of *Fusarium* species in winter wheat in the Rhineland and possibilities of control with special reference to wheat cultivar

In 1998 – 2000 incidence of *Fusarium* head blight (FHB) in integrated and organic farming considerably depended on year, weather conditions, location and wheat cultivar. In 1999 and 2000 infection rate of kernels by *Fusarium* spp. was three times higher (18 – 20%) than in 1998, the incidence of *Microdochium nivale* was significant only in 1998. Despite same tillage system and previous crop, kernel infection varied considerably with location, similar as the composition of *Fusarium* species. *F. avenaceum* and *F. culmorum* prevailed on the kernels harvested, whereas infections with *F. graminearum* and *F. poae* occurred less frequently. Incidence of some *Fusarium* species was promoted by previous crops as winter wheat or sugar beet, but not by minimum tillage. Because of its ecological flexibility *F. culmorum* seems to be highly adapted to growth conditions in the Rhineland. Similar demands on growing conditions can be obviously assumed for *F. avenaceum* and *F. tricinctum* while infection levels of *F. avenaceum* and *F. culmorum* indicated antagonistic interactions. Ear infection occurred by successive – and symptomless – infection of the leaf levels, which was important for all *Fusarium* species except *F. graminearum* and *F. poae*.

In a three years trial under field conditions `Charger`, `Bandit`, `Rialto` and `Haven` showed high susceptibility to FHB, `Hybnos`, `Convent` and `Residence` were least susceptible. Low susceptibility of cultivar `Atlantis`, `Kanzler` and `Ludwig` was due to plant height, whereas kernels of `Atlantis` had a low infection rate additional when inoculation was done at anthesis. Genotypes `Bandit`, `FR 444/06` and `Hanseat` showed also high susceptibility to FHB but it was remarkable that the breeding line `FR 444/06` gave high yields despite of high infection level. The morphological resistance mechanism was plant height ($r = -0,66$), in contrast to spikelet density within the ear. A short distance between flag leaf and ear and an erectophile leaf position at the same time promoted ear infection.

Fungicide treatment of wheat leaves resulted in a significant increase in kernel infection by *Fusarium* spp. in 40% of trials. In some cases also mycotoxin content of the kernels was increased. Ear treatment with the azoles metconazole or tebuconazole resulted only in 40% of the experiments in a significant decrease in the incidence of *Fusarium* infection of the kernels harvested. There was a selective effectiveness of the tested azoles against the occurring *Fusarium* species.

1	EINLEITUNG	1
2	MATERIAL UND METHODEN	11
	2.1 Organismen	11
	2.1.1 Mikroorganismen	11
	2.1.2 Pflanzen	12
	2.2 Kultivierung und Inokulation der <i>Fusarium</i>-Arten	15
	2.2.1 Kulturmedien	15
	2.2.2 Dauerkulturen	16
	2.2.3 Herstellen des Inokulums	16
	2.2.4 Inokulationsverfahren	18
	2.2.4.1 Inokulation mit bewachsenen Körnern	18
	2.2.4.2 Sprühinokulation	18
	2.3 Pflanzenanzucht	18
	2.3.1 Saatgutbehandlung	18
	2.3.2 Anzucht unter kontrollierten Bedingungen	19
	2.4 Befallsbestimmung	19
	2.4.1 Optische Bonitur	19
	2.4.2 Erfassung der Befallshäufigkeit an den Pflanzenteilen	19
	2.4.3 Erfassung des Inokulumpotentials auf dem Blatt	20
	2.4.4 Identifizierung der <i>Fusarium</i> -Arten	20
	2.5 Nachweis von Mykotoxinen	21
	2.5.1 Probennahme	21
	2.5.2 Probenaufarbeitung	21
	2.5.3 Hochleistungsflüssigkeits-Chromatographie (HPLC)	22
	2.6 Versuchsanlage unter kontrollierten Bedingungen	23
	2.7 Versuchsanlage im Freiland	24
	2.7.1 Sortenversuche im konventionellen Anbau	24
	2.7.1.1 Standorte	24
	2.7.1.2 Sorten	24
	2.7.1.3 Anbauintensität	27
	2.7.1.4 Niederschlag	27
	2.7.1.5 Inokulation	27
	2.7.1.6 Versuchsanlage	30

2.7.2	Sortenversuche im ökologischen Anbau.....	30
2.7.2.1	Standorte.....	30
2.7.2.2	Sorten.....	30
2.7.2.3	Versuchsanlage	30
2.7.3	Bekämpfungsversuche.....	30
2.7.3.1	Standorte und Sorten	33
2.7.3.2	Fungizide.....	33
2.7.3.3	Versuchsanlage	34
2.7.4	Erfassung der Ertragsparameter.....	36
2.7.5	Erfassung der morphologischen Eigenschaften.....	37
2.8	Statistische Auswertung.....	37
3	ERGEBNISSE	39
3.1	Auftreten von <i>Fusarium</i>-Arten und <i>Microdochium nivale</i> an Weizen.....	39
3.1.1	Befall im konventionellen Anbau	40
3.1.1.1	Versuchsjahr 1998	40
3.1.1.2	Versuchsjahr 1999	42
3.1.1.3	Versuchsjahr 2000	43
3.1.2	Befall im ökologischen Anbau	43
3.1.2.1	Winterweizen.....	43
3.1.2.2	Sommerweizen	46
3.1.3	Vergleich ökologischer und konventioneller Anbau	48
3.1.4	Spektrum der im Rheinland erfassten <i>Fusarium</i> -Arten	49
3.1.4.1	Artenspektrum 1998 - 2000.....	49
3.1.4.2	Korrelationen im Artenspektrum.....	50
3.1.4.3	Einfluss der Vorfrucht.....	52
3.1.4.4	Standorteinfluss	52
3.2	Befallsverlauf von <i>Fusarium</i> spp. an Weizen	53
3.2.1	Ausbreitung auf der Pflanze.....	53
3.2.1.1	Sporendichte auf der Blattoberfläche.....	54
3.2.1.2	Infektion des Blattes mit <i>Fusarium</i> -Arten	55
3.3	Einfluss der Umweltfaktoren	61
3.3.1	Niederschlag	61
3.4	Einfluss pflanzenbaulicher Parameter	64
3.4.1	Anbauintensität	64

3.4.2	Saatdichte	66
3.4.3	Einfluss des Pflanzenphänotyps	67
3.4.3.1	Pflanzenlänge und Abstand Fahnenblatt-Ähre	67
3.4.3.2	Ährendichte	68
3.4.3.3	Fahnenblattstellung	69
3.5	Einfluss des Genotyps	70
3.5.1	Vergleich unter Praxisbedingungen	70
3.5.2	Vergleich unter Inokulationsbedingungen	72
3.5.2.1	Symptomausprägung an der Ähre	72
3.5.2.2	Toxingehalt der Weizenkörner	77
3.5.3	Einfluss auf Ertragsparameter	81
3.5.3.1	Tausendkorngewicht	81
3.5.3.2	Flächenertrag	82
3.5.3.3	Einfluss der <i>Fusarium</i> -Art auf Ertragsparameter	84
3.6	Einfluss einer Fungizidbehandlung	85
3.6.1	Wirkungsgrad der Fungizide	86
3.6.2	Toxingehalte	90
4	DISKUSSION	93
5	ZUSAMMENFASSUNG	FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT.
6	LITERATURVERZEICHNIS	FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT.
7	ANHANG	143

1 Einleitung

Pilze der Gattung *Fusarium* gehören weltweit zu den wichtigsten Schadpilzen im Getreideanbau. Bis zu 17 *Fusarium*-Arten, im Allgemeinen unter dem Begriff der Ährenfusariosen zusammengefasst, gelten als pflanzenpathogen und zusätzlich auch *Microdochium nivale*, welcher taxonomisch von der Gattung *Fusarium* abgegrenzt wurde (PARRY *et al.* 1995) (Tab. 1). Die Pilze sind ubiquitär vorhanden und haben ein sehr breites Wirtsspektrum. Die Ährenfusariosen sind an Weizen, Gerste, Roggen, Triticale, Hafer und Mais bedeutende Schaderreger. Von allen Getreidearten ist der Weizen jedoch besonders anfällig gegenüber den Ährenfusariosen (LEPSCHY 1992). Diese können bedeutende Ertrags- und Qualitätsverluste beim Ernteprodukt Korn verursachen. Eine für die

Tab. 1: Im Getreideanbau weltweit auftretende *Fusarium*-Arten (Nebenfruchtform) und *Microdochium nivale* sowie deren Hauptfruchtformen (BACKHOUSE *et al.* 2001, NELSON *et al.* 1983, PARRY *et al.* 1995).

Anamorph	Teleomorph
<i>Fusarium acuminatum</i> Ellis & Everhart	<i>Gibberella acuminata</i> Booth
<i>Fusarium avenaceum</i> (Corda ex Fr.) Sacc.	<i>Gibberella avenacea</i> R. J. Cook
<i>Fusarium cerealis</i> (Cooke) Sacc.	unbekannt
<i>Fusarium chlamydosporum</i> Wollenw. & Reinking	unbekannt
<i>Fusarium compactum</i> (Wolllenw.) Gordon	unbekannt
<i>Fusarium culmorum</i> (W.G. Smith)	unbekannt
<i>Fusarium equiseti</i> (Corda) Sacc.	<i>Gibberella intricans</i> Wollenw.
<i>Fusarium graminearum</i> Schwabe	<i>Gibberella zeae</i> (Schw.) Petch
<i>Fusarium lateritium</i> Nees	<i>Gibberella baccata</i> (Wallr.) Sacc.
<i>Fusarium merismoides</i> Corda	unbekannt
<i>Fusarium moniliforme</i> Sheldon	<i>Gibberella monilliformis</i> Wineland
<i>Fusarium oxysporum</i> Schlecht. ex Fr.	unbekannt
<i>Fusarium poae</i> (Peck) Wollenw.	unbekannt
<i>Fusarium proliferatum</i> (Mats.) Nirenberg	unbekannt
<i>Fusarium sambucinum</i> Fuckel	<i>Gibberella pulicaris</i> (Fr.) Sacc.
<i>Fusarium solani</i> (Mart.) Appel & Wollenw.	<i>Nectria haematocca</i> Berk & Br.
<i>Fusarium sporotrichioides</i> Sherb.	unbekannt
<i>Fusarium subglutinans</i> (Wollenw. & Reinking) Nelson, Tousson & Marasas	<i>Gibberella subglutinans</i> (Edwards) Nelson, Tousson & Marasas
<i>Fusarium tricinctum</i> (Corda) Sacc.	<i>Gibberella tricincta</i> El-Gholl, McRit, Schoult. & Rid.
<i>Microdochium nivale</i> (Fr.) Samuels & Hallett	<i>Monographella nivalis</i> (Schaffn.) E. Müller

Entwicklung des Schaderregers günstige kühl-feuchte Witterung zur Weizenblüte löste weltweit immer wieder Fusarien-Epidemien mit teilweise sehr hohen Ertrags- und Qualitätsverlusten aus. Sogenannte *Fusarium*-Jahre traten 1980, 1993 und 1994 in Kanada und in den USA auf (MCMULLEN *et al.* 1997, SUTTON 1982). Über ein außergewöhnlich starkes Auftreten wird auch in den Jahren 1985 und 1986 in Südafrika oder im Jahr 1993 in Argentinien berichtet (BOSHOFF *et al.* 1999, DALCERO *et al.* 1997). Im Jahr 1993 verursachte eine *Fusarium*-Epidemie im Weizenanbau in Nordamerika und Manitoba Ertragsausfälle von 704 Millionen US\$ (MCMULLEN *et al.* 1997). In Deutschland führten überdurchschnittlich hohe Niederschläge in den Sommermonaten der Jahre 1981, 1987, 1991, 1992 und 1998 zu einem starken Auftreten von Ährenfusariosen (AHRENS & FEHRMANN 1984, MATTHIES *et al.* 2000, MÜLLER *et al.* 1997, OBST *et al.* 1990). Mahl- und Backqualitäten ändern sich bei *Fusarium*-befallenen Getreide, da der Pilz Stärkegranulat, Zellwände und Proteine des Endosperms zerstört (BECHTEL *et al.* 1985, DEXTER *et al.* 1996, NIGHTINGALE *et al.* 1999). Die Auflauftrate infizierter Getreidekörner ist reduziert und das Erntegut ist mykotoxinbelastet (CHELKOWSKI & PERKOWSKI 1992, GILBERT & TEKAUZ 1995, LEPSCHY 1992).

Das an einem Standort vorhandene Artenspektrum setzt sich in Abhängigkeit von orts- und jahresspezifischen Faktoren aus unterschiedlichen *Fusarium*-Arten zusammen. OBST & FUCHS (2000) stellen fest, dass *F. graminearum* der häufigste Erreger von Ährenfusariosen in Nord-, Mittel- und Süddeutschland ist. MIELKE & MEYER (1990) beschrieben aber auch eine starke Ausbreitung von *F. culmorum* in Deutschland seit Mitte der achtziger Jahre. ELLNER (2000) fand in seinen Untersuchungen jedoch nur einen Anteil von 6% *F. culmorum* am Gesamtaufreten der *Fusarium*-Arten im Jahr 1999. Untersuchungen von SCHÜTZE (1999) wiesen auf ein starkes Auftreten von *F. avenaceum* und *F. poae* im Rheinland hin. Ein Vergleich mit den Nachbarländern zeigt, dass in den Niederlanden der Ährenbefall an Weizen hauptsächlich durch *F. culmorum* und in einem geringeren Ausmaß von *F. graminearum* verursacht wurde (SNIJDERS & PERKOWSKI 1990). In Großbritannien traten *F. avenaceum* und *F. culmorum* als vorherrschende Arten auf (PARRY 1990). Aus den nördlichen Ländern Dänemark und Norwegen ist bekannt, dass neben *F. avenaceum*, *F. poae* und *F. culmorum* auch häufig *F. tricinctum* an den Körnern vorgefunden wurde (LANGSETH *et al.* 1999, THRANE 2000). In Polen isolierten MANKA *et al.* (1985) in abnehmender Häufigkeit *F. culmorum*, *F. avenaceum* und *M. nivale* von Körnern, verrotteten Pflanzenstängeln und Wurzeln von Getreidepflanzen. Aus Österreich wird über einen hohen Anteil von *F. poae*, *F. avenaceum* und *F. graminearum* an der Zusammensetzung der *Fusarium*-Flora an Weizen berichtet (ADLER *et al.* 1990). Generell dominieren *F. culmorum* und *F. avenaceum* in kühleren Klimaten mit Temperaturen im Jahresmittel von 5 – 15°C

während für *F. graminearum* eine durchschnittliche Temperatur von 16°C genannt wird (ABBAS *et al.* 1987, BURGESS *et al.* 1988, LACEY *et al.* 1999, OBST & BECHTEL 2000).

Die Infektion der Pilze verläuft über am Boden vorhandenes Inokulum, welches den Winter über als saprophytisches Myzel oder als dickwandige Dauerspore (Chlamyospore) auf Pflanzenrückständen wie z.B. Stoppelresten überdauert. *Fusarium* spp. und *M. nivale* können alle Teile der Pflanze befallen, weshalb bereits im Herbst eine Infektion der Keimlinge erfolgen kann. Die Ausbreitung im Bestand erfolgt jedoch erst im Frühjahr, wenn bei entsprechender Witterung, genügend Feuchtigkeit und wärmeren Temperaturen die Reproduktion der Pilze einsetzt. Da von den meisten *Fusarium*-Arten nur die Nebenfruchtform, oft ist eine Hauptfruchtform auch nicht bekannt, als pathogen an Winterweizen beschrieben wird, geht die Infektion der Weizenpflanzen über vegetativ gebildete Konidiosporen vonstatten. Die einzige nachweisliche *Fusarium*-Art, welche sich hauptsächlich über die Bildung von Ascosporen ausbreitet, ist *F. graminearum*. Die Ascosporen werden in Fruchtkörpern, den Perithezien der Hauptfruchtform *Gibberella zeae* produziert und bei Niederschlagsmengen von mindestens 4 mm aus den Ascischläuchen ausgeschleudert und können die Ähren direkt infizieren (MAULER-MACHNIK & SUTY 1997, OBST & BECHTEL 2000). Erfolgt eine Infektion jedoch mit vegetativ gebildeten Konidiosporen, wie es bei den meisten *Fusarium*-Arten der Fall ist, so verläuft diese sukzessiv über die Blattetagen (ADOLF 1998). Für die Sporenverbreitung ist Niederschlag wichtig, da diese durch Spritzwasser auf höhere Blattetagen transportiert werden (JENKINSEN & PARRY 1994). Die Infektion der Weizenähre kann vom Ährenschieben bis zur Teigreife erfolgen, das anfälligste Stadium ist jedoch die Weizenblüte (BAI & SHANER 1996, DIEHL & FEHRMANN 1989, LACEY *et al.* 1999, MCMULLEN *et al.* 1997, PARRY *et al.* 1995, SCHROEDER & CHRISTENSEN 1963, SUTTON 1982). Eine bevorzugte oder fördernde Besiedlung durch heraushängende, abgeblühte Antheren wurde vermutet, konnte jedoch nicht bestätigt werden (DICKSON *et al.* 1921, KANG *et al.* 2001, STRANGE & SMITH 1971). Eine systemische Infektion der Ähre durch Befall von Blättern und Halm wird dagegen ausgeschlossen (ADOLF 1998, DUBEN & FEHRMANN 1980, SNIJDERS 1990a).

Als weitere Inokulumquelle im Vegetationsverlauf werden von MEIER *et al.* (2001) Ungräser und dort im besonderen das Klettenlabkraut genannt, welches teilweise stärker mit *Fusarium* spp. befallen war als das umgebende Getreide. Auch werden Insekten als mögliche Inokulumquelle diskutiert. MONGRAIN *et al.* (2000) setzte Weizenpflanzen mit *F. graminearum* inokulierte Weizenmücken aus und stellte fest, dass diese anschließend einen Kornbefall von 29% mit dieser *Fusarium*-Art aufwiesen, während Kontrollpflanzen unbefallen blieben. STURZ & JOHNSON (1983) beobachteten im Feld ein gleichzeitig

starkes Auftreten von Thripsen (*Lemothrips denticornis*) an Gerstenähren, die mit *F. poae* infiziert waren. Aber auch von anderen Insekten, wie *Musca domestica* (Hausfliege), *Melanoplus bivittatus* (Grashüpfer) oder *Glischrochilus quadrisignatus* konnten *Fusarium*-Sporen unterschiedlicher Arten isoliert werden (GORDON 1959, WINDELS *et al.* 1976). Wie MÜLLER *et al.* (1998) und LANGSETH *et al.* (1995) bereits vermuteten, ist das Artenspektrum von *Fusarium* spp. vom Standort und jahresklimatischen Einflüssen abhängig. Es ist somit wichtig, Daten über potentielle Inokulumquellen ebenso wie über die weitere Epidemiologie der Erregerpopulation für die Anbauregion Rheinland zu erfassen.

Fusarium spp. und *M. nivale* leben saprophytisch und benötigen für die Besiedlung von Blatt und Ähre nach dem derzeitigen Kenntnisstand „Eintrittspforten“ wie Gewebeschädigungen durch andere Pilze oder Insekten (DIEHL & FEHRMANN 1989). Kann der Pilz ein Ährchen erfolgreich infizieren, so wächst er inter- und intrazellulär in der Deckspelze, dem Korn und in der Spindel (KANG & BUCHENAUER 1999, SCHROEDER & CHRISTENSENS 1963). Die Pilze besiedeln das parenchymatische und vaskuläre Pflanzengewebe (KANG & BUCHENAUER 1999). Dringt das Hyphenwachstum bis in die Leitbündelgefäße der Spindel vor, so führt dies zu einer Reduktion oder Unterbindung des Nährstoff- und Wassertransportes in der Ähre. Als Folge davon ist ein Ausbleichen der Ährchen zu beobachten, die sich oberhalb des infizierten Ährchens befinden. Es kommt entweder zur Ausbildung von Kümmerkörnern in diesen oder es bildet sich gar kein Korn aus. Dieses Symptom wird als „partielle Taubährigkeit“ beschrieben (SNIJDERS & KRECHTING 1992). Die ausgebleichenen Ährchen müssen dabei nicht zwangsläufig mit dem Pilz infiziert sein. Durch systemisches Wachstum innerhalb der Ähre kann der Pilz jedoch basi- und akropetal vom befallenen Ährchen ausgehend weitere Ährchen infizieren (KANG & BUCHENAUER 1999, RIBICHICH *et al.* 2000).

Die Mykotoxinbelastung des Weizens wird durch *Fusarium* spp., nicht jedoch durch *M. nivale* verursacht. Pilze der Gattung *Fusarium* produzieren eine Vielzahl von Sekundärmetaboliten. Diese sind im Allgemeinen nicht-essentielle Stoffwechselprodukte des Primärstoffwechsels der Mikroorganismen. Sie enthalten eine Vielzahl von Gruppen zu denen Pigmente, Antibiotika, volatile Verbindungen, extrazelluläre Proteine und auch Mykotoxine gerechnet werden (THRANE 2001). Dabei ist eine scharfe Trennung zwischen den Gruppen oft nicht möglich. *F. culmorum* und *F. graminearum* bilden Trichothecene und Zearalenon (ZEA). Bei den Trichothecenen wird nochmals unterschieden zwischen dem A-Typ, zu dem das HT-2 Toxin, das T-2 Toxin und das Diacetoxyscirpenol gehören und dem B-Typ mit den Toxinen Deoxynivalenol (DON) und Nivalenol (NIV) sowie deren acetylierte Derivate. *F. culmorum* und *F. graminearum* bilden die Trichothecene des B-Typs, während *F. graminearum*

zusätzlich auch die Bildung des HT-2 Toxins zugeschrieben wird. ZEA und Fusarin C werden wiederum von beiden *Fusarium*-Arten produziert (MARASAS *et al.* 1984, MILLER *et al.* 1991). Besonders DON und ZEA, aber auch NIV gehören zu den sogenannten „Leittoxinen“, da sie bei der üblichen Toxinanalyse von Rohweizen oder Weizenprodukten berücksichtigt und erfasst werden. Von *F. poae* ist die Produktion von Fusarin C, NIV und HT-2 Toxin bekannt, während *F. avenaceum* u.a. Moniliformin, Fusarin C und Antibiotic Y produziert (CHELKOWSKI *et al.* 1990, THRANE 1988). *F. tricinctum* bildet verschiedene sekundäre Metabolite u.a. das Mykotoxin Fusarin C und NIV (LEE & MIROCHA 1984, THRANE 1988).

Die Fähigkeit der Fusarien zur Mykotoxinbildung ist wahrscheinlich kein essentieller Faktor für die Pathogenese dieser Mikroorganismen sondern ein Virulenzfaktor (DESJARDIN *et al.* 1996, MANKA *et al.* 1985). Über die biochemische Wirkungsweise der Mykotoxine ist bekannt, dass die Trichothecene sich in den Pflanzenzellen an die Ribosome haften und die Protein-Biosynthese hemmen (MILLER & EWAN 1997). KANG & BUCHENAUER (1999) vermuteten, dass die Trichothecene dadurch auch Abwehrreaktionen der pflanzlichen Zellen unterdrücken können.

In Deutschland liegen z. Zt. keine detaillierten Zahlen über Verluste in der Schweinemast bzw. -zucht, verursacht durch DON-belastetes Futter, vor. Der Aspekt „Futterqualität“ ist jedoch sehr bedeutend. Bei Schweinen führt eine geringe Aufnahme von 0,3 mg DON pro kg Futter bereits zu einer reduzierten Futteraufnahme und zu Gewichtsverlusten (LACEY *et al.* 1999). Auch löst DON-belastetes Futter ein Erbrechen der Tiere aus, was diesem Toxin im Englischen den Namen Vomitoxin gab. Im Vergleich dazu sind die Derivate 3- und 15-A-DON zweimal so toxisch und NIV sogar 10-mal so toxisch gegenüber Mensch und Tier wie das DON (JOFFE 1986). Einigen Trichothecenen wie dem DON und dem T-2 Toxin werden auch immunsuppressive Wirkungen zugeschrieben (PESTKA & BONDY 1994). Andere Mykotoxine wie das ZEA besitzen östrogene Eigenschaften, welche bei Schweinen bei einer Aufnahme von 0,02 mg pro kg Körpergewicht bereits Fruchtbarkeitsstörungen und ein Anschwellen der Vulva auslösten (MIROCHA *et al.* 1977). Obwohl Kühe als weniger sensitiv gegenüber ZEA gelten, wurde auch bei ihnen über Fruchtbarkeitsstörungen berichtet (ROTH *et al.* 1990, WEAVER *et al.* 1986). Ein anderes Mykotoxin, das Fumonisin, welches an befallenen Maispflanzen durch *F. verticillioides* produziert wird, wurde als Ursache der Leukoenzephalomalazie beim Pferd (RILEY *et al.* 1998) und des Pulmonalen Ödems bei Schwein vermutet (MATTHIASCHK *et al.* 1999). Moniliformin, gebildet von *F. avenaceum*, besitzt eine ähnlich akute Toxizität wie das DON. Bei Ratten wurde eine LD 50-Wert von 50 mg Moniliformin/kg Körpergewicht festgestellt, während bei Mäusen für DON ein LD 50-Wert von 70 mg/kg Körpergewicht vorlag (MILLER *et al.* 2001, UENO 1985). Obwohl

Moniliformin chronisch verabreicht zur Herzinsuffizienz führen kann (VOSS 1990), wird diesem Toxin im Getreideanbau eine geringe Aufmerksamkeit geschenkt.

Mykotoxikosen sind auch beim Menschen bekannt. T-2 Toxin wird als Auslöser der Alimentären Toxischen Aleukie (ATA) angesehen, eine Krankheit, die in den Jahren 1942 – 1947 in Russland durch Verzehr von *Fusarium*-verseuchten Getreides ausbrach (JOFFE 1971). Toxine von *F. poae* sind wahrscheinlich für die Kashin-Beck-Krankheit verantwortlich, eine chronische Knochen- und Gelenkrankheit, die bei Kindern in Asien auftrat (MARASAS *et al.* 1984). Auch wird über Krebserkrankungen der Speiseröhre nach Aufnahme von *F. moniliforme* belastetem Mais berichtet (SYDENHAM *et al.* 1990). Das Einatmen von toxinbelastetem Getreidestaub kann zu Atemnot und starken Haut- und Schleimhautreizungen führen (PALMGREN *et al.* 1983).

Die Toxinbelastung natürlich kontaminierter Weizenproben variiert sehr stark in Abhängigkeit von Witterung und Standort. So fanden LEPSCHY *et al.* (1989) im Jahr 1987 in bayerischen Ernteproben Belastungen von bis zu 44 mg DON pro kg Weizen. Bei Untersuchungen von Weizenproben in Niedersachsen wurde nach Vorfrucht Mais und direkter Drillsaat DON-Werte von bis zu 16,76 mg/kg bzw. NIV-Werte von 1,34 mg/kg gemessen (WOSNITZA 2000). ELLNER (2001) untersuchte im Jahr 2000 353 Ernteproben aus dem gesamten Bundesgebiet und berichtet über eine DON-Belastung von durchschnittlich 0,63 mg/kg (Median 0,11 mg/kg), über NIV-Gehalte von durchschnittlich 0,18 mg/kg (Median 0,04 mg/kg) und über ZEA-Gehalte von durchschnittlich 42 µg/kg (Median 6 µg/kg).

In der Bundesrepublik Deutschland existieren zum Schutz von Mensch und Tier bis jetzt nur Orientierungswerte für Mykotoxine. Demnach soll im Schweinefutter eine Menge von 1,0 mg DON/kg bzw. 0,05 mg ZEA/kg nicht überschritten werden. Für Rinder und Hühner liegen diese Werte bei 5,0 mg DON/kg bzw. 0,5 mg ZEA/kg (nur Rinder) (ANONYM 2000a). In den Niederlanden bestehen für Rohweizen, die für die Herstellung von Kindernahrung eingesetzt werden, Sicherheitsgrenzwerte von 120 µg DON/kg (PIETERS *et al.* 1999). In Österreich wird für Getreideprodukte ein Grenzwert von 0,5 mg DON/kg vorgeschrieben, Futtergetreide für Wiederkäuer und Geflügel darf maximal 10 mg DON/kg enthalten. In Kanada liegt der Grenzwerte für Futtergetreide bei 1 mg DON/kg für Schweine, Kälber und laktierende Kühe bzw. bei 5 mg DON/kg für Futtergetreide anderer Tiere. In den USA existiert ein Grenzwert von 5 mg DON/kg Futtergetreide, welches bei Schweinen jedoch maximal 20% der Gesamtration ausmachen darf, sodass die Endration nicht stärker als mit 1 mg DON/kg belastet ist. Bei allen anderen Tieren ist in den USA eine Endbelastung von 2 mg DON/kg zugelassen. Für ZEA gibt die Europäische Kommission eine tolerierbare tägliche Aufnahmemengen (TDI – *t*olerable *d*aily *i*ntake) für den menschlichen Verzehr von 0,2 µg/kg

Körpergewicht an. Für DON wurde für den Übergang, bis die Toxizität anderer Trichothecene eingeschätzt ist, ein temporärer TDI-Wert von 1 µg DON/kg Körpergewicht festgelegt (EUROPEAN COMMISSION 1999).

Die Infektion der Weizenpflanze mit *Fusarium* wird sehr stark durch die vorherrschende Witterung beeinflusst. Es stehen jedoch verschiedene pflanzenbauliche Möglichkeiten zu Verfügung, um einer Ähreninfektion vorzubeugen. OBST *et al.* (2000) nennen als wichtigsten potentiellen Risikofaktor für ein erhöhtes Auftreten von *F. graminearum* eine nicht-wendende Bodenbearbeitung nach Vorfrucht Mais. Diese erhöht das DON-Risiko um das vier- bis fünffache gegenüber einer Pflugfurche. Durch das Pflügen werden Pflanzenreste in tiefere Bodenschichten verlagert und dem Pilz dadurch die Nahrungsgrundlage entzogen. Dabei wird dem Körnermais ein noch größeres Risiko zugeschrieben als dem Silomais, da er nicht nur später geerntet wird, sondern auch ein höherer Anteil organischer Bestandteile auf dem Feld verbleibt. Eine erhöhte Stickstoffdüngung der Weizenblätter förderte nach STACK *et al.* (1986) ebenso das Auftreten von Ährenfusariosen. Eine Saatgutbehandlung mit Fungiziden kann Auflaufschäden, welche durch *F. culmorum* und *M. nivale* verursacht werden, reduzieren (KOCH & LEADBEATER 1992). Als vorrangige pflanzenbauliche Maßnahme, um den Ährenbefall zu vermindern bzw. weitgehend zu verhindern bleibt jedoch die Sortenwahl. Obwohl ARTHUR (1891) bereits 1891 genetische Unterschiede in der *Fusarium*-Anfälligkeit von Weizensorten beobachtete, ist bis heute keine vollständig resistente Sorte bekannt. Weltweit wurden Quellen der *Fusarium*-Resistenz gefunden, wie z.B. in der chinesischen Sorte `Sumai #3`, der japanischen Sorte `Nobeoka Bozu` sowie in den Sorten `Frontana` (Brasilien), `Praag 8` (Tschechische Republik), `Arina` (Schweiz) oder `Novokrumka` (Russland) (BUERSTMAYR *et al.* 1996, SNIJDERS 1994). Die Resistenz gegenüber Ährenfusariosen ist polygener Natur, d.h. sie wird durch mehrere Gene kontrolliert (MENTEWAB *et al.* 2000, SNIJDERS 1990b, VAN GINKEL *et al.* 1996). Die Lage der verschiedenen Resistenzgene auf den Weizenchromosomen wurde in resistenten Genotypen untersucht, ist jedoch noch nicht genau geklärt. So fanden BUERSTMAYR *et al.* (1999), dass die Chromosome 5A, 4D, 6B, 6D und 7A verantwortlich sind für die *Fusarium*-Resistenz von Weizen. WALDRON *et al.* (1999) nannten das Chromosom 3B als das Wichtigste für die Resistenzausprägung. YU (1991) konnte die Chromosome 7A, 3B, 5B, 6B und 6D bei dem Genotyp `Pinghujianzimai` mit der *Fusarium*-Resistenz in Verbindung bringen, bei zwei anderen Genotypen jedoch nur die Chromosome 3A bzw. 4D. MENTEWAB *et al.* (2000) berichten über die Lage der Resistenzgene auf den Chromosomen 1B, 4A und 7A. MESTERHAZY (1987) vermutete, dass neben einer allgemeinen Resistenz gegenüber Ährenfusariosen auch noch spezifische Resistenzen in bestimmten Organen oder während eines bestimmten Entwicklungszustandes eine Rolle spielen können. BUERSTMAYR *et al.*

(1999) schlossen aus der Anzahl der Resistenzgene und ihrer chromosomalen Lage, dass es schwierig sei, resistente Sorten und Linien zu screenen. Die klassische Züchtung wurde in den letzten Jahren ergänzt durch unterschiedliche molekularbiologische Methoden. So wurde mit Hilfe von Restriction Fragment Length Polymorphism (RFLP), Amplified Restriction Fragment Polymorphism (AFLP) und auf DNA basierenden PCR-Primern molekulare Marker für die *Fusarium*-Resistenz in Getreide gesucht (BAI *et al.* 1999, BAI 1995).

Die *Fusarium*-Resistenz einer Pflanze wird dabei durch zwei Mechanismen bestimmt: Die aktive Resistenz, welche physiologische Prozesse beinhaltet (CRUTE *et al.* 1985) und die passive Resistenz, die durch morphologische Erscheinungen bedingt wird (WIESE 1985). Bei den physiologischen Prozessen unterscheidet man fünf Resistenztypen. Dazu zählt die Resistenz gegenüber einer Erstinfektion der Ähre (Resistenz-Typ I) und die Resistenz gegenüber dem Pilzwachstum im pflanzlichen Gewebe (Resistenz-Typ II) (SCHROEDER & CHRISTENSEN 1963). Resistenzen des Typs II werden durch wenige Hauptgene kontrolliert (BAI *et al.* 1999). Eine Resistenz gegenüber einer Korninfektion umschreibt den Resistenz-Typ III, während die Toleranz der Pflanze gegenüber hohen DON-Gehalten zum Resistenz-Typ IV gezählt wird (WANG & MILLER 1988). Die Möglichkeit zur Metabolisierung der Mykotoxine in der Ähre bzw. im Korn durch die Pflanze stellt den Resistenz-Typ V dar (MILLER *et al.* 1985, SNIJDERS & PERKOWSKI 1990). Embryonale Kalluskulturen der resistenten Sorte `Frontana` konnten innerhalb von 72 Stunden 18% von ¹⁴C-markiertem DON abbauen, während die anfälligen Sorte `Casavant` lediglich 5% abbaute (MILLER & ARNISON 1986). Die passive Resistenz wird durch pflanzenmorphologische Erscheinungen wie die Pflanzenhöhe, die Ährendichte und die Begrannung der Ähre charakterisiert (MESTERHÁZY 1995).

An wenig anfälligen Pflanzen ruft eine Infektion mit *Fusarium* spp. eine verstärkte Abwehrreaktion der Pflanze hervor. KLECHKOVSKAYA *et al.* (1998) beobachteten an resistenten Sorten eine erhöhte Hydrolaseaktivität an der Penetrationsstelle von *F. graminearum*. Durch die Enzymaktivität wurden Zellulosen und Hemizellulosen verdaut, was zu einem erhöhten Fruktosespiegel führte, der Energie für Abwehrreaktionen wie z.B. die Lignifizierung infizierter Zellen bereitstellte. Dadurch konnte die Invasion des Pilzes begrenzt bzw. unterbunden werden. Diese Autoren beobachteten auch an den Penetrationsstellen resistenter Pflanzen eine Akkumulation von Proteinaseinhibitoren, die eine rasche Neutralisation aktiver pilzlicher Proteinase bewirkten. RIBICHICH *et al.* (2000) konnte in histologischen Studien belegen, dass in der resistenten Sorte `Sumai 3` das Wachstum von *F. graminearum* in die Leitbündelgefäße der Spindel und auch die Ausbildung von Chlorosen und Nekrosen an den Ährchen langsamer vonstatten ging als in der anfälligen

Sorte `Pro INTA Oasis`. Sie führen das auf physikalische Barrieren in der Sorte `Sumai 3` zurück. Eine schnelle lokale Reaktion des infizierten Gewebes, möglicherweise durch Kalloseablagerung, Zellwandverdickung oder Ablagerung amorphen Materials in den Leidbündeln, verzögert die horizontale Ausbreitung des Pilzes (RIBICHICH *et al.* 2000). Möglicherweise ist dies auch die pflanzenphysiologische Ursache einer Ausbreitungsresistenz. PRITSCH *et al.* (2000) zeigen, dass eine sortenabhängige Transkription abwehrrelevanter Gene, welche für Peroxidasen oder PR-Proteine codieren, innerhalb von 48 Stunden nach der Inokulation stattfindet. In der resistenten Sorte `Sumai 3` wurde dementsprechend nach Inokulation mit *F. graminearum* eine stärkere und früher einsetzende Akkumulation von PR-4- und PR-5-Transkripten beobachtet als in der anfälligen Sorte `Wheaton`. In parallel durchgeführten histologischen Studien mit inokulierten Weizenähren konnten diese Autoren jedoch bei diesen zwei Sorten keine Unterschiede in der Besiedlungsgeschwindigkeit oder –stärke feststellen. SNJIDERS (1990a) beobachtete eine genetische Variabilität von Weizensorten in der Resistenz gegenüber dem systemischen Wachstum von *F. culmorum* in Keimlingspflanzen. Diese Resistenz war jedoch nicht mit der Resistenz gegenüber dem Ährenbefall mit *Fusarium* spp. korreliert.

Die derzeit in Deutschland zugelassenen Weizensorten weisen Unterschiede in der Anfälligkeit gegenüber Ährenfusariosen auf. Eine Sortenprüfung erfolgt durch das Bundessortenamt (BSA). Um die *Fusarium*-Anfälligkeit einer Sorte beurteilen zu können, werden Inokulationsversuche mit *F. culmorum* bzw. *F. graminearum* an mehreren Standorten durchgeführt. Nach einer Sprühhinokulation wird mittels visueller Bonitur der prozentuale Anteil ausgebleicher Ährchen bestimmt und eine Einstufung auf einer Skala von 1 bis 9 vorgenommen (1 = resistent, 5 = mittel, 9 = sehr anfällig) (RODEMANN *et al.* 2001). In den letzten Jahrzehnten wurden züchterische Anstrengungen unternommen, um die Sortenresistenzen zu steigern. 1986 wurde die *Fusarium*-Anfälligkeit bei nur 12% aller zugelassenen Weizensorten mit einer Note von 1 – 4 bewertet. Im Jahr 1999 lag dieser Anteil bereits bei 44% (ZIMMERMANN 2000). WOSNITZA (2000) berichtet jedoch, dass bei einigen Sorten Unterschiede auftraten zwischen der Einstufung durch das Bundessortenamt und der von ihr ermittelten Rangordnungszahl für 108 Weizensorten nach einer zweijährigen Feldprüfung. Die Autorin stellte dieses für den Ährenbefall ebenso wie für den DON-Gehalt der Körner fest.

Zur direkten Behandlung *Fusarium*-infizierter Ähren sind Fungizidbehandlungen möglich. Die Anwendung von Azol-Fungiziden wird als effektivste Behandlungsmöglichkeit zur Bekämpfung der Ährenfusariosen beschrieben und unter ihnen haben die Präparate mit den Wirkstoffen Metconazol und Tebuconazol die höchste Wirksamkeit (CARON 1995, JUGNET

& MARQUET 1988, MAULER-MACHNIK & ZAHN 1994, MESTERHÁZY & BARTOK 1996). *In vitro* verursacht Tebuconazol an den Hyphen von *F. culmorum* unregelmäßige Schwellungen und starke Verzweigungen, eine beträchtliche Zellwandverdickung sowie eine verstärkte Septierungen (KANG *et al.* 2001). Weiter schlossen diese Autoren aus Versuchen mit Immunogold-markierten Antiseren gegen DON auf eine toxinreduzierende Wirkung des Tebuconazols. Die Wirkung von Strobilurin-haltigen Fungiziden hat zu sehr widersprüchlichen Untersuchungsergebnissen geführt, da in manchen Fällen von erhöhten DON-Gehalten der Körner durch diese Wirkstoffklasse berichtet wird (DARDIS & WALSH 2000, FORRER *et al.* 2000, OBST & GAMMEL 2000, OLDENBURG *et al.* 2001).

Ziel des Forschungsvorhabens war es den Ährenbefall mit *Fusarium* spp. und *M. nivale* unter Praxisbedingungen des rheinischen Getreideanbaus unter Berücksichtigung der Standortfaktoren wie Witterung, Anbauintensität und Sortenwahl zu untersuchen. Dabei wurde eine differenzierte Betrachtung des Auftretens und der Entwicklung verschiedener *Fusarium*-Arten, welche den Gesamtkomplex `Fusariosen` verursachen, durchgeführt. In mikrobiologischen und mikroskopischen Untersuchungen wurde die Ausbreitung von *Fusarium culmorum*, *F. graminearum*, *F. avenaceum* und *F. poae* sowie anderer Arten an und im Pflanzengewebe erfasst. Der Einfluss einer Beregnung auf die Besiedelung der Ähre wurde untersucht.

Die Wahl der Weizensorte stellt eine wichtige Möglichkeit dar, das Auftreten von Ährenfusariosen und die damit verbundene Mykotoxinbelastung des Erntegutes zu kontrollieren. Hierzu wurde in Sortenversuchen die Anfälligkeit unterschiedlicher Sorten, die auch im rheinischen Anbau von Bedeutung sind, in Abhängigkeit von genotypischen und phänotypischen Sortenmerkmalen untersucht. Inokulationsversuche mit den Erregern sollten die Anfälligkeit der Weizensorten charakterisieren.

Die chemische Bekämpfung wird als weiteres Werkzeug zur Kontrolle der Ährenfusariosen diskutiert. Verschiedene Fungizidstrategien sollten die Wirksamkeit dieser Behandlungen auf den Ährenbefall mit *Fusarium* spp. aufzeigen. Dabei wurden entweder nur Blattbehandlungen mit Strobilurin- und Azol-haltigen Fungiziden oder Blatt- und Ährenbehandlungen, letztere mit Azol-haltigen Fungiziden, durchgeführt. Die Untersuchungen umfassten sieben Standorte und unterschiedlich anfällige Sorten. Um die Praxisnähe zu gewährleisten, wurden die Versuche unter der im Rheinland vorherrschenden Befallssituationen durchgeführt. Die Untersuchungen sollten den Kenntnisstand über die Zusammensetzung des *Fusarium*-Komplexes an Weizen im Rheinland, dessen Variabilität bzw. Möglichkeiten zu seiner Bekämpfung oder Vermeidung erweitern.

2 Material und Methoden

2.1 Organismen

2.1.1 Mikroorganismen

In den Jahren 1998 – 2000 wurden von Weizenkörnern und Pflanzenteilen aus Freilandversuchen verschiedene *Fusarium*-Arten und *Microdochium nivale* isoliert (Tab. 2). Zur gezielten Inokulation der Weizenpflanzen wurden Isolate aus einer Sammlung des Instituts für Pflanzenkrankheiten der Universität Bonn eingesetzt (Tab. 3). Diese Isolate wurden in einer dreijährigen Studie (1995 - 1997) im Rheinland von Weizenkörnern isoliert und charakterisiert. Nach MUTHOMI *et al.* (2000) ist das *F. culmorum*-Isolat C 20 hochvirulent und bildet *in vivo* das Mykotoxin Deoxynivalenol, während das *F. culmorum*-Isolat C 8 als mittel-virulent eingestuft wurde und *in vivo* ausschließlich Nivalenol produziert. Das *F. avenaceum*-Isolat D 5 wurde nach einem Blattpathogenitätstest als moderat virulent eingestuft (SCHÜTZE 1999).

Tab. 2: Von Weizenkörnern isolierte *Fusarium*-Arten (Nebenfruchtform) und *Microdochium nivale* sowie deren Hauptfruchtformen.

Anamorph	Teleomorph
<i>Fusarium avenaceum</i> (Corda ex Fr.) Sacc.	<i>Gibberella avenacea</i> R. J. Cook
<i>Fusarium cerealis</i> (Cooke) Sacc.	unbekannt
<i>Fusarium culmorum</i> (W.G. Smith)	unbekannt
<i>Fusarium equiseti</i> (Corda) Sacc.	<i>Gibberella intricans</i> Wollenw.
<i>Fusarium graminearum</i> Schwabe	<i>Gibberella zeae</i> (Schw.) Petch
<i>Fusarium oxysporum</i> Schlecht. ex Fr.	unbekannt
<i>Fusarium poae</i> (Peck) Wollenw.	unbekannt
<i>Fusarium sporotrichioides</i> Sherb.	unbekannt
<i>Fusarium tricinctum</i> (Corda) Sacc.	<i>Gibberella tricincta</i> El-Guoll, McRit, Schoult. & Rid.
<i>Microdochium nivale</i> (Fr.) Samuels & Hallett	<i>Monographella nivalis</i> (Schaffn.) E. Müller

Tab. 3: Herkunft der *Fusarium* spp.-Isolate, die für die Inokulationsversuche verwendet wurden.

Fusarium-Art	Isolat	Herkunft	Jahr
<i>F. avenaceum</i>	D 5	Blankenheim	1995
<i>F. cerealis</i>	G 20	Kerpen-Buir	1995
<i>F. culmorum</i>	C 8	Kerpen-Buir	1996
<i>F. culmorum</i>	C 20	Kerpen-Buir	1995
<i>F. graminearum</i>	G 8	Bonn	1995
<i>F. poae</i>	B1	Hennef	1995

2.1.2 Pflanzen

Als Pflanzenmaterial für Gewächshaus- und Freilandversuche dienten Winter- und Sommerweizensorten (*Triticum aestivum* L.) mit unterschiedlicher Anfälligkeit gegenüber Ährenfusariosen. In den Landessortenversuchen der Landwirtschaftskammer Rheinland und in Versuchen der Leitbetriebe des ökologischen Landbaus Nordrhein-Westfalen konnte auf ein breites Sortenspektrum zugegriffen werden und die Sorten auf ihre Anfälligkeit gegenüber Ährenfusariosen getestet werden. In eigens dafür angelegten Sortenversuchen auf Flächen der Universität Bonn bzw. in Versuchen unter kontrollierten Bedingungen am Institut für Pflanzenkrankheiten wurden zusätzlich drei Weizenlinien in das Prüfsortiment aufgenommen: Die Weizenlinien `FR 444/06` und `FR 438/143` (Pflanzenzucht Oberlimpurg, Schwäbisch Hall) und `WW 2628` (H. Schweiger & Co. oHG, Feldkirchen). Diese wurden von Züchtern zur Verfügung gestellt und ebenfalls auf ihre Anfälligkeit gegenüber Ährenfusariosen getestet. In Tabelle 4 und 5 sind die pflanzenbaulichen Eigenschaften der Winter- bzw. Sommerweizensorten aufgeführt soweit eine Einstufung durch das Bundessortenamt bzw. die EU vorlag. Die Qualitätsgruppen sind unterteilt in E (Eliteweizen), A (Qualitätsweizen), B (Brotweizen), K (Keksweizen) und C (sonstiger Weizen). Die aufgelisteten Ausprägungen werden mit Noten von 1 – 9 ausgedrückt. Dabei bedeutet 1 eine geringe Ausprägung und 9 eine sehr starke Ausprägung des Merkmals. Eine mittlere Merkmalsausprägung wird durch die Note 5 dargestellt.

Tab. 4: Einstufung verschiedener Sortenausprägungen der verwendeten Winterweizensorten, Auszug aus den „Beschreibenden Sortenlisten“ des Bundessortenamts (ANONYM 1998, 1999 und 2000b) und nach WEINERT (pers. Mitteilung).

	Qualitäts- gruppe	Pflanzen- länge	Lager	Ähren- <i>Fusarium</i>	Kornzahl/ Ähre	TKM	Kornertrag
Aristos	A	6	6	5	3	8	7
Armstrong	- ¹	-	-	-	-	-	-
Asketis	A	6	6	5	4	7	7
Aspirant	A	6	5	4	5	5	7
Astron	A	6	3	5	6	5	5
Atlantis	B	5	3	3	6	5	6
Atoll	A/B	4	7	5	5	6	7
Bandit	B	3	3	7	-	5	8
Batis	A	6	5	4	4	7	7
Bold	B	6	5	3	5	4	6
Borneo	A	5	5	4	5	6	6
Brigadier	C	4	-	6	6	5	-
Bussard	E	7	8	3	4	5	3
Caesar	B	6	6	5	5	6	7
Cardos	A	6	3	4	5	6	5
Charger	B	3	5	8	5	5	8
Complet	A/B	6	4	6	7	6	7
Contra	C	4	4	7	8	4	7
Contur	C/K	5	5	5	-	5	8
Convent	B	3	5	5	5	6	7
Cortez	C	3	4	5	7	3	7
Crousty	-	-	-	-	-	-	-
Dekan	B	4	2	5	8	5	7
Dream	E	6	7	4	8	2	5
Drifter	B	5	4	5	6	7	9
Flair	B	5	4	5	7	5	7
Glockner	E	6	6	4	5	5	4
Greif	B	4	7	4	5	5	6
Habicht	B	3	5	5	5	6	6
Hanseat	A	3	4	8	5	6	6
Haven	C	3	1	5	8	5	8
Hybnos	C	6	5	4	7	5	9
Kanzler	B	6	5	4	6	5	4
Ludwig	A	7	4	4	5	8	6
Mewa	A	6	7	3	4	7	6
Monopol	E	6	4	4	3	5	1

Fortführung Tab. 4:

	Qualitäts- gruppe	Pflanzen- länge	Lager	Ähren- <i>Fusarium</i>	Kornzahl/ Ähre	TKM	Kornertrag
Motiv	B	4	4	5	6	4	6
Optimus ²	-	-	-	-	-	-	-
Ornicar	K/C	4	3	4	5	4	7
Pajero	B	6		3	6	6	-
Pegassos	A	5	6	4	4	7	8
Petrus	A	6	4	2	7	6	6
Previa	C	6	4	4	6	5	7
Reaper	C	3	3	7	7	5	6
Record	C	4	-	8	-	7	-
Renan	A	4	4	3	2	8	3
Residence	B	5	-	4	-	5	-
Rialto	B	5	4	5	7	5	8
Ritmo	B	3	3	7	7	4	7
Semper	B	5	6	4	6	5	7
Shango	-	-	-	-	-	-	-
Soissons	B/A	5	3	5	6	5	5
Tambor	A	6	3	5	7	5	5
Tilburi	B	4	3	6	4	6	7
Toni	A	7	6	4	6	5	6
Toronto	A	5	4	5	5	5	5
Tower	B	5	5	4	6	4	7
Trakos	B	5	-	5	5	6	-
Tremie	C	5	5	7	-	7	6
Versailles	-	-	-	-	-	-	-
Vivant	C	5	4	5	6	5	8
Windsor	C	4	-	5	-	7	-
Winni	B	7	-	4	-	7	-
Xanthos	A	6	4	4	3	7	6
Zentos	E	7	6	4	6	6	5

¹ es liegen keine Daten vor

² in Österreich zugelassen

Tab. 5: Einstufung der verwendeten Sommerweizensorten, Auszug aus den „Beschreibenden Sortenlisten“ des Bundessortenamtes (ANONYM 1998, 1999 und 2000b).

	Qualitäts- gruppe	Pflanzen- länge	Lager	Ähren- <i>Fusarium</i>	Kornzahl/Ä- hre	TKM	Kornertrag
Anemos	E	4	4	4	7	3	6
Combi	E	- ¹	-	-	-	-	-
Devon	A	7	7	5	3	7	6
Fasan	E	8	8	4	7	6	7
Lavett	E	6	4	4	7	3	5
Melon	E	3	4	5	6	4	6
Quattro	A	5	3	5	5	6	6
Star	A	2	7	5	5	6	5
Thasos	E	2	5	4	7	4	5
Tinos	E	4	4	4	7	4	5
Triso	E	5	5	4	5	5	7

¹ es liegen keine Daten vor

2.2 Kultivierung und Inokulation der *Fusarium*-Arten

2.2.1 Kulturmedien

Die aufgeführten Medien wurden bei 121±1°C und 1 bar für 20 min autoklaviert und anschließend in Petrischalen mit einem Durchmesser von 9 cm ausgegossen (20 ml/Platte). Potato-Dextrose-Agar und synthetisch-nährstoffarmer Agar können bei 5°C für ca. eine Woche gelagert werden.

Potato-Dextrose-Agar (PDA)

Potato-Dextrose Agar (Merck)	37 g
Aqua demin.	1 l

Synthetisch nährstoffarmer Agar (SNA, nach NIRENBERG 1976)

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

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

Czapek-Dox-Agar (Merck)	35 g
CuSO ₄ x 5 H ₂ O	0,5 mg
ZnSo ₄ x 7 H ₂ O	10 mg
Chloramphenicol	50 mg
Dicloran (0,2% in Ethanol)	1 ml
Agar-Agar (Roeper)	10 g
Aqua demin.	1 l

Nach dem Autoklavieren wurde der Agar auf 50°C im Wasserbad abgekühlt. Antibiotika und Iprodion wurden separat in handwarmen sterilen Aqua demin. gelöst und anschließend dem Agar zugegeben.

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

Mungbohnen-Medium (MBM, modifiziert nach BAI & SHANER 1996)

Mungbohnen	20 g
Aqua demin.	1 l

Die Mungbohnen wurden für 20 min in Aqua demin. gekocht, über vierlagiges Mulltuch in einen Erlenmeyerkolben abfiltriert und autoklaviert.

2.2.2 Dauerkulturen

Für die Dauerkulturen wurden autoklavierte Schraubdeckelröhrchen zur Hälfte mit PDA gefüllt und in schräger Lage abgekühlt. Um die Virulenz der Isolate zu erhalten, wurde jedes Isolat zusätzlich auf Erde überimpft. Dazu wurden Schraubdeckelröhrchen zur Hälfte mit einem Erdgemisch aus 20% Klassmann Einheitserde, 20% Erde eines C-Horizontes, 20% Sand, 25% Kies (2 - 4 mm) und 15% grob geschroteter Weizenkörner gefüllt und nach Zugabe von 2 ml Aqua demin. dreimal im Abstand von 24 h bei 121±1°C und 1 bar für eine Stunde autoklaviert. Nach dem Beimpfen der Schräg- bzw. Erdröhrchen mit einem Myzelstück des Isolates wurden die Kulturen für einige Tage bei Raumtemperatur angezogen. Die Dauerkulturen waren bei 4°C für 12 Monate lagerfähig.

2.2.3 Herstellen des Inokulums

Für die nachfolgenden Methoden wurden *Fusarium*-Isolate verwendet, die auf PDA angewachsen waren. Nach dem Überimpfen auf die jeweiligen Medien wurden die

Pilzkulturen in allen Fällen in der Klimakammer bei $21\pm 1^\circ\text{C}$ (16 h Licht / 8 h Dunkelheit) unter langwelligem UV-Licht inkubiert. Die Konidiendichte der Suspension wurde mit Hilfe einer Fuchs-Rosenthal-Kammer auf 10^5 Konidien/ml eingestellt. Suspensionen, gewonnen von MBM oder bewachsenen Getreidekörnern, wurden anschließend Tween 80 (0,01%) zugegeben. In den Jahren 2000 und 2001 wurde der Konidien-suspension im Inokulationsversuch in Meckenheim bzw. unter kontrollierten Bedingungen Glucose (0,2%) zugesetzt, um die Sporenkeimung zu verbessern.

Anzucht in Mungbohnen-Medium (MBM)

Mungbohnen-Medium wurde mit einem Korkbohrer-Impfstück (12 mm) eines 14 – 21 Tage alten Isolates beimpft. Es war darauf zu achten, dass das Impfstück neben Myzel Konidien, möglichst Sporodochien, enthielt. Ansonsten bildete sich erfahrungsgemäß nur Myzel in der Kultur und nicht die gewünschten Konidien. Isolatahändig wurden die Kulturen für 2 – 4 Wochen auf einem Magnetrührer (Ikamac RCT) bei mittlerer Stufe inkubiert. Dadurch wurde die Sauerstoffzufuhr gewährleistet und die Konidienproduktion angeregt. Das Flüssigmedium wurde anschließend über vierfaches Mulltuch abfiltriert. Da es sortenspezifisch zu unterschiedlichen Inokulationsterminen der Weizenähren kam, wurde das MB-Medium bis zu seiner Verwendung bei -80°C tiefgefroren. Ein Pathogenitätstest an Blattsegmenten in Feuchteschalen bestätigte die gleichbleibende Aggressivität der Isolate.

Anzucht auf Potato-Dextrose-Agar (PDA)

100 μl einer Konidien suspension wurden mit einer sterilen Eppendorfpipette streifig auf eine PDA-Platte aufgetragen und der Agar dabei leicht angeritzt. Die beimpften Platten wurden unter den oben genannten Bedingungen inkubiert. Isolatahändig dauerte es ca. 3 - 4 Wochen, bis die Pilze Sporodochien ausbildeten. Der bewachsene PDA wurde mit 15 ml Aqua demin. und 0,01% Tween 80 überschichtet. Nach zehn Minuten wurde mit einem Spachtel das *Fusarium*-Myzel mit Konidien abgekratzt und das Pilzmyzel über vierfaches Mulltuch abfiltriert.

Anzucht auf Getreidekörnern

Ungebeizte Weizen- oder Haferkörner wurden über Nacht in Wasser gequollen und konnten anschließend in einem Sieb abtropfen. Je 200 g Körner wurden in autoklavierbaren Polypropylen-Beutel eingeschweißt und bei $121\pm 1^\circ\text{C}$ und 1 bar im Abstand von 24 Stunden zweimal für 20 min autoklaviert. Die Körner in den Beuteln wurden unter sterilen Bedingungen mit einem Impfstück (Korkbohrer \varnothing 20 mm) des jeweiligen Isolates beimpft und für ca. 4 Wochen inkubiert. Für die Anzucht von *F. cerealis* und *F. avenaceum* wurden Weizenkörner, für die Anzucht von *F. culmorum* und *F. poae* Haferkörner verwendet. Alle

2 – 3 Tage wurden die Beutel gut durchgeknetet, um ein Verklumpen der myzelbewachsenen Körner zu verhindern.

2.2.4 Inokulationsverfahren

2.2.4.1 Inokulation mit bewachsenen Körnern

Für eine Mischinokulation verschiedener *Fusarium*-Arten wurden die myzelbewachsenen Körner der jeweiligen *Fusarium*-Arten zu gleichen Teilen zusammengefügt und gut durchgemengt. Die Körner wurden in einer Dichte von 25 g/m² gleichmäßig zwischen den Pflanzenreihen der zu inokulierenden Parzelle verteilt.

2.2.4.2 Sprühinokulation

Sprühinokulation von Pflanzen unter kontrollierten Bedingungen

Die Ähren der Weizenpflanzen wurden zum Zeitpunkt der Vollblüte (BBCH 65) mit Hilfe eines Pumpsprühgerätes inokuliert. Je Topf standen ca. 10 Ähren zur Verfügung, die sich im gewünschten Wachstumsstadium befanden. Diese wurden markiert und gegen Abend mit 25 ml Konidien suspension besprüht. Anschließend wurden die inokulierten Pflanzen einmalig für 12 – 14 h mit Folie abgedeckt, um optimale Inkubationsbedingungen (hohe relative Luftfeuchtigkeit) zu gewähren.

Sprühinokulation von Pflanzen im Freiland

Zur Vollblüte (BBCH 65) wurde die Sporensuspension im Freiland mit einem Pumpsprühgerät mit 800 l/ha auf die Weizenähren ausgebracht. Die Inokulation erfolgte gegen Abend bei mäßigen Temperaturen. Um eine hohe relative Luftfeuchtigkeit zu erhalten und dadurch die Inkubationsbedingungen zu optimieren, wurden die behandelten Parzellen über Nacht für 12 h mit dünner PVC-Folie großflächig abgedeckt. Die Folie wurde an den Parzellenrändern mit Wäscheklammern an den Pflanzen fixiert.

2.3 Pflanzenanzucht

2.3.1 Saatgutbehandlung

Das Saatgut wurde vor der Aussaat mit Arena C[®] (200 ml/100 kg Saatgut, 5 g Tebuconazol/l, 25 g Fluodioxonil/l, Syngenta) gebeizt. Für den ökologischen Anbau wurde zertifiziertes Saatgut verwendet, das unbehandelt ausgesät wurde.

2.3.2 Anzucht unter kontrollierten Bedingungen

Winterweizensorten wurde Anfang März mit einem größeren Anteil Parabraunerde aus Freilandversuchen vom Feld geholt und in 12 l Töpfe umgepflanzt. Die Gefäße wurden zu $\frac{1}{4}$ mit Blähton aufgefüllt und darüber ein 1:1 Substratgemisch aus Klassmann Einheitserde und Erde eines C-Horizontes geschichtet. Pro Topf wurden ca. 15 Pflanzen gesetzt. Diese standen bis zur Inokulation unter einem windgeschützten Offenstand mit einem lichtdurchlässigen Dach. Gedüngt wurden die Pflanzen mit Mehrnährstoffdünger (NPK 12+12+17). Zur Bekämpfung von Echten Mehltau (*Blumeria graminis*) wurden die Pflanzen bei Bedarf mit Gladio® (0,8 l/ha, Tebuconazol 125 g/l, Propiconazol 125 g/l und Fenpropidin 375 g/l, Syngenta) bzw. mit Juwel® (1 l/ha, Epoxiconazol 125 g/l und Kresoxim-methyl 125 g/l, BASF AG) besprüht. Die Pflanzen wurden täglich bewässert.

2.4 Befallsbestimmung

2.4.1 Optische Bonitur

14 Tage nach einer Körner- oder Sprühinokulation des Weizens wurde die Weißährigkeit anhand einer Boniturskala nach DIEHL (1984) erfasst (Tab. 6). Der prozentuale Anteil ausgebleichter Ährchen pro Parzelle (=Wiederholung) wurde geschätzt und je Sorte der mittlere Befallswert aus vier Wiederholungen berechnet.

2.4.2 Erfassung der Befallshäufigkeit an den Pflanzenteilen

Blätter und ganze Ähren wurden während der Vegetationsperiode, Weizenkörner nach der Ernte mit 1,3 %igen Natriumhypochlorid für 2 min oberflächlich desinfiziert und für 2 x 2 min mit Aqua demin. nachgespült. Die auf sterilem Filterpapier abgetrockneten Pflanzenorgane wurden auf CZID-Agar ausgelegt. Zum besseren Fixieren der Pflanzenteile wurden diese in den noch flüssigen Agar gebettet. Von 4 x 10 zufällig entnommenen Pflanzen wurde die Blattbasis (6 cm) der Blattetagen F-5 bis F nach Blattetagen getrennt mit 3 Blättern je Platte auf CZID-Agar ausgelegt. Zur Bestimmung der Befallshäufigkeit der Körner mit *Fusarium* spp. wurden 4 x 50 Weizenkörner je Variante auf CZID-Agar mit jeweils fünf Körnern pro Platte ausgelegt. Die Inkubation erfolgte im Klimaschrank bei $21 \pm 1^\circ\text{C}$ und unter langwelligen UV-Licht. Nach 7 Tagen konnte der Kornbefall mit *Fusarium* spp. und *M. nivale* makroskopisch quantitativ erfasst werden. Charakteristisch für *Fusarium* spp. war das schnellwachsende Myzel sowie der meist rotgefärbte Agar. *M. nivale* konnte identifiziert werden, wenn die CZID-Platten gegen das Licht gehalten wurden. Der Pilz bildet stufig-wachsendes Myzel mit typischen Randstrukturen, welche ihrer Form nach an Schneekristalle erinnern.

Tab. 6: Boniturskala für die Bewertung des Ährenbefalls durch *Fusarium*-Arten nach DIEHL (1984).

Boniturnote	Befall	mittlere Befallsstärke [%]
0	kein Befall	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

2.4.3 Erfassung des Inokulumpotentials auf dem Blatt

Die Anzahl der Konidien pro Blattetage wurde durch Sporenabschwemmung modifiziert nach ODÖRFER (1996) bestimmt. Zu vier Terminen wurden 4 x 10 Pflanzen der Sorte `Ritmo` zufällig einer 3 x 50 m großen Parzelle entnommen. Die grob zerkleinerten Blätter der Blattetagen F-5 bis F aus einer jeden Wiederholung wurden in einen 100 ml Erlenmeyerkolben mit 75 ml Aqua demin. und 0,01% Tween 80 aufgeschwemmt. Manuell zerkleinerte Ähren wurden in 200 ml Erlenmeyerkolben mit 150 ml Aqua demin. (0,01% Tween 80) überführt. Die Pflanzenteile wurden für 30 min bei 150 U/min auf einen Schüttler gestellt und anschließend durch vierfaches Mulltuch abfiltriert und die gewonnene Sporensuspension in einer Beckmann AvantiTM – J25 Zentrifuge (Rotor J-14 bzw. J-25.15) für 3 x 15 min bei 4000 U/min zentrifugiert. Der Überstand wurde nach jedem Zentrifugationsschritt abdekantiert und der Bodensatz jeweils auf 40, 12,5 und 6 ml wieder mit Aqua demin. in den Zentrifugengläsern aufgefüllt. 4 x 100 µl der konzentrierten Suspension wurde auf CZID-Agar ausplattiert. Die Inkubation erfolgte wie unter 2.4.2 beschrieben.

2.4.4 Identifizierung der *Fusarium*-Arten

Auf CZID-Agar gewachsenes *Fusarium*-Myzel aus Körnern oder Pflanzenbestandteilen wurde auf PDA und SNA überimpft und erneut für drei Wochen im Klimaschrank bei 21±1°C und unter langwelligen UV-Licht inkubiert. Die Differenzierung der *Fusarium*-Arten erfolgte mit einem Lichtmikroskop nach NELSON *et al.* (1983). Der nährstoffarme SNA sowie das langwellige UV-Licht fördern die Sporenproduktion. Es bilden sich artspezifische Konidien- und Myzelstrukturen, anhand derer die *Fusarium*-Arten mikroskopisch bestimmt werden

können. Auf PDA bilden die *Fusarium*-Arten ein für ihre Art typisches Myzel, eine charakteristische Agarverfärbungen und gelegentlich auch Sporodochien aus.

2.5 Nachweis von Mykotoxinen

Der Mykotoxinnachweis erfolgte modifiziert nach einer Methode von WALKER & MEIER (1998) und MUTHOMI (2001). Sie ermöglicht den Nachweis der Trichothecen-Mykotoxine des B-Typs Deoxynivalenol (DON), 3-Acetyl-Deoxynivalenol (3-Ac-DON), 15-Acetyl-Deoxynivalenol (15-Ac-DON) und Nivalenol (NIV). Die Nachweisgrenze dieser Methode lag bei 0,1 µg/g.

2.5.1 Probennahme

Von den Freilandversuchen wurde zur Ernte eine Probe von 1 kg Weizen je Parzelle entnommen. Von dieser wurden 200 g Körner zurückgestellt und bis zur Aufarbeitung in Gefrierbeuteln bei -20°C tiefgefroren.

2.5.2 Probenaufarbeitung

Aus vier Wiederholungen einer Variante wurde eine gut durchmischte Probe hergestellt. Vorversuche bestätigten gleiche Toxingehalte bei Messungen von vier Einzelproben im Vergleich zu einer Mischprobe aus diesen vier Einzelproben. Bei jeder Aufarbeitung lief als Referenzmatrix eine Mehlprobe mit bekanntem Mykotoxingehalt mit.

Je Probe wurden 200 g Körner mit einer Getreidemühle zu feinem Mehl vermahlen. Aus den Wiederholungen einer Variante wurde eine homogene Mischprobe hergestellt und 10 g dieser Mischung wurde in eine 250 ml Schottflasche abgewogen. Das Mehl wurde mit 50 ml Extraktionslösung aus Acetonitril und Aqua demin. im Volumenverhältnis 86 : 14 (Acetonitril „HPLC Analyzed“, J.T. Baker, Deventer, NL) aufgefüllt und für 90 min auf einem Schüttler bei 200 U/min extrahiert. Über einen 150 mm Rundfilter (No 595, Schleicher & Schuell) wurde der Extrakt in einen 250 ml Rundkolben filtriert und bei 50°C am Rotationsverdampfer auf ca. 4 ml Restvolumen eingengt. Der Extrakt wurde in 2 ml Extraktionslösung aufgenommen, in ein 10 ml Meßkölbchen überführt und mit Acetonitril bis zur Eichmarke aufgefüllt.

Die Mykotoxinaufreinigung erfolgte durch Festphasenextraktion über eine Kohle-Aluminiumsäule (MycosepTM, Coring System Diagnostix GmbH, Gernsheim). 8 ml des Probenextrakts wurden in nicht weniger als 30 Sekunden über die Säule gedrückt. 4 ml des gereinigten Extraktes wurden in ein Reagenzglas überführt und bei 50°C über N₂ bis zur Trockenheit eingengt. Der Rückstand wurde in 500 µl Acetonitril : Aqua demin. (20:80) resuspendiert, 1 min mit dem Vortex Mixer durchmischt und in 1,5 ml Eppendorfcups

überführt. Die aufgereinigten Extrakte wurden für 4 min bei 14000 U/min zentrifugiert (Beckmann, GS 15R, Rotor F3602). 200 µl des Überstandes wurden in ein Vial mit Einsatz pipettiert und bis zur Messung bei -18°C gelagert.

2.5.3 Hochleistungsflüssigkeits-Chromatographie (HPLC)

Die quantitative Erfassung der Trichothecen-Mykotoxine DON, 3-Ac-DON, 15-Ac-DON und NIV wurde mit einem Hochleistungsflüssigkeits-Chromatographen „HP 1050“ (Hewlett Packard) und integriertem Dioden-Array-Detektor (DAD) durchgeführt. Die mobile Phase bestand aus einem Gemisch von Acetonitril und Aqua demin. im Volumenverhältnis 90 : 10 und aus 100% Aqua demin.. Die stationäre Phase war eine RP-18 LiChrospher® 100 Säule, 125-4, 5 µm (LiChroCART®, Merck, Darmstadt). Der DAD detektierte bei 220 nm und 245 nm, die Flussrate betrug 0,75 ml/min. Alle Parameter wurden während der Messung über die Software HPChem 3.2.1 (Hewlett Packard) gesteuert. Der Gradientenlauf ist in Tabelle 7 aufgeführt.

Tab. 7: Gradientenlauf der HPLC zur Analyse der Trichothecene des B-Typs.

Zeit [min]	Acetonitril/Aqua demin. [%]	Aqua demin [%]
0	5	95
6	20	80
9	40	60
13	95	5
17	95	5
23	5	95
30	5	95

Die folgenden Gleichungen wurden zur Berechnung des effektiven Gewichts und der Toxinkonzentration in der Ausgangsmatrix angewandt.

Berechnung des effektiven Gewichts (EG):

$$EG = E_P / VG_1 \times VG_2$$

E_P - Einwaage der Probe [g]

VG_1 - Volumengewicht der Extraktionslösung [g]

VG_2 - Volumengewicht der Extraktionslösung nach dem Filtrieren [g]

Berechnung der Toxinkonzentration

$$K_P = K_S \times V_S \times F_P \times L \times VF \times WFR / F_S \times V_P \times EG \times 100$$

K_P - Konzentration der Probe [$\mu\text{g/g}$]

K_S - Konzentration des Standards [$\mu\text{g/ml}$]

V_P - Injektionsvolumen der Probe [μl]

V_S - Injektionsvolumen des Standards [μl]

F_P - Integrierte Peakfläche der Probe [mAU]

F_S - Integrierte Peakfläche des Standards [mAU]

L - Menge, in der das eingeengte Toxin gelöst wird [ml]

VF - Verdünnungsfaktor

WFR - Wiederfindungsrate

EG - Effektives Gewicht [g]

2.6 Versuchsanlage unter kontrollierten Bedingungen

Winterweizen der Sorten `Atlantis`, `Bandit`, `Ludwig`, `Kanzler`, `Hanseat` sowie die Linie `FR 444/06` wurden Ende März vom Feld geholt und unter einem windgeschützten Offenstand in Pflanztöpfen bis zur Blüte angezogen. Die Versuche wurden als randomisierte Blockanlage mit vierfacher Wiederholung angelegt.

Versuchsjahr 2000:

Die Weizenähren wurden zwischen dem 22.05. - 26.05. je nach Wachstumsentwicklung der Sorte zu BBCH 65 mit einer Konidiensuspension von *F. avenaceum* (D 5), *F. poae* (B 1) bzw. *F. culmorum* (C 20) sprühhinokuliert. Die Konidiendichte betrug $2,5 \times 10^5$ Konidien/ml (25 ml/Topf).

Versuchsjahr 2001:

Die Weizenähren wurden zwischen dem 05.06 - 07.06. je nach Wachstumsentwicklung der Sorte zu BBCH 65 mit einer Konidiensuspension von *F. avenaceum* (D 5) sprühhinokuliert. Die Inokulation erfolgte gesplittet an zwei aufeinanderfolgenden Tagen mit einer Konidiendichte von 1×10^5 bzw. $1,5 \times 10^5$ Konidien/ml mit 25 ml pro Topf und Spritztermin.

2.7 Versuchsanlage im Freiland

2.7.1 Sortenversuche im konventionellen Anbau

2.7.1.1 Standorte

Die Freilandversuche wurden auf Flächen des Instituts für Pflanzenkrankheiten der Universität Bonn in Hennef und Meckenheim angelegt. Zusätzlich wurde im Jahr 2000 auf der Versuchsfläche der Landwirtschaftskammer Rheinland in Kerpen-Buir ein Versuch integriert. Des Weiteren wurden von der Landwirtschaftskammer Rheinland Ernteproben aus den Landessortenversuchen in Kerpen-Buir (1998 – 2000) und in Neukirchen-Vluyn (2000) für Untersuchungen zur Verfügung gestellt. In Tabelle 8 sind die Versuchstandorte beschrieben.

2.7.1.2 Sorten

In den Jahren 1998 – 2000 wurde das Auftreten von *Fusarium* spp. und *M. nivale* an Winterweizensorten untersucht. In den Jahren 1998 und 1999 wurden in Kerpen-Buir 37 bzw. 29 Weizensorten untersucht, im Jahr 2000 in Neukirchen-Vluyn 28 Sorten und in Kerpen-Buir 5 Sorten. Zudem wurden im Jahr 1999 auf den Versuchsflächen der Universität Bonn in Hennef 12 Winterweizensorten sowie drei Zuchtlinien angebaut. Aus diesem Sortiment wurden unter dem Gesichtspunkt der *Fusarium*-Anfälligkeit 6 Sorten, 3 stark - und 3 wenig anfällige Sorten, ausgewählt und im nachfolgenden Jahr 2000 in Freilandversuchen in Meckenheim und Kerpen-Buir erneut untersucht. In Tabelle 9 sind die Sorten je Versuchsjahr und –standort aufgeführt.

Tab. 8: Standortbeschreibung der Versuchsflächen im konventionellen Anbau in den Jahren 1998 – 2000 nach LICHTENBERG, NAUMANN und WEINERT (pers. Mitteilung).

Standort	Bodenart / Ackerzahl	Höhenlage [üNN]	Niederschläge [mm] ¹	Temperatur [°C] ¹
Hennef	LS / 55	65	720	9,5
Meckenheim	L/uL / 90	140	580	8,5
Neukirchen-Vluyn	- ² / 70	25	737	9,2
Kerpen-Buir	- / 83	80	680	9,5

¹ langjähriges Mittel

² keine Angaben

Tab. 9: Auflistung der Winterweizensorten von Versuchsflächen mit konventioneller Bewirtschaftung an denen das Auftreten von *Fusarium* spp. und *M. nivale* in den Jahren 1998 – 2000 untersucht wurde.

Sorte	Kerpen–Buir			Hennef	Neukirchen-Vluyn	Meckenheim
	1998	1999	2000	1999	2000	2000
Aristos					•	
Armstrong	•					
Asketis	•	•		•		
Aspirant		•		•	•	
Atlantis			• ¹	•		•
Atoll	•	•	•			
Bandit	•	•	• ¹		•	•
Batis					•	
Bold					•	
Borneo	•					
Brigadier	•	•			•	
Caesar	•					
Cardos	•	•				
Charger	•	•			•	
Complet	•	•	•			
Contra						
Contur	•	•			•	
Convent	•	•			•	
Cortez	•	•				
Crousty	•	•				
Dekan					•	
Dream		•		•	•	
Drifter		•			•	
Flair					•	
Glockner				•		
Greif	•	•			•	
Habicht	•	•				
Hanseat	•		• ¹	•		•
Haven	•	•			•	
Hybnos	•	•	•		•	
Kanzler			• ¹	•		•
Ludwig		•	• ¹	•		•
Mewa		•		•		
Motiv				•		

Fortführung Tab. 9:

Sorte	Kerpen–Buir			Hennef	Neukirchen- Vluyn	Meckenheim
	1998	1999	2000	1999	2000	2000
Optimus				•		
Ornicar	•	•	•			
Pajero	•	•			•	
Petrus					•	
Previa	•					
Reaper	•	•			•	
Record	•	•			•	
Renan				•		
Residence	•	•			•	
Rialto	•	•			•	
Ritmo						
Semper	•	•			•	
Shango	•					
Soisson	•					
Tilburi	•	•	•			
Toni	•					
Tower	•					
Trakos	•					
Tremie	•					
Versailles	•					
Vivant	•	•			•	
Windsor	•				•	
FR 444/06			• ¹	•		•
FR 438/13				•		
WW 2828				•		

¹ Sorte wurde nicht im Landessortenversuch, sondern in einem separat angelegten Versuch geprüft.

2.7.1.3 Anbauintensität

Neben dem Einfluss der Sorte sollte auch das Auftreten der Ährenfusariosen an Winterweizen unter verschiedenen Anbaubedingungen geklärt werden. In den Landessortenversuchen 1998 – 2000 in Kerpen-Buir und Neukirchen-Vluyn und in dem Sortenversuch in Hennef 1999 lagen zwei Versuchsglieder vor: Eine intensive Bewirtschaftung wurde mit einer extensiven Bewirtschaftung verglichen. Die Varianten unterschieden sich in der Höhe der Stickstoffgabe, der Anwendung eines Wachstumsregulators und den Fungizidbehandlungen (Tab. 10 und 11).

2.7.1.4 Niederschlag

Im Jahr 2000 wurden in Meckenheim Weizensorten mit einer Überkopfberegnung vom Zeitpunkt der Blüte (29.05.00) bis zum Beginn der Abreife Anfang Juli täglich zwischen 22 – 6 Uhr in sechs Intervallen mit insgesamt 2,4 mm/Nacht beregnet. Die Regner wurden zentral in einer Großparzelle aufgestellt und deckten mit ihrer Bewässerungsweite diese gesamt ab. Es wurden vier Großparzellen angelegt, deren Pflanzen zum einen dem natürlichen Befallsdruck ausgesetzt waren (mit / ohne Beregnung) und zum anderen zu BBCH 65 sprühinokuliert wurden, ebenfalls einmal mit und einmal ohne Beregnung. Die beregneten Parzellen wurden derart gelegt, dass bei Hauptwindrichtung keine Regenabdrift auf die unberegneten Parzellen erfolgte. Die Größe der nicht inokulierten Parzellen betrug 14,4 m², die der inokulierten Parzellen 7,1 m². Daten zur Bestandesführung sind in Tabelle 11 aufgeführt.

2.7.1.5 Inokulation

Im Versuchsjahr 1999 wurden in Hennef 15 Weizengenotypen (siehe Tab. 9) mit *Fusarium*-bewachsenen Körnern oder mit einer Konidiensuspension eines Inokulumgemisches von *F. avenaceum* (Isolat D 5), *F. culmorum* (C 8), *F. cerealis* (G 20) und *F. poae* (B 1) inokuliert. Die Inokulation mit den Körnern erfolgte zu BBCH 30 auf einer 3 m² großen Parzelle. In einem Abstand von 2 m zu den bereits inokulierten Pflanzen, wurden Weizenähren zu BBCH 65, ebenfalls wieder auf einer 3 m² großen Parzelle, sprühinokuliert. Es lag nur eine Wiederholung vor und die Pflanzen waren zuvor mit Wachstumsregulatoren und Fungiziden entsprechend Tabelle 11 behandelt worden.

Da die Weizensorten zu unterschiedlichen Zeitpunkten blühten, fand im Jahr 2000 in Meckenheim die Sprühinokulation der Weizenähren parzellenabhängig je nach Reife der Weizenpflanze zu BBCH 65 zwischen dem 25.05.00 und dem 02.06.00 statt. Die Sprühinokulation erfolgte mit *F. culmorum* (C 20) an sechs Weizensorten (siehe Tab. 9) jeweils auf einer Großparzelle mit bzw. ohne Beregnung.

Tab. 10: Beschreibung der Landessortenversuche mit Winterweizen im konventionellen Anbau der Jahre 1998 – 2000.

Versuchsjahr:	1998	1999	2000	
Standort:	Kerpen-Buir	Kerpen-Buir	Kerpen-Buir	Neukirchen-Vluyn
Vorfrucht:	Zuckerrübe	Zuckerrübe	Zuckerrübe	Zuckerrüben
Bodenbearbeitung:	Pflug + Packer + Kreiselegge	Pflug + Packer + Kreiselegge	Pflug + Packer + Kreiselegge	Pflug + Kreiselegge
Aussaattermin / - stärke:	22.10.97 / 330 Körner/m ²	24.10.98 / 330 Körner/m ²	27.10.99 / 330 Körner/m ²	20.10.99 / 360 Körner/m ²
Erntetermin:	08.08.98	29.07.99	01.08.00	03.08.00
Versuchsanlage:	randomisierte Blockanlage			
Wiederholungen:	2			
Parzellengröße:	12,6 m ²			
Herbizide:	Azur [®] 2,5 l/ha + Starane [®] 0,5 l/ha 14.04.	-	Lexus [®] 20 g/ha + PlattformS [®] 750 g/ha 22.03.	Herold [®] 0,6 l/ha 05.11.
Versuchsfaktoren:	Sorte und Anbauintensität	Sorte und Anbauintensität	Sorte und Anbauintensität	Sorte und Anbauintensität
1. Faktor: Sorte	37 Sorten (siehe Tab. 9)	29 Sorten (siehe Tab. 9)	3 Sorten (siehe Tab. 9)	25 Sorten (siehe Tab. 9)
2. Faktor: Anbauintensität				
1. Stufe:	AHL (kg/ha) 60 18.03. AHL (kg/ha) 40 29.04. AHL (kg/ha) 70 14.05.	AHL (kg/ha) 60 16.03. AHL (kg/ha) 70 26.04. AHL (kg/ha) 70 31.04. Cycocel [®] 27.04. Juwel Top [®] 1 l/ha 28.05.	AHL (kg/ha) 60 20.03. AHL (kg/ha) 40 19.04. AHL (kg/ha) 70 19.05.	AHL (kg/ha) 60 13.03. AHL (kg/ha) 40 10.04. KAS (kg/ha) 70 16.05.
2. Stufe:	AHL (kg/ha) 60 18.03. AHL (kg/ha) 70 29.04. AHL (kg/ha) 80 14.05. Cycocel [®] 21.04. Juwel [®] 0,8 l/ha+ Corbel [®] 0,2 l/ha 29.04. Juwel [®] 1 l/ha 22.05.	AHL (kg/ha) 60 16.03. AHL (kg/ha) 70 26.04. AHL (kg/ha) 80 31.05. Cycocel [®] + Gladio [®] 0,6 l/ha 27.04. Juwel Top [®] 0,8 l/ha 24.05. Folicur [®] 1 l/ha 07.06.	AHL (kg/ha) 60 20.03. AHL (kg/ha) 80 19.04. AHL (kg/ha) 90 19.05. Ccyocel [®] + Gladio 0,6 l/ha 18.04. Juwel Top [®] 1 l/ha 26.05.	AHL (kg/ha) 60 13.03. AHL (kg/ha) 80 10.04. AHL (kg/ha) 90 16.05. Cycocel [®] + Gladio [®] 0,6 l/ha 14.04. Juwel Top [®] 1 l/ha 15.05.

Tab. 11: Beschreibung der Sortenversuche mit Winterweizen im konventionellen Anbau der Jahre 1999 und 2000.

Versuchsjahr:	1999	2000	2000
Standort:	Hennef	Meckenheim	Kerpen-Buir
Vorfrucht:	Kartoffel	Zuckerrübe	Zuckerrübe
Bodenbearbeitung:	Grubber	Pflug	Pflug
Aussaattermin / -stärke:	01.12.98 / 400 Körner/m ²	27.10.99 / 330 Körner/m ²	27.10.99 / 330 Körner/m ²
Erntetermin:	30.07.99	08.08.00	07.08.00
Versuchsanlage:	randomisierte Blockanlage		
Wiederholungen:	4		
Parzellengröße:	12 m ²	14,4 m ²	12,6 m ²
Pflanzenschutz:			
Wachstumsregulator:		Cycocel® 1 l/ha 17.04.	-
Herbizid:	Azur® 2,5 l/ha 28.04.	Azur® 2,5 l/ha + Hoestar® + 20 g/ha 06.04.	-
Insektizid:	Karate® 210 ml/ha 07.06.	Sumicidin® 0,25 l/ha 31.05.	-
Düngung (kg N/ha):	NPK 15+15+15 60 30.03. KAS 27 % 40 04.05. KAS 27 % 50 26.05.	NPK 14+10+20 60 22.03. NPK 15+15+15 30 27.04. KAS 27 % 50 16.05.	AHL (kg/ha) 60 20.03. AHL (kg/ha) 80 19.04. AHL (kg/ha) 90 19.05.
Versuchsfaktoren:	Sorte und Anbauintensität	Sorte, Beregnung und Inokulation	Sorte
1. Faktor:	15 Sorten (siehe Tab. 9)	6 Sorten (siehe Tab. 9)	6 Sorten (siehe Tab. 9)
2. Faktor:			
1. Stufe:	unbehandelt	ohne Beregnung	-
2. Stufe:	Cycocel® 0,8 l/ha 28.04. Juwel Top® 1 l/ha 14.05. a) ohne Inokulation b) Körnerinokulation 28.04. c) Sprühinokulation 02.06.	mit Beregnung 29.05. – 02.07.	
3. Faktor:			
1. Stufe	-	ohne Inokulation	-
2. Stufe		Sprühinokulation 25.05 – 02.06.	

2.7.1.6 Versuchsanlage

Falls nicht anders beschrieben wurden die Versuche als randomisierte Blockanlagen mit vier Wiederholungen, die Versuche der Landwirtschaftskammer mit zwei Wiederholungen angelegt. In Tabelle 10 und 11 sind die Versuchsglieder mit den für die Versuchsfrage relevanten Pflanzenschutzmaßnahmen sowie Daten zur Bestandesführung aufgelistet.

2.7.2 Sortenversuche im ökologischen Anbau

2.7.2.1 Standorte

Weizenproben aus dem ökologischen Anbau wurden von den Leitbetrieben des ökologischen Landbaus Nordrhein-Westfalen zur Verfügung gestellt. Im Versuchsjahr 1998 wurden Winterweizensorten von vier Standorten und Sommerweizensorten von einem Standort untersucht. Im Jahr 1999 wurden ausschließlich Winterweizensorten vom Standort Köln-Auweiler in die Untersuchung mit einbezogen. Tabelle 12 beschreibt die Versuchsstandorte.

2.7.2.2 Sorten

Die Weizensorten, die in den Jahren 1998 und 1999 auf Befall mit Ährenfusariosen untersucht wurden und die jeweiligen Standorte sind in Tabelle 13 aufgeführt.

2.7.2.3 Versuchsanlage

Die Versuche wurden als einfaktorielle randomisierte Blockanlagen mit vier Wiederholungen angelegt. Zur Unkrautbekämpfung wurden Hacke und/oder Striegel oder Untersaaten eingesetzt. Die Stickstoffversorgung wurde durch den Anbau von entsprechenden Vorfrüchten sichergestellt. In Tabelle 14 sind die weiteren Daten zur Bestandesführung aufgeführt.

2.7.3 Bekämpfungsversuche

In den Jahren 1999 und 2000 wurde im Rheinland in einem Projekt zur regionalen Schaderregerüberwachung der Einfluss von unterschiedlichen Fungizidstrategien auf das Auftreten von Weizenpathogenen untersucht. Ziel war die Bekämpfung der Getreidepathogene *Septoria nodorum*, *Septoria tritici*, *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*, *Drechslera tritici-repentis*, *Puccinia striiformis*, *Puccinia recondita* und *Pseudocercospora herpotrichoides*. Die Behandlungen erfolgten nach dem Schadschwellen-Prinzip zwischen den Entwicklungsstadien BBCH 29 - 71 der Pflanzen. Eine vergleichende Behandlung umfasste eine viermalige stadienorientierte Fungizidbehandlung (BBCH 29 – 59) zur

Tab. 12: Standortbeschreibung der Versuchsfelder im ökologischen Anbau in den Jahren 1998 und 1999 nach PAFFRATH (pers. Mitteilung).

Standort	Bodenart	Ackerzahl	Höhenlage [üNN]	Niederschläge [mm] ¹
Köln-Auweiler	sL	63	46	650
Kleve	sL	63	40	750
Lichtenau	IT	41	350	930
Minden	sL	65	60	730
Neuss	sL	65	60	700
Soest	L	56	380	- ²

¹ langjähriges Mittel

² keine Angaben

Tab. 13: Auflistung der Weizensorten der Leitbetriebe des ökologischen Landbaus in Nordrhein-Westfalen, die 1998 und 1999 auf Befehl mit *Fusarium* spp. und *M. nivale* untersucht wurden.

Jahr Standort	Winterweizen					Sommerweizen
	1998				1999	1998
	Minden	Lichtenau	Soest	Kleve	Auweiler	Neuss
Astron	•	•	•	•	•	Anemos
Aristos	•	•	•		•	Combi
Batis		•	•	•	•	Devon
Bussard		•	•	•	•	Fasan
Borneo				•		Lavett
Contra				•		Melon
Dream					•	Quattro
Flair				•	•	Star
Glockner	•				•	Thasos
Monopol		•	•	•	•	Tinos
Pegassos		•	•	•	•	Triso
Renan				•	•	
Tambor				•	•	
Toronto				•		
Xanthos				•		
Zentos		•	•	•	•	

Tab. 14: Beschreibung der Sortenversuche mit Winter- / Sommerweizen im ökologischen Anbau im Jahre 1998 und 1999.

Versuchsjahr:	1998					1999
Standort:	Nierswalde / Kleve	Paderborn / Lichtenau	Minden / Haddenhausen	Soest / Altenrüthen	Neuss / Büttgen	Köln / Auweiler
Versuchsobjekt:	Winterweizen				Sommerweizen	Winterweizen
Vorfrucht:	Kleegras	Ackerbohnen	Kartoffel	Kleegras	Sommerweizen + Untersaat	Kleegras
Bodenbearbeitung:	Striegel	Striegel	Striegel	Striegel	Walze, Striegel	Striegel
Aussaattermin:	29.10.97	30.09.97	20.10.97	30.09.97	28.03.97	- ¹
Saatstärke (Körner/m ²):	400	410	420	400	450	400
Untersaat:	-	-	-	-	25.04.98	-
Erntetermin:	12.08.98	11.08.98	10.08.98	10.08.98	09.08.98	03.08.98
Versuchsanlage:	randomisierte Blockanlage					
Wiederholungen:	4					
Parzellengröße:	12,6 m ²					

¹ es liegen keine Daten vor

Kontrolle der oben genannten Schaderreger. In diese Versuchsreihe wurden zwei Varianten mit einer ein- bzw. zweimaligen Behandlungen gegen Ährenfusariosen integriert. Der Einfluss der Blatt- und insbesondere der Ährenbehandlungen auf das Auftreten von *Fusarium* spp. sollte erfasst und bewertet werden.

2.7.3.1 Standorte und Sorten

Die Befallsuntersuchungen wurden an acht Standorten im Rheinland durchgeführt. Angebaut wurden die gemäß Bundessortenamt als anfällig eingestuft Sorten `Ritmo`, `Charger` und `Bandit` sowie die als mittel bis wenig anfällig eingestuft Sorten `Rialto`, `Soissons`, `Flair`, `Hybnos`, `Greif` und `Monopol`. In Tabelle 15 sind die Schlagdaten der Standorte aufgeführt, in Tabelle 16 die Sorten, die an den einzelnen Standorten angebaut wurden.

2.7.3.2 Fungizide

Die in den Bekämpfungsversuchen eingesetzten Fungizide sind in Tabelle 16 aufgeführt. Die durchgeführten Blatt – und Ährenbehandlungen der einzelnen Varianten sind in Tabelle 17 zusammengefasst. Die Ährenbehandlungen erfolgten mit Fungiziden, die der Wirkstoffklasse

Tab. 15: Schlagdaten der Versuchsflächen zur Bewertung unterschiedlicher Fungizidstrategien auf das Auftreten von Ährenfusariosen 1999 und 2000.

Standort	Bodentyp	Bodenart	Ackerzahl	Fruchtfolge
Beckrath	Parabraunerde	uL	85	WW ² – ZR – WW (1999) WW – Triticale – ZR (2000)
Bergheim	Neuland	Löß ¹	75	WW - WG – ZR (1999) WW – WG – WR – ZR (2000)
Erfstadt	Parabraunerde	Lößlehm	90	ZR – WW – WW (1999) WW – WW – ZR (2000)
Kerpen-Buir	Braunerde	sL	86	WW – Kartoffel – ZR (2000)
Mettmann	Parabraunerde	uL/Löß	76\78	ZR – WW – WW (1999) WW – WG – WRaps (2000)
Neukirchen-Vluyn	Parabraunerde	sL	65	WW – Mais – Triticale – ZR (1999) WW – Triticale – ZR (2000)
Nörvenich	Parabraunerde	sL	85	WW – WG – ZR (1999)
Titz-Spiel	Parabraunerde	uL	86	WW – WW – ZR (1999) WW - Triticale - ZR (2000)

¹ Rekultivierungsboden aus Löß

² WW – Winterweizen, WG – Wintergerste, ZR – Zuckerrübe, Wraps - Winterrraps

Tab. 16: Wirkstoffe der in den Bekämpfungsversuchen eingesetzten Fungizidpräparate.

Wirkstoff	g a.i./l	Präparat	Hersteller
Azoxystrobin	250	Amistar®	Syngenta
Cyprodinil	750	Unix®	Syngenta
Fenpropidin + Quinoxifen	250 + 66	Fortress Top®	BASF AG
Fenpropidin	750	Zenit M®	Syngenta
Fenpropimorph + Epoxiconazol	250 + 84	Opus Top®	BASF AG und Dow AgroSciences
Metconazol	60	Caramba®	BASF AG
Quinoxifen	500	Fortress®	BASF AG
Tebuconazol + Spiroxamine	133 + 250	Pronto Plus®	Bayer AG
Tebuconazol	250	Folicur®	Bayer AG
Tebunconazol + Propiconazol + Fenpropidin	125 + 125 + 375	Gladio®	Syngenta
Fenpropimorph + Kresoxim-methyl + Epoxyconazol	150 + 125 + 125	Juwel Top®	BASF AG

der Triazole angehören. Die zwei Behandlungen beinhalteten a) eine einmalige Applikation mit Metconazol zu BBCH 65 und b) eine zweimalige Fungizidapplikation mit Metconazol zu BBCH 65 und Tebuconazol zu BBCH 71. Der Wirkungsgrad der Fungizide wurde nach Abbott berechnet.

Berechnung des Wirkungsgrades nach Abbott:

$$\text{Wirkungsgrad [\%]} = \frac{(\text{BHK}^1 \text{ Kontrolle [\%]} - \text{BHK Behandlung [\%]}) \times 100}{\text{BHK Kontrolle [\%]}}$$

¹BHK – Befallshäufigkeit

2.7.3.3 Versuchsanlage

Die Versuche wurden als vollständig randomisierte Anlagen mit vier Wiederholungen angelegt. Die Parzellengröße betrug 12,6 m². Der zu untersuchende Faktor war die Fungizidmaßnahme (Blatt- und/oder Ährenbehandlung). Tabelle 17 gibt die Daten zur Bestandesführung an. Weitere pflanzenbauliche Maßnahmen wie die Anwendung eines Wachstumsregulators und die Unkraut- und Blattlausbekämpfung wurden nach ortsüblicher landwirtschaftlicher Praxis an den Standorten durchgeführt.

Tab. 17: Daten zur Bestandesführung der Versuchsflächen zur Bewertung unterschiedlicher Fungizidstrategien auf das Auftreten von Ährenfusariosen im Rheinland, 1999 und 2000.

Standort Sorte	Jahr	Aussaattermin / - stärke (Körner/m ²)	Ernte- termin	Bodenbearbeitung	Vor- frucht	Stickstoff- menge / Anz. Teilgaben
Beckrath Ritmo Hybnos	2000	28.10.99 330 330	10.08.00	1 x Grubber-Pflug- Rüttelegge ⁴	ZR ¹	170 kg/ha / 3
Bergheim Rialto Bandit	1999	04.11.98 330 300	17.07.99	Pflug-Kreiselegge	ZR	210 kg/ha / 3
Ritmo Greif	2000	08.11.99 330 330	01.08.00	Pflug-Kreiselegge	ZR	227,5 kg/ha / 5
Erfstadt Soissons	1999	16.10.98 320	26.04.99	Pflug-Kreiselegge	WW	225 kg/ha / 3
Ritmo Monopol	2000	15.11.99 320 320	08.08.00	Pflug-Kreiselegge	ZR	191 kg/ha / 3
Kerpen-Buir Ritmo Flair	2000	25.10.99 350 350	04.08.00	Pflug-Kreiselegge	ZR	210 kg/ha / 3
Mettmann Ritmo Greif	2000	21.10.99 340 340	09.08.00	3 x Grubber- 1 x Schwergrubber- Rüttelegge	WRaps	192 kg/ha / 4
N.-Vluyn ² Charger	1999	19.11.98 360	29.07.99	Pflug-Kreiselegge	ZR	200 kg/ha / 3
Ritmo Flair	2000	20.10.99 360 360	03.08.00	Pflug-Kreiselegge	ZR	210 kg/ha / 3
Nörvenich Ritmo	1999	26.10.98 350	02.08.99	Pflug-Zinkenrotor	ZR	185 kg/ha / 3
Titz-Spiel Ritmo	1999	20.10.98 350	01.08.99	Pflug-Kreiselegge	ZR	190 kg/ha / 3
Ritmo Hybnos	2000	21.10.99 350 350	01.08.00	Grubber-Pflug- Kreiselegge	WW	200 kg/ha / 3

¹ ZR – Zuckerrüben, WW – Winterweizen, WRaps – Winterraps² Neukirchen-Vluyn

Tab. 18: Durchgeführte Behandlungen zur Bewertung unterschiedlicher Fungizidstrategien auf das Auftreten von Ährenfusariosen, 1999 und 2000.

VGL ¹	1999	2000
1	unbehandelt	unbehandelt
2	<u>schadschwellenorientiert</u> Opus Top [®] 1,0 l/ha BBCH + Fortress [®] 0,3 l/ha ² 32-41 ² Amistar [®] 0,3 bzw. 0,8 l/ha BBCH + Opus Top [®] 0,75 l/ha ² 59-71 ^{2,3}	<u>schadschwellenorientiert</u> Opus Top [®] 1,2 l/ha + Fortress [®] 0,15 l/ha <i>oder</i> Opus Top [®] 1,5 l/ha BBCH 31-33 ² Amistar [®] 0,4-0,8 l/ha + Gladio [®] 0-0,6 l/ha ² BBCH 41-71 ²
3	-	<u>stadienorientiert</u> Pronto Plus [®] + 0,5 l/ha Fortress Top [®] 0,1 l/ha BBCH 29-30 Unix [®] 0,7 l/ha + Juwel Top [®] 0,5 l/ha BBCH 31-32 Juwel Top [®] 0,5 l/ha + Zenit M [®] 0,3 l/ha BBCH 37-39 Amistar [®] 0,6 l/ha + Pronto Plus [®] 0,75 l/ha BBCH 55-59
3	VBL 2 + Caramba [®] 1,5 l/ha BBCH 65	VGL 2 + Caramba [®] 1,5 l/ha BBCH 65
4	VGL 3 + Folicur [®] 1,0 l/ha BBCH 71	VGL 3 + Folicur [®] 1,0 l/ha BBCH 71

¹ VGL - Versuchsglied

² Die Behandlung je Sorte und Standort erfolgte nach Schadschwellen.

³ zweite Behandlung erfolgte zwischen BBCH 41-51, Ausnahme: in Kerpen-Buir zu BBCH 61 ('Ritmo') bzw. zu BBCH 71 ('Flair'), in Bergheim zu BBCH 65 ('Greif').

2.7.4 Erfassung der Ertragsparameter

Die Ernte erfolgte mit Parzellenmähdreschern. Je Parzelle wurde der Ertrag gewogen und eine Rückstellprobe von 500 g gezogen. Diese wurde für die Untersuchungen der Ertragsparameter, des Kornbefalls sowie für die Mykotoxinanalyse benötigt.

Bestimmung der Trockensubstanz (TS)

Unmittelbar nach der Ernte wurden zur Bestimmung der Trockensubstanz 50 g der Probe eingewogen und bei 60°C für 12 h, anschließend bei 120°C für 12 h getrocknet. Nach erneutem Wiegen konnte die Trockensubstanz errechnet werden:

$$TS [\%] = \text{Trockengewicht [g]} \times 100 / \text{Frischgewicht [g]}$$

Bestimmung des Kornertrags (TS 86%)

$$\text{Ertrag [dt/ha]} = \text{Parzellenertrag [kg]} \times \text{TS [\%]} \times 100 / \text{TS (86\%)} \times \text{Parzellengröße [m}^2\text{]}$$

Bestimmung des Tausendkorngewichts (TS 86 %)

Je Parzelle wurde das Gewicht von 3 x 100 Körnern mittels eines Zählgeräts bestimmt und der Mittelwert auf eine Trockensubstanz von 86% umgerechnet.

$$\text{TKG [g]} = 100 \text{ Körner [g]} \times \text{TS [\%]} / 86\%$$

2.7.5 Erfassung der morphologischen Eigenschaften

Die Wuchshöhe und der Abstand Fahrenblatt – Ähre wurden an Pflanzen unterschiedlicher Weizensorten zu BBCH 85 in Hennef im Jahr 1999 und in Kerpen-Buir im Jahr 2000 (nur Wuchshöhe) untersucht. Die Pflanzen waren zuvor nicht mit einem Wachstumsregulator oder mit Fungiziden behandelt worden.

Pflanzenlänge

Die Pflanzenlänge wurde von der Halmbasis bis zur Ährenspitze gemessen. In jeder der 4 Wiederholungen wurden drei Messungen durchgeführt und daraus die Durchschnittslänge je Sorte bestimmt.

Abstand Fahrenblatt – Ähre

Jeweils 20 Pflanzen einer Sorte wurden vom Ansatz des Fahrenblattes bis zum Ansatz der Ähre vermessen.

D-Wert

Der D-Wert beschreibt die Dichte einer Ähre. Je Sorte wurden dafür 10 Ähren vermessen.

$$\text{D-Wert} = \frac{\text{Anzahl Spindelstufen je Ähre} \times 100}{\text{Ährenspindellänge [mm]}}$$

2.8 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe der Statistik-Software SigmaStat, Version 2.0. Die Daten wurden auf Normalverteilung geprüft und varianzanalytisch verrechnet. Bei der Verrechnung der Befallshäufigkeiten mit *Fusarium* spp. und *M. nivale* stellten sich die Daten häufig als nicht normalverteilt heraus. Sie wurden dann rangvarianzanalytisch nach Kruskal und Wallis verrechnet. Der multiple Mittelwertsvergleich wurde mit dem Student-Newmann-Keuls Test (SNK-Test) durchgeführt. Es wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,05$

zugrunde gelegt. Werte, die sich signifikant unterscheiden, sind in den Tabellen bzw. Abbildungen durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet. Um die Stärke einer Beziehung zweier Variablen zu bestimmen, wurde der Korrelationskoeffizient nach Pearson berechnet. Die Irrtumswahrscheinlichkeit betrug in diesem Testverfahren $\alpha = 0,05$.

3 Ergebnisse

In den Jahren 1998 bis 2000 wurde das Auftreten von *Fusarium* spp. und *Microdochium nivale* sowie die Zusammensetzung des Artenspektrums an Winterweizen im Rheinland untersucht. Der Kornbefall mit Ährenfusariosen wurde in Abhängigkeit von der Weizensorte auf Flächen der Landwirtschaftskammer Rheinland und der Universität Bonn sowie unter kontrollierten Bedingungen am Institut für Pflanzenkrankheiten in Bonn ermittelt. Die Versuche wurden unter natürlichem Befallsdruck im Freiland oder mit zusätzlicher Inokulation unter Freiland- und kontrollierten Bedingungen durchgeführt. Da die Sortenwahl eine wichtige Möglichkeit zur Prävention des *Fusarium*-Befalls darstellt, wurde der Einfluss phänotypischer und genotypischer Sorteneigenschaften auf die Befallshäufigkeit der Körner mit *Fusarium* spp. und *M. nivale*, die Mykotoxinbelastung und die Ertragsbildung untersucht. Zusätzlich wurden Untersuchungen zur Infektion und Ausbreitung von *Fusarium* spp. an der Pflanze durchgeführt und der Einfluss verschiedener Fungizidstrategien auf den Befall der Weizenpflanze mit diesen Pathogenen ermittelt.

3.1 Auftreten von *Fusarium*-Arten und *Microdochium nivale* an Weizen

Im Rheinland wurde über drei Jahre (1998 – 2000) das Befallsgeschehen von *Fusarium* spp. und *M. nivale* im konventionellen Anbau untersucht. Im ökologischen Anbau wurden diese Daten über zwei Jahre (1998 – 1999) erhoben. Das Befallsniveau variierte über die Jahre und ist im Überblick in Abbildung 1 dargestellt.

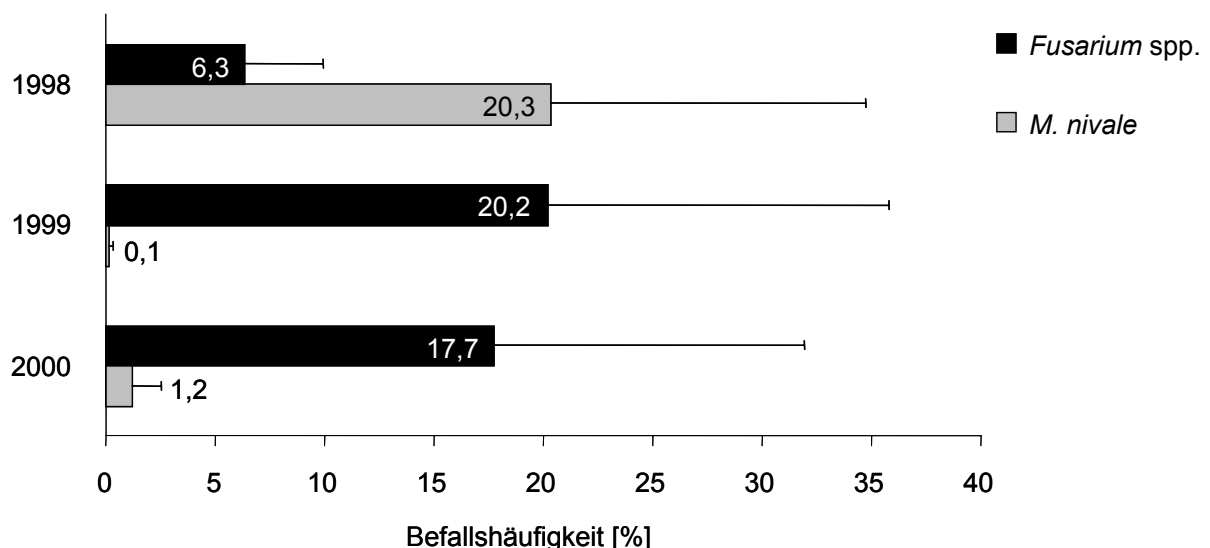


Abb. 1: Befallsniveau mit *Fusarium* spp. und *M. nivale* in den Jahren 1998 – 2000 gemittelt über unterschiedliche Standorte und Weizensorten im konventionellen und ökologischen Anbau. Es wurden 7 (1998), 8 (1999) bzw. 9 (2000) Standorte untersucht, die Balken stellen einseitig die Standardabweichungen dar.

Im Jahr 1998 war der Befall der Weizenkörner mit *Fusarium* spp. auf den untersuchten Flächen mit 6,3% Befallshäufigkeit im Vergleich zu den nachfolgenden Jahren relativ gering. 1999 und 2000 wurde ein deutlich höherer Kornbefall von durchschnittlich 20,2% bzw. 17,2% mit *Fusarium* spp. beobachtet. Das Auftreten von *M. nivale* war im Jahr 1998 von einem Kornbefall von durchschnittlich 20,3% gekennzeichnet. In den darauffolgenden Jahren nahmen die Befallshäufigkeiten mit diesem Pathogen deutlich ab und es wurde ein Auftreten von 0,1% im Jahr 1999 bzw. 1,2% im Jahr 2000 verzeichnet. In Abhängigkeit von Standort und Sorte beruhten diese Durchschnittswerte jedoch auf stark variierende Einzelwerte. Dies wird anhand der großen Standardabweichungen von den Jahresmittelwerten deutlich.

3.1.1 Befall im konventionellen Anbau

In den Jahren 1998 bis 2000 wurden Winterweizenproben aus den Landessortenversuchen in Kerpen-Buir und Neukirchen-Vluyn auf den Befall mit Ährenfusariosen untersucht. Die Pflanzen wurden mit einem Wachstumsregulator behandelt und es wurden Fungizide zur Bekämpfung von Blattpathogenen eingesetzt. Die Parzellen wurden nicht inokuliert, waren also ausschließlich dem natürlichen standortspezifischen Befallsdruck ausgesetzt.

3.1.1.1 Versuchsjahr 1998

Im Jahr 1998 wurden in Kerpen-Buir 37 Weizensorten auf Kornbefall mit Fusariosen untersucht (Tab. 19). Die Sorteneinstufung erfolgte in niedrige ($< \text{Mittelwert} - \text{Standardabweichung}$), mittlere ($\text{MW} \pm s$) und hohe Befallshäufigkeit ($> \text{MW} + s$). Im Sortenmittel wurde ein Kornbefall von 7,4% festgestellt, wobei 26 Sorten einer mittleren Befallshäufigkeit und 6 Sorten einer niedrigen Befallshäufigkeit zugeordnet werden konnten. Trotz eines Kornbefalls zwischen 0,8% und 11,2% konnten Befallsunterschiede zwischen den wenig- bis mittelstark befallenen Sorten nicht statistisch abgesichert werden. Die Sorten `Complet`, `Charger`, `Bandit`, `Trakos` und `Tremie` wiesen einen hohen Kornbefall auf und waren mit durchschnittlich 20% signifikant häufiger befallen als alle anderen Sorten. Der Standort Kerpen-Buir zeichnete sich im Jahr 1998 als sehr „gesund“ aus. Die Witterung war in diesem Jahr geprägt von kühlen, niederschlagsreichen Ereignissen besonders im anfälligen Entwicklungszeitraum der Weizenblüte von Ende Mai bis Anfang Juli, was vielerorts zu einem starkem *Fusarium*-Befall führte. In Kerpen-Buir wurden jedoch kaum Extrembefälle beobachtet. Der durchschnittliche Kornbefall mit *M. nivale* belief sich auf 10,5%. Je nach Sorte variierte er zwischen 1,6% und 27,2%.

Tab. 19: Befallshäufigkeit von *Fusarium* spp. an Körnern unterschiedlicher Winterweizensorten gruppiert nach der Befallsstärke (niedrig < MW - s, mittel = MW ± s und hoch > MW + s) aus dem Landessortenversuch 1998 in Kerpen-Buir.

Befallshäufigkeit [%]					
niedrig		mittel		hoch	
Caesar	0,8 a	Previa	2,4 a	Complet	14,4 b
Haven	0,8 a	Soissons	2,4 a	Charger	15,6 c
Hybnos	0,8 a	Contur	3,2 a	Bandit	20,0 d
Brigadier	1,5 a	Reaper	3,2 a	Trakos	24,3 e
Convent	1,6 a	Habicht	4,0 a	Tremie	25,5 d
Residence	1,6 a	Pajero	4,5 a		
		Windsor	4,5 a		
		Hanseat	4,6 a		
		Record	4,8 a		
		Semper	4,8 a		
		Crousty	5,5 a		
		Shango	5,5 a		
		Armstrong	7,2 a		
		Borneo	7,2 a		
		Tilburi	7,5 a		
		Greif	8,6 a		
		Versailles	8,0 a		
		Cardos	8,8 a		
		Cortez	8,8 a		
		Toni	8,8 a		
		Vivant	8,8 a		
		Rialto	9,6 a		
		Asketis	10,4 a		
		Tower	10,4 a		
		Atoll	11,2 a		
		Ornica	11,2 a		
MW ± s¹		7,4 ± 6,0			

¹ Mittelwert ± Standardabweichung

3.1.1.2 Versuchsjahr 1999

Im Vergleich zum Jahr 1998 war 1999 in Kerpen-Buir das Auftreten von Ährenfusariosen weniger stark. Die 28 untersuchten Sorten waren im Durchschnitt nur zu 2,2% befallen, der Befall variierte dabei zwischen 0% bei den Sorten `Drifter`, `Ornica` und `Vivant` und 8,7% bei der Sorte `Charger` (Tab. 20). Unterschiede in den Befallshäufigkeiten der Körner mit *Fusarium* spp. an den untersuchten Sorten konnten nicht statistisch abgesichert werden. *M. nivale* wurde in diesem Jahr kaum von den Körnern isoliert. Mit Befallshäufigkeiten von 0,3% war der Pilz an diesem Standort nicht von Bedeutung.

Tab. 20: Befallshäufigkeit von *Fusarium* spp. an Körnern unterschiedlicher Winterweizensorten gruppiert nach der Befallsstärke (niedrig < MW - s, mittel = MW ± s und hoch > MW + s) aus dem Landessortenversuch 1999 in Kerpen-Buir.

Befallshäufigkeit [%]					
niedrig		mittel		hoch	
Drifter	0 a	Complet	0,5 a	Greif	4,0 a
Ornica	0 a	Contur	0,5 a	Haven	4,0 a
Vivant	0 a	Crousty	0,5 a	Pajero	4,0 a
		Convent	1,0 a	Bandit	7,3 a
		Record	1,0 a	Charger	8,7 a
		Residence	1,0 a		
		Dream	1,3 a		
		Mewa	1,3 a		
		Atoll	1,5 a		
		Brigadier	1,5 a		
		Habicht	1,5 a		
		Hybnos	1,5 a		
		Aspirant	2,0 a		
		Cortez	2,0 a		
		Semper	2,0 a		
		Tilburi	2,0 a		
		Reaper	2,5 a		
		Asketis	2,7 a		
		Ludwig	2,7 a		
		Cardos	3,0 a		
		Rialto	3,3 a		
MW ± s¹		2,2 ± 1,8			

¹ Mittelwert ± Standardabweichung

3.1.1.3 Versuchsjahr 2000

Im dreijährigen Vergleich war das Befallsniveau der Körner aus den Landessortenversuchen in Kerpen-Buir und Neukirchen-Vluyn Jahr 2000 am höchsten. Dabei waren in Kerpen-Buir die Sorten `Ornica` und `Hybnos` mit 4% bzw. 3,3% signifikant weniger häufig mit *Fusarium* spp. befallen als die Sorte `Tilburi` mit 12% (Tab. 21). Im Sortenmittel wurde an diesem Standort eine Befallshäufigkeit der Körner von 7,1% festgestellt. In Neukirchen-Vluyn lag der Kornbefall im Jahr 2000 bei durchschnittlich 8,0%. 80% der Sorten wiesen eine mittlere Befallshäufigkeit mit *Fusarium* spp. auf, welche zwischen 2% und 13% variierte. Keine der Sorten wurde als gering befallen eingestuft, `Bold`, `Greif`, `Pajero`, `Drifter`, `Batis` und `Hybnos` waren am Standort Neukirchen-Vluyn mit 2% Befallshäufigkeit jedoch am geringsten befallen. Stark anfällig zeigte sich die Sorte `Haven`, die mit 31,5% einen signifikant stärkeren Kornbefall aufwies als alle anderen Sorten. Auch `Windsor` und `Charger` gehörten mit 16% bzw. 14,5% zu den stark befallenen Sorten.

Der Kornbefall mit *M. nivale* belief sich in Neukirchen-Vluyn auf durchschnittlich 1,7%, während in Kerpen-Buir ein etwas höherer Befall von 4,8% verzeichnet wurde.

3.1.2 Befall im ökologischen Anbau

Vom Referat 3.11 der Landwirtschaftskammer Rheinland wurden Winter- und Sommerweizenproben zur Verfügung gestellt und auf den Besatz mit *Fusarium* spp. und *M. nivale* untersucht. Zu den beprobten Standorten zählten im Jahr 1998 Minden, Neuss, Kleve und Lichtenau, im Jahr 1999 der Standort Köln-Auweiler.

3.1.2.1 Winterweizen

Der Kornbefall mit *Fusarium* spp. lag im Versuchsjahr 1998 bei durchschnittlich 6,2% und somit um 72% höher als im Jahr 1999 (\varnothing 3,6%) (Tab. 22). Kornproben vom Standort Minden waren im Sortenmittel mit 1,8% deutlich weniger häufig mit *Fusarium* spp. befallen als Proben der Standorte Kleve, Lichtenau und Soest. Hier erreichten die Körner Befallshäufigkeiten von durchschnittlich 9,2%, 6,5% bzw. 7,3%. Die Befallshäufigkeiten der Sorten eines Standortes unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Die an mehreren Standorten untersuchten Sorten `Batis`, `Flair`, `Monopol` und `Pegassos` wiesen eine mittlere bis geringe Befallshäufigkeit mit *Fusarium* spp. auf, während an den ebenfalls auf mehreren Standorten untersuchten Sorten `Aristos`, `Renan`, `Tambor` und `Zentos` ein mittel bis starker Befall festgestellt wurde. Auch die Sorte `Contra`, welche nur an einem Standort untersucht wurde, war mit 15,2% stark befallen. Die Unterschiede im Kornbefall der aufgezählten Sorten konnten jedoch, gemittelt über die Standorte, statistisch nicht

Tab. 21: Befallshäufigkeit von *Fusarium* spp. an Körnern unterschiedlicher Winterweizensorten gruppiert nach der Befallsstärke (niedrig < MW - s, mittel = MW ± s und hoch > MW + s) aus den Landessortenversuchen im Jahr 2000 in Kerpen-Buir und Neukirchen-Vluyn.

	Befallshäufigkeit [%]					
	niedrig		mittel		hoch	
Kerpen-Buir	Ornica	4,0 ab	Complet	7,5 bc	Tilburi	12,0 c
	Hybnos	3,3 ab	Atoll	8,7 bc		
	MW ± s¹		7,1 ± 3,1			
Neukirchen-Vluyn			Bold	2,0 a	Charger	14,5 a
			Greif	2,0 a	Windsor	16,0 a
			Pajero	2,0 a	Haven	31,5 b
			Batis	2,5 a		
			Drifter	2,5 a		
			Hybnos	2,5 a		
			Aristos	4,0 a		
			Dream	5,0 a		
			Pajero	5,0 a		
			Residence	5,0 a		
			Flair	5,5 a		
			Convent	6,0 a		
			Semper	6,0 a		
			Aspirant	6,5 a		
			Drifter	7,5 a		
			Dekan	8,0 a		
			Brigadier	9,3 a		
			Greif	9,5 a		
			Vivant	9,5 a		
			Contur	10,0 a		
			Petrus	10,0 a		
			Bandit	10,8 a		
		Record	12,5 a			
		Rialto	13,0 a			
		Reaper	13,0 a			
	MW ± s¹		8,0 ± 6,6			

¹ Mittelwert ± Standardabweichung

Tab. 22: Einfluss von Genotyp und Standort auf das Auftreten von Ährenfusariosen an Winterweizen auf Flächen der ökologischen Leitbetriebe der Landwirtschaftskammer Rheinland 1998 und 1999.

Jahr	Befallshäufigkeit mit <i>Fusarium</i> spp. [%]				
	1998				1999
	Kleve	Lichtenau	Minden	Soest	Köln-Auweiler
Aristos		5,6 ± 10,8	5,6 ± 10,8	9,6 ± 13,1	6,0 ± 10,7
Astron		7,2 ± 12,8	0,8 ± 4,0	6,4 ± 11,1	1,3 ± 5,1
Batis	8,8 ± 13,0	4,0 ± 10,0		6,4 ± 9,5	2,7 ± 6,9
Borneo	10,4 ± 13,0				
Bussard	6,4 ± 12,6	8,0 ± 14,1		8,8 ± 13,0	0 ± 0
Contra	15,2 ± 16,6				
Dream					0,7 ± 3,7
Flair	6,4 ± 11,1				3,3 ± 7,6
Glockner			0,8 ± 4,0		4,0 ± 9,7
Monopol	9,6 ± 13,1	9,6 ± 11,7		4,0 ± 8,2	2,7 ± 6,9
Pegassos	6,4 ± 11,1	4,0 ± 8,2		7,2 ± 11,4	6,0 ± 11,9
Renan	10,4 ± 16,5				8,0 ± 11,3
Tambor	12,0 ± 15,3				4,7 ± 8,6
Toronto	7,2 ± 11,4				
Xanthos	8,8 ± 13,0				
Zentos	8,0 ± 10,0	7,2 ± 12,8		8,8 ± 13,0	4,7 ± 10,1
ZI Schw. ¹					3,3 ± 7,6
MW ± s²	9,2 ± 2,5	6,5 ± 2,1	2,4 ± 2,8	7,3 ± 1,9	3,6 ± 2,3
P-Wert³	0,207 n.s.	0,215 n.s.	0,089 n.s.	0,131 n.s.	0,078 n.s.

¹ ZI Schw. = Zuchtlinie der Firma Schweiger

² Mittelwert ± Standardabweichung

³ P-Werte < 0,05 weist auf signifikante Unterschiede zwischen den Sorten hin ($\alpha = 0,05$)

abgesichert werden. Im Jahr 1999 wiesen die Körner ein hohes Befallsniveau mit *M. nivale* auf. Es wurden Befallshäufigkeiten von durchschnittlich 11,2% bzw. 13,4% in Lichtenau und Minden beobachtet, während in Kleve und Soest der Kornbefall sogar bei durchschnittlich 38,6% und 39,4% lag (Tab. 23). Die Sorten `Batis` und `Bussard` waren im Vergleich mehrerer Standorte gering mit *M. nivale* befallen, hohe Befallshäufigkeiten traten bei den Sorten `Astron` und `Borneo` auf. Im folgenden Jahr 2000 wurden nur Proben vom Standort

Tab. 23: Einfluss von Genotyp und Standort auf das Auftreten von *M. nivale* an Winterweizen auf Flächen der ökologischen Leitbetriebe der Landwirtschaftskammer Rheinland 1998 und 1999.

Jahr	Befallshäufigkeit mit <i>M. nivale</i> [%]				
	1998				1999
	Kleve	Lichtenau	Minden	Soest	Köln-Auweiler
Aristos		14,4 ± 14,7 ab	23,2 ± 22,9	41,6 ± 24,4 ab	0
Astron	40,0 ± 24,5 b	13,6 ± 16,0 ab	13,6 ± 15,0	51,2 ± 15,4 a	0
Batis	39,2 ± 24,8 b	1,6 ± 5,5 bc		30,4 ± 18,4 b	0
Borneo	60,8 ± 23,4 a				
Bussard	27,2 ± 20,7 bc	4,8 ± 8,7 bc		40,0 ± 23,1 ab	0
Contra	43,2 ± 28,7 ab				
Dream					0
Flair	14,4 ± 16,9 d				0
Glockner			10,4 ± 13,1		0
Monopol	32,8 ± 26,4 b	22,4 ± 18,5 a		36,8 ± 21,4 ab	0
Pegassos	47,2 ± 28,2 ab	8,8 ± 14,2 bc		31,2 ± 28,9 b	0
Renan	48,8 ± 27,1 ab				0
Tambor	40,8 ± 22,0 bc				0
Toronto	40,8 ± 25,5 abc				
Xanthos	22,4 ± 23,3 cd				
Zentos	44,8 ± 32,8 ab	12,8 ± 17,2 ab		44,8 ± 23,3 ab	0
ZI Schw. ¹					0
MW ± s²	38,6 ± 12,1	11,2 ± 6,9	15,7 ± 6,7	39,4 ± 7,4	0
P-Wert³	< 0,001	< 0,001	0,059 n.s	0,039	1,0 n.s.

¹ ZI Schw. = Zuchtlinie der Firma Schweiger

² Mittelwert ± Standardabweichung

³ P-Werte < 0,05 weist auf signifikante Unterschiede zwischen den Sorten hin ($\alpha = 0,05$)

Köln-Auweiler untersucht. Während 1998 über alle Sorten und Standorte gemittelt ein Kornbefall mit *M. nivale* von 26% beobachtet wurde, konnte im Jahr 1999 am Standort Köln-Auweiler kein Befall mit *M. nivale* (0%) festgestellt werden.

3.1.2.2 Sommerweizen

In Jahr 1998 wurden ebenfalls 11 Sommerweizensorten auf Befall mit Ährenfusariosen und *M. nivale* am Standort Neuss untersucht. Der Kornbefall mit *Fusarium* spp. lag bei

durchschnittlich 1,9% (Tab. 24). Sortenabhängig variierte die Befallshäufigkeit zwischen 0% und 5,6%, wobei an den Sorten `Devon` und `Tinos` gar kein Kornbefall nachgewiesen werden konnte, an der Sorte `Melon` mit fast 6% dagegen ein überdurchschnittlich hoher *Fusarium*-Befall. Die Sortenunterschiede konnten jedoch nicht statistisch abgesichert werden. Das Befallsniveau der Körner mit *M. nivale* war ebenso wie beim Winterweizen mit 24,2% sehr hoch. Zwischen den Sorten traten dabei signifikante Befallsunterschiede auf. Besonders häufig waren Körner der Sorten `Anemos` und `Star` mit *M. nivale* befallen, ihr Befall betrug durchschnittliche 41,2%. Die Sorten `Quattro`, `Devon`, `Lavett` und `Melon` waren im Vergleich zum Gesamtmittel mit durchschnittlich 16,4% relativ gering befallen.

Tab. 24: Auftreten von *Fusarium* spp. und *M. nivale* an Sommerweizen im ökologischen Landbau am Standort Neuss 1998.

Sorte	Befallshäufigkeit mit <i>Fusarium</i> spp. [%]	Befallshäufigkeit mit <i>M. nivale</i> [%]
Anemos	0,8 ± 4,0	40,8 ± 22,0 a
Combi	4,0 ± 8,2	28,0 ± 21,6 ab
Devon	0 ± 0	15,2 ± 15,6 b
Fasan	1,6 ± 5,5	20,0 ± 19,1 b
Lavett	0,8 ± 4,0	17,6 ± 20,3 b
Melon	5,6 ± 12,3	16,0 ± 19,1 b
Quattro	2,4 ± 6,6	16,8 ± 19,7 b
Star	2,4 ± 6,6	41,6 ± 22,3 a
Thasos	1,6 ± 5,5	19,2 ± 19,6 b
Tinos	0 ± 0	25,6 ± 23,5 ab
Triso	1,6 ± 5,5	25,6 ± 24,2 ab
MW ± s¹	1,9 ± 1,7	24,2 ± 9,4
P-Wert²	0,097 n.s.	<0,001

¹ Mittelwert ± Standardabweichung

² P-Werte < 0,05 weisen auf signifikante Unterschiede zwischen den Sorten hin ($\alpha = 0,05$)

3.1.3 Vergleich ökologischer und konventioneller Anbau

In Abhängigkeit von Jahr und Standort wurden der Kornbefall mit *Fusarium* spp. und *M. nivale* von 16 mehrjährig untersuchten Sorten des konventionellen Anbaus mit 6 mehrjährig untersuchten Sorten des ökologischen Anbaus verglichen. In Abbildung 2 ist der Befall auf den ökologisch bewirtschafteten Flächen (A) und den konventionell bewirtschafteten Flächen (B) dargestellt.

Im Jahr 1998 unterschieden sich im organischen Landbau (A) die Standorte Kleve, Lichtenau und Soest nicht bedeutend im Auftreten der Ährenfusariosen voneinander. Das Befallsniveau variierte zwischen 6,7% und 8,1%. In Köln-Auweiler, einziger Versuchsstandort im Jahr

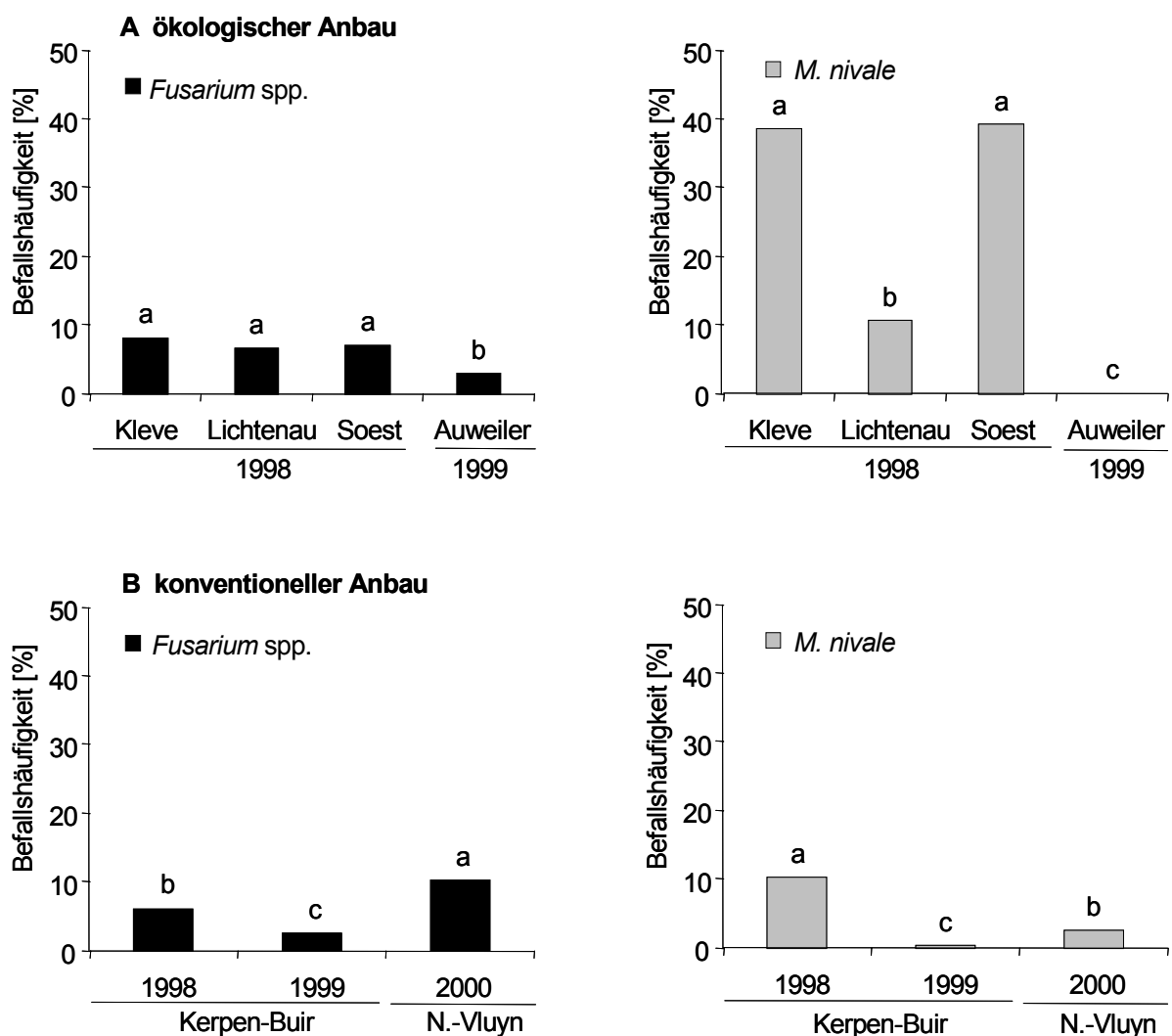


Abb. 2: Standort- und Jahresvergleich der Befallshäufigkeit von *Fusarium* spp. und *M. nivale* an Weizenkörnern gemittelt über 6 Sorten im ökologischen Landbau (A) und 16 Sorten im konventionellen Anbau (B), ($\alpha = 0,05$).

1999, trat an den gleichen Sorten ein im Vergleich zu den Vorjahresstandorten signifikant geringerer Befall von 2,9% mit *Fusarium* spp. auf. Sehr viel stärker als der *Fusarium*-Befall war das Auftreten von *M. nivale* im Jahr 1998. In Kleve und Soest waren die Körner zu 39% mit diesem Pathogen befallen, während sich bei den gleichen Sorten der Befall in Lichtenau auf einem signifikant geringeren Niveau von 11% befand. Im Jahr 1999 wurde am Standort Auweiler kein *M. nivale*-Befall an den Körnern nachgewiesen.

Im Jahr 1998 war am Standort Kerpen-Buir im konventionellen Anbau (B) sowohl der *Fusarium*-Befall als auch der *M. nivale*-Befall der Körner auf Grund jahresbedingter Einflüsse signifikant höher als im Jahr 1999. Körner derselben Sorten waren im Jahr 1998 zu 6,1% mit Fusariosen befallen, im Jahr 1999 aber nur zu 2,5%. Der Kornbefall mit *M. nivale* betrug im Jahr 1998 10,3%, im nächsten Jahr nur 0,3%. In Neukirchen-Vluyn war das Befallsniveau im Jahr 2000 an diesen Sorten mit 10,2% am höchsten im Vergleich der drei Jahre. Der *M. nivale*-Befall war mit 2,6% dagegen bedeutend niedriger als im Kerpen-Buir im Jahr 1998, jedoch höher als im Jahr 1999.

Die Gegenüberstellung der Kornproben aus ökologischem und konventionellem Anbau lässt nur einen eingeschränkten Vergleich zu, da der Standorteinfluss berücksichtigt werden muss. Auffällig war jedoch der extrem hohe Befall mit *M. nivale* im ökologischen Anbau an den Standorten Kleve und Soest. Auch der Vergleich über alle Sorten ist nur bedingt möglich. Im ökologischen Anbau wurden sechs Weizensorten herangezogen, die nach BSA-Einstufung eine mittlere Anfälligkeit gegenüber Ährenfusariosen besitzen (Note: 4,0). Im konventionellen Anbau wurden dagegen 16 Weizensorten betrachtet, die mit einer durchschnittlichen Note von 5,3 höher eingestuft und somit stärker anfällig gegenüber Ährenfusariosen waren (vergl. Tab. 4).

3.1.4 Spektrum der im Rheinland erfassten *Fusarium*-Arten

3.1.4.1 Artenspektrum 1998 - 2000

In den Jahren 1998 - 2000 wurden alle *Fusarium*-Arten, die von Weizenkörnern aus dem konventionellen Anbau isoliert wurden, bestimmt. Im Mittel aller untersuchten Standorte, Sorten und Jahre erwies sich *F. avenaceum* als dominierende Art mit einem durchschnittlichen Anteil von 37,8% am Gesamtspektrum (Abb. 3). Zusammen mit *F. culmorum* (Ø 19,9%) machten diese beiden *Fusarium*-Arten in allen drei Jahren 58% des Gesamtbefalls aus. Daneben traten *F. graminearum*, *F. poae*, *F. tricinctum* und *F. cerealis* mit durchschnittlichen Befallshäufigkeiten von 11,3%, 9,5%, 6,9% bzw. 3,8% auf. Das

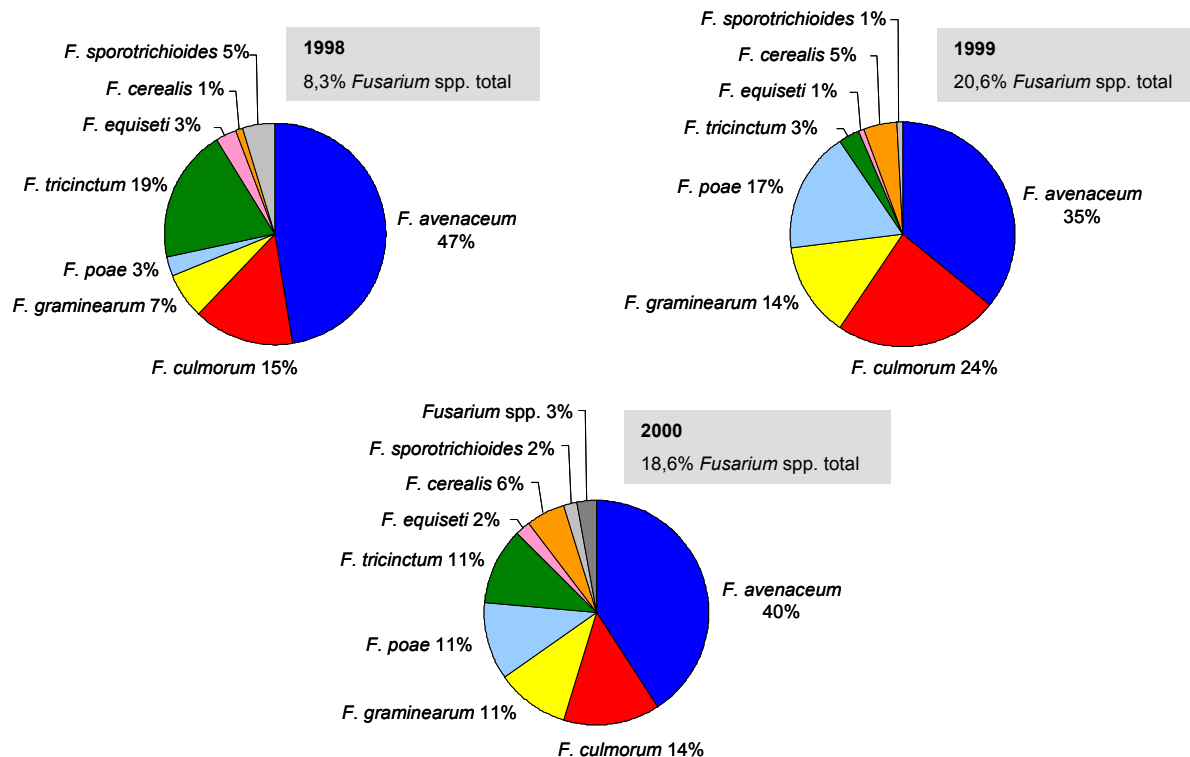


Abb. 3: Zusammensetzung des Artenspektrums der *Fusarium*-Arten an Weizenkörnern aus dem konventionellen Anbau in den Jahren 1998 – 2000 gemittelt über alle Standorte und Sorten. Einige Sorten wurden mehrmals an verschiedenen Standorten untersucht. 1998: 1/14 (Anzahl Standorte/Anzahl Sorten), 1999: 7/37, 2000: 7/34

Befallsniveau lag im konventionellen Anbau im Jahr 1998 um 55 – 60% unter dem der folgenden Jahre. Die Jahre 1999 und 2000 wiesen im Gesamtmittel eine Befallshäufigkeit der Körner von 20,6% bzw. 18,6% auf. Die Gewichtung einzelner *Fusarium*-Arten im Gesamtspektrum variierte in den Jahren. Trat *F. tricinatum* in den Jahren 1998 und 2000 als zweithäufigste Art auf, so spielte diese Art im Jahr 1999 eine eher untergeordnete Rolle. *F. poae*, welcher im Jahr 1999 und 2000 als dritthäufigste Art von den Körnern isoliert wurde, machte im Jahr 1998 nur 3% aller auftretenden Arten aus. Im Jahr 1998 wurden aber auch nur Kornproben eines Standortes untersucht, in den Jahren 1999 und 2000 dagegen 7 Standorte. Der Anteil von *F. culmorum* variierte ebenfalls und war in den Jahren 1998 und 2000 anteilmäßig um 40% geringer als im Jahr 1999.

3.1.4.2 Korrelationen im Artenspektrum

Ährenfusariosen an Weizen wurden an allen Standorten durch das Auftreten mehrerer *Fusarium*-Arten bedingt. War ein Korn befallen, so trat üblicherweise nur eine Art daran auf,

Tab. 25: Korrelationen zwischen dem Auftreten von *Fusarium*-Arten isoliert von Weizenkörnern unbehandelter Pflanzen von unterschiedlichen Sorten und Standorten in den Jahren 1998 - 2000 im Rheinland (n=70).

	FAV	FCU	FCER	FPO	FTR	FSPO	FEQ
FGR	-0.004 ¹ n.s.	0.494 *** ²	0.187 n.s.	0.256 n.s.	-0.026 n.s.	0.237 n.s.	0.183 n.s.
FAV		0.393 ***	0.244 n.s.	0.206 n.s.	0.338 **	0.227 n.s.	0.222 n.s.
FCU			0.369 **	0.291 n.s.	0.051 n.s.	0.143 n.s.	0.318 **
FCER				0.370 **	0.032 n.s.	0.067 n.s.	0.080 n.s.
FPO					0.093 n.s.	0.118 n.s.	0.159 n.s.
FTR						0.422 ***	0.297 n.s.
FSPO							0.257 n.s.

¹ Korrelationskoeffizient nach Pearson

² *** signifikant ($\alpha=0,001$), ** signifikant ($\alpha=0,01$), n.s. – nicht signifikant

FAV - *F. avenaceum*, FCU - *F. culmorum*, FGR - *F. graminearum*, FPO - *F. poae*, FTR - *F. tricinctum*, FEQ - *F. equiseti*, FCE - *F. cerealis*, FSPO - *F. sporotrichioides*.

gelegentlich konnten aber auch zwei *Fusarium*-Arten von einem Korn isoliert werden. Um die Frage zu klären, ob zwischen dem Auftreten verschiedener Arten ein Zusammenhang besteht, wurden alle *Fusarium*-Arten, die in den Jahren 1998 bis 2000 von Körnern unbehandelter Weizenpflanzen isoliert wurden, in Korrelation zueinander gesetzt (Tab. 25). In den meisten Fällen waren die einzelnen Arten ihrem Auftreten positiv miteinander korreliert. Eine positive Korrelation bedeutet dabei, dass das Auftreten dieser zwei Arten in einem ursächlichen Zusammenhang steht. Lagen negative Korrelationen vor, so waren diese nicht signifikant. Korrelationskoeffizienten von $r > 0,32$ konnten als signifikant abgesichert werden. Das Auftreten von *F. culmorum* war sehr häufig positiv signifikant mit dem einer weiteren Art korrelierte, so mit *F. avenaceum*, *F. graminearum*, *F. cerealis* und *F. equiseti*. Auch bestand ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem Auftreten von *F. avenaceum* und *F. tricinctum* und zwischen dem Auftreten von *F. tricinctum* und *F. sporotrichioides*. Das Auftreten der Arten *F. culmorum*, *F. avenaceum* und *F. tricinctum* war mit dem Auftreten mehrerer Arten korreliert, während das Auftreten aller anderen Arten nur mit dem einer weiteren Art korreliert war.

3.1.4.3 Einfluss der Vorfrucht

Die für das Rheinland typische Fruchtfolge besteht aus den Feldfrüchten Zuckerrübe, Wintergerste und Winterweizen. Da die Vorfrucht eine bedeutende Rolle beim Auftreten der Ährenfusariosen hat (OBST *et al.* 1997), wurden unter diesem Gesichtspunkt 21 Versuche ausgewertet. Das Auftreten der *Fusarium*-Arten, isoliert von Weizenkörnern unbehandelter Pflanzen, ist in Abhängigkeit von der jeweiligen Vorfrucht des Bestandes in Tabelle 26 dargestellt. Nach Vorfrucht Zuckerrübe und Winterweizen wurde ein besonders starker Kornbefall mit *Fusarium* spp. von 22,8% bzw. 16,2% festgestellt. Nach Winterraps war der Ährenbefall mit 5,1% dagegen signifikant geringer. Das Auftreten von *M. nivale* war jedoch nach Winterraps deutlich stärker als nach Vorfrucht Zuckerrübe oder Winterweizen. *F. avenaceum* wurde signifikant häufiger nach Vorfrucht Zuckerrübe und Winterweizen von den Körnern isoliert als nach der Vorfrucht Winterraps. Ein verstärktes Auftreten von *F. culmorum* wurde ebenfalls nach Vorfrucht Zuckerrübe festgestellt. Auffällig war auch das deutlich stärkere Auftreten von *F. tricinctum* nach Vorfrucht Winterweizen. Für die beiden Arten *F. graminearum* und *F. poae* konnte kein Zusammenhang zwischen dem Auftreten einer Art und den untersuchten Vorfrüchten aufgezeigt werden.

3.1.4.4 Standorteinfluss

Im Jahr 2000 wurde die *Fusarium*-anfällige Sorte `Ritmo` an sieben Standorten angebaut. Die Pflanzen waren mit Wachstumsregulatoren, aber nicht mit Fungiziden behandelt worden. An allen Standorten stand als Vorfrucht Zuckerrübe, nur in Titz-Spiel folgte Winterweizen auf Winterweizen. Der Ährenbefall ist in Abhängigkeit vom Standort in Abbildung 4 aufgezeigt.

Tab. 26: Einfluss der Vorfrucht auf das Auftreten der *Fusarium*-Art bzw. dem *Fusarium*-Gesamtbefall von Winterweizenkörnern. Unterschiedliche Sorten wurden an 8 Standorten in den Jahren 1999 – 2000 im Rheinland untersucht (n = 16 (ZR), 3 (WW) bzw. 2 (WRaps)).

	FSP total ¹	FAV	FCU	FPO	FGR	FTR	MNIV
BHK ² [%]	18,5	10,3	3,7	1,2	1,8	1,3	0,9
Zuckerrübe	22,8 a	13,9 a	3,9 a	1,0 n.s.	1,9 n.s.	1,3 b	1,0 b
Winterweizen	16,2 ab	6,4 ab	0,6 b	1,2 n.s.	1,5 n.s.	5,3 a	0,2 b
Winterraps	5,1 b	1,1 b	0,1 b	1,3 n.s.	0,9 n.s.	0,3 b	2,3 a

¹ FSP total – Gesamtbefall mit *Fusarium* spp., FAV - *F. avenaceum*, FCU - *F. culmorum*, FGR - *F. graminearum*, FPO - *F. poae*, FTR - *F. tricinctum*, MNIV - *M. nivale*.

² Befallshäufigkeit

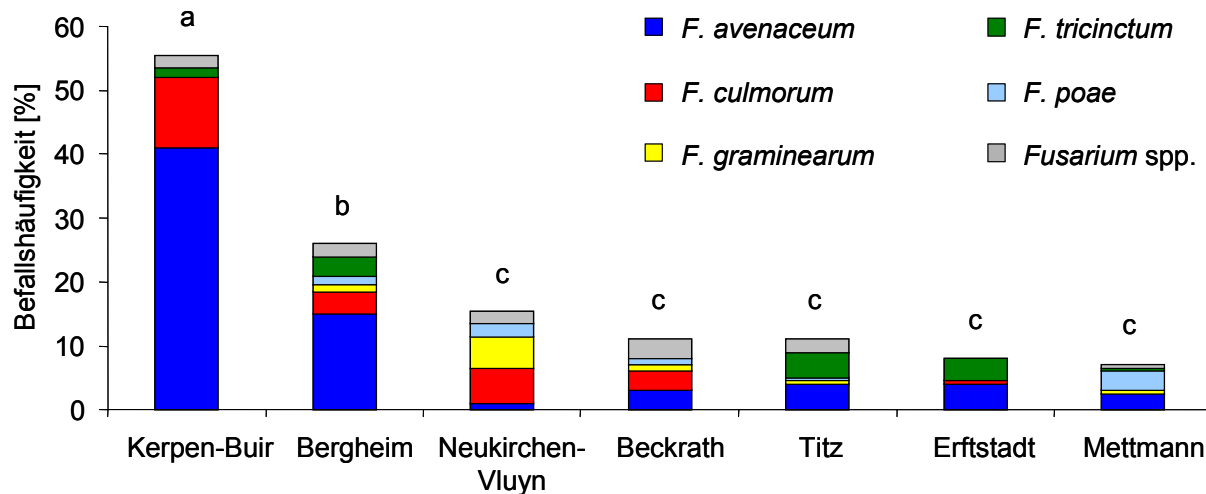


Abb. 4: Vergleich der Befallshäufigkeit und der auftretenden *Fusarium*-Arten an unbehandelten Weizenpflanzen der Sorte `Ritmo` an sieben Standorten im Rheinland im Jahr 2000.

Über alle Standorte gemittelt betrug die Befallshäufigkeit der Körner 18,9% und variierte dabei zwischen 7 – 54%. Kornproben der Standorte Kerpen-Buir und Bergheim waren mit 54% bzw. 26% signifikant stärker mit *Fusarium* spp. befallen als Proben aller anderen Standorte. Letztere wiesen einen nicht signifikant zu unterscheidenden Befall von durchschnittlich 10,5% auf. Standortbedingte Einflüsse spiegelten sich jedoch auch im *Fusarium*-Spektrum wieder. An den meisten Standorten war *F. avenaceum* die vorherrschende Art. Eine Ausnahme bildeten die Standorte Neukirchen-Vluyn, Beckrath und Mettmann. An den zwei erstgenannten Standorten trat *F. culmorum* als häufigste *Fusarium*-Art auf, in Neukirchen-Vluyn zusätzlich auch *F. graminearum*. In Mettmann dominierte *F. poae*. *F. tricinctum* besaß einen ausgesprochen hohen Anteil an den Standorten Titz-Spiel und Erftstadt.

3.2 Befallsverlauf von *Fusarium* spp. an Weizen

3.2.1 Ausbreitung auf der Pflanze

In Meckenheim (2000) wurde zu vier Entwicklungsstadien der Weizenpflanzen die Befallshäufigkeit der Blätter sowie die Sporendichte auf den Blättern und Ähren bestimmt. Die Probennahme erfolgte zu den BBCH-Stadien 51, 61, 75 und 85 (Bestimmung der Sporendichte) bzw. zu BBCH 39, 51, 75 und 85 (Bestimmung der Befallshäufigkeit).

3.2.1.1 Sporendichte auf der Blattoberfläche

Die Anzahl der *Fusarium*-Sporen auf den Blättern und Ähren wurde durch Abschwemmen der Pflanzenteile und Ausplattieren der verdünnten Sporensuspension auf PDA ermittelt. *Fusarium*-Sporen konnten zum ersten Probetermin Mitte Mai (BBCH 51) auf allen Blattetagen, ausgenommen dem Fahnenblatt, nachgewiesen werden (Abb. 5). Zu diesem Zeitpunkt wurden auf den Blattetagen F-4 und F-5 Sporendichten von 32 bzw. 446 Sporen/Blatt vorgefunden, während auf den jüngeren Blattetagen F-3 bis F-1 eine Dichte von nur 4 Sporen/Blatt vorlag. Zu dem nachfolgenden Entwicklungsstadium BBCH 61 stieg die Sporendichte auf den Blättern an. Sie variierte auf den Blattetagen F bis F-4 zwischen 28 und 119 Sporen/Blatt und erhöhte sich auf der Blattetage F-5 auf 1320 Sporen/Blatt. Im Zeitraum von Ende Mai (BBCH 61) bis Anfang Juni (BBCH 75) blieb die Sporendichte annähernd konstant. Nur auf dem Fahneblatt und F-4 wurde eine erhöhte Anzahl abgeschwemmter Sporen verzeichnet, die um das zwei- bzw. fünffache höher war als zum Wachstumsstadium BBCH 61. Mit zunehmender Blattinsertion wurde zum Zeitpunkt BBCH 75 eine abnehmende Sporendichte verzeichnet; an der Ähre waren durchschnittlich 117 *Fusarium*-Sporen vorhanden. Zu BBCH 85 wurde auf allen Blattetagen eine stark erhöhte Anzahl Sporen festgestellt. Im Mittel aller Blattetagen nahm die Dichte auf durchschnittlich $1,6 \times 10^4$ Sporen/Blatt zu. Die Ähre war mit über 3×10^4 Sporen/Ähre am dichtesten besiedelt, das vorhandene *Fusarium*-Spektrum war weitgehend mit dem an den

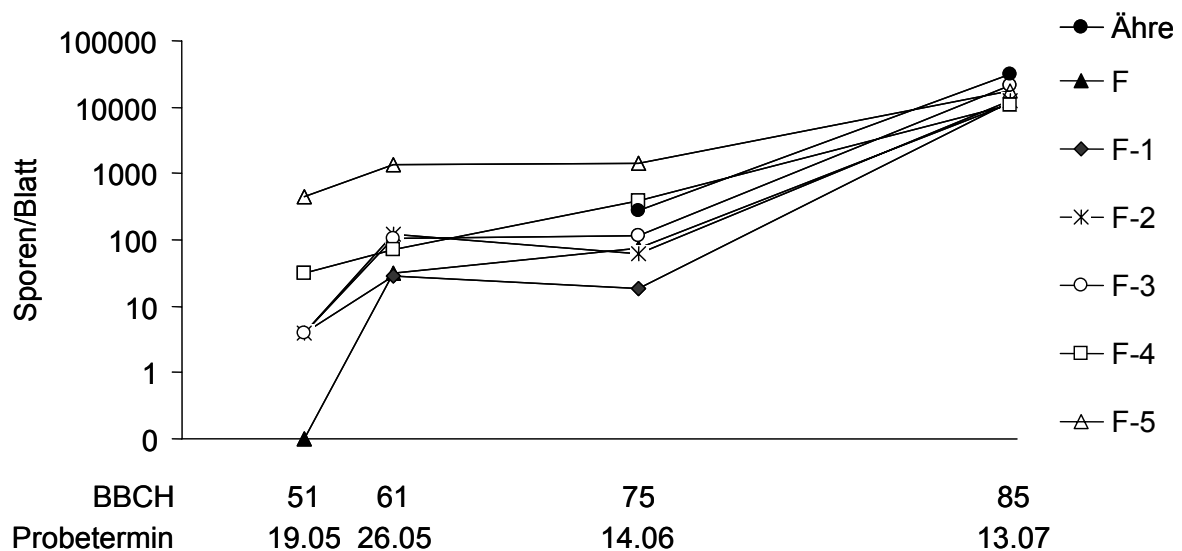


Abb. 5: Auftreten von *Fusarium*-Sporen auf den Blattetagen von Winterweizen der Sorte 'Ritmo' zu vier Terminen in der Vegetationsperiode. Die Pflanzen entstammten einem Weizenbestand in Meckenheim, 2000.

Körnern z. Zt. der Ernte auftretendem Artenspektrum identisch. Eine Sonderstellung nahm *F. poae* ein. Erst zu BBCH 75 waren Sporen dieser Art mit einem Anteil von 62% aller vorkommenden *Fusarium*-Arten vorzufinden und das ausschließlich an der Ähre. Zu BBCH 85 wurden sie zusätzlich auch vom Fahnenblatt isoliert.

3.2.1.2 Infektion des Blattes mit *Fusarium*-Arten

Um Blattinfektionen mit Fusariosen nachweisen zu können, wurden die Blätter zunächst oberflächendesinfiziert und anschließend auf Selektivnährmedium ausgelegt. Zum ersten Probetermin (BBCH 39) waren durchschnittlich 25,4% (10 – 57%) der Blätter aller Blattetagen mit *Fusarium spp.* infiziert (Abb. 6). Keines der untersuchten Blätter wies jedoch Befallssymptome auf. Zu Beginn des Ährenschiebens (BBCH 51) zeigte sich keine auffällige Veränderung der Blattbesiedlung mit *Fusarium spp.*, auch das zuvor vollständig entfaltete Fahnenblatt blieb unbesiedelt. Dafür waren zu diesem Zeitpunkt aber bereits 100% der Blätter der bodennahen Blattetage F-5 befallen. Zur Milchreife (BBCH 75) wurde auf allen Blattetagen ein verstärktes Auftreten der Fusariosen beobachtet. Auf den Blattetagen F-1 bis F-5 lag die Befallshäufigkeit bei durchschnittlich 76% (50 – 95%), 19% der Fahnenblätter waren nun mit *Fusarium spp.* besiedelt. Zur Teigreife der Weizenpflanzen (BBCH 85), bei beginnender Seneszenz der Blätter, wurde auf allen Blattetagen ein Befall mit *Fusarium spp.* von durchschnittlich 98% (90 – 100%) nachgewiesen. Die auftretenden *Fusarium*-Arten wurden von den Weizenblättern isoliert und identifiziert (Abb. 7). Die zum ersten Probetermin (BBCH 39) vorgefundenen Arten *F. poae*, *F. oxysporum*, *F. avenaceum*, *F. equiseti* und

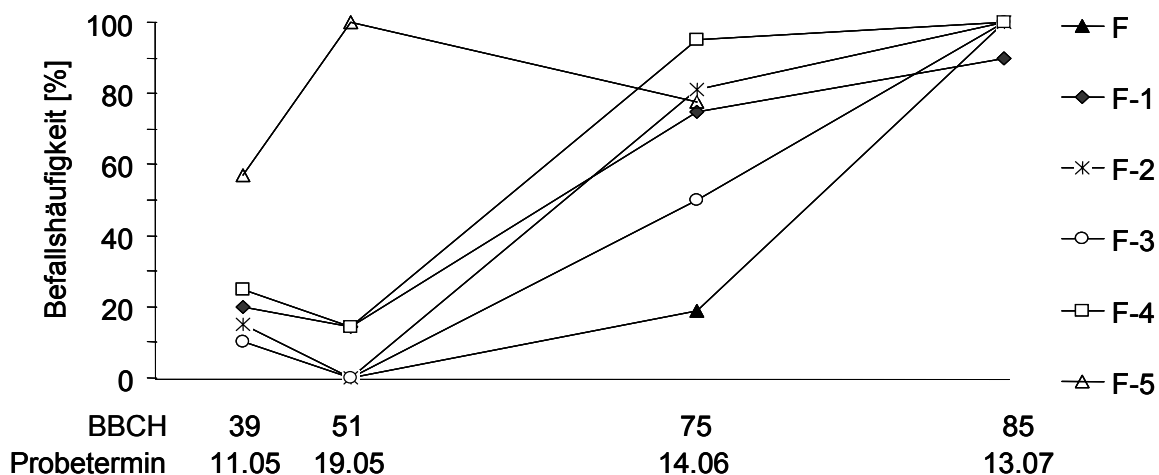


Abb. 6: Auftreten von *Fusarium spp.* an Blättern der Blattetagen F bis F-5 der Weizensorte 'Ritmo' im Verlauf der Vegetationsperiode 2000 in Meckenheim nach oberflächiger Desinfektion der Blätter.

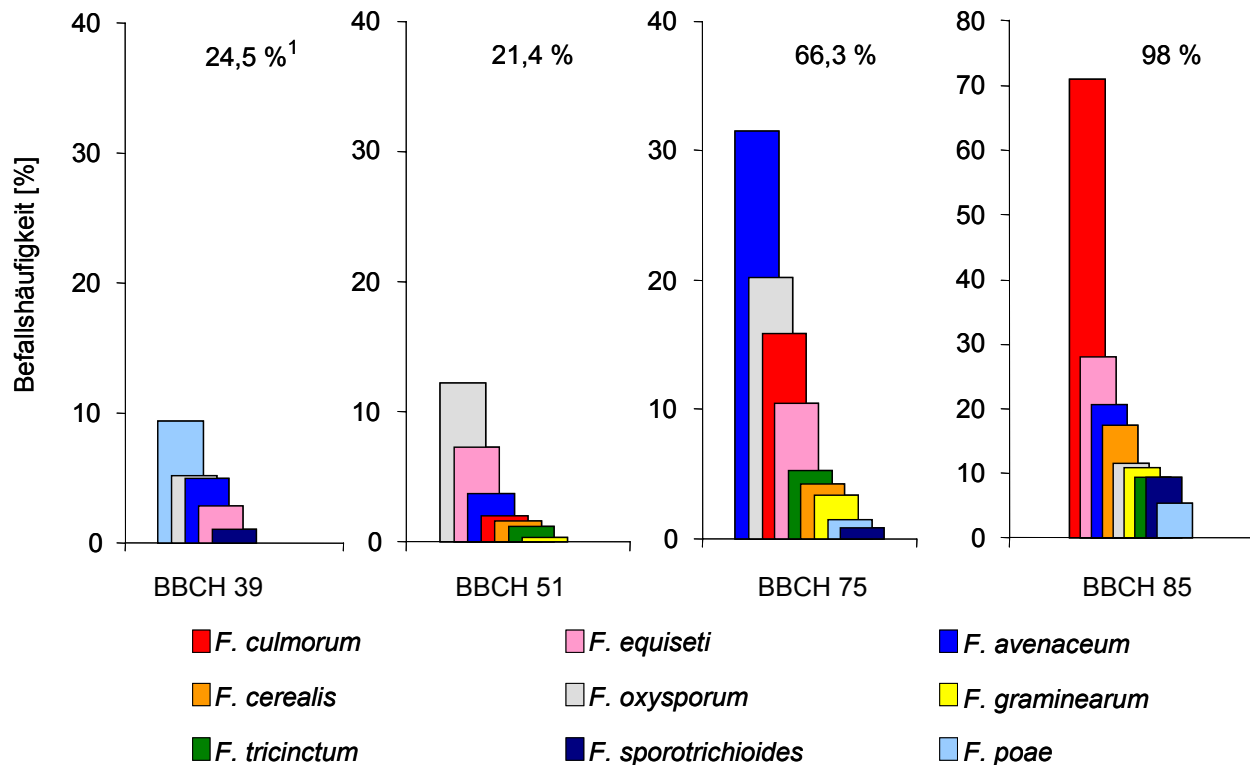


Abb. 7: Spektrum der im Laufe der Vegetationsperiode isolierten *Fusarium*-Arten und Befallshäufigkeiten der oberflächendesinfizierten Weizenblättern der Sorte 'Ritmo' (n = 10, Meckenheim 2000), ¹ Ø Gesamtbefall der Blätter aller Blattetagen.

F. sporotrichioides konnten auch zu den weiteren Probeterminen von den Blättern isoliert werden. Ab BBCH 51 konnte zusätzlich eine Blattbesiedlung durch die Arten *F. tricinatum*, *F. cerealis* und *F. culmorum* nachgewiesen werden. War das *Fusarium*-Spektrum zum ersten Probetermin noch sehr eng, so wurde es zum Zeitpunkt des Ährenschiebens (BBCH 51) breiter. Die Befallshäufigkeiten der Blätter mit den *Fusarium*-Arten nahm im Laufe der Vegetationsperiode kontinuierlich zu. Einzelne Blätter waren dabei oft mit zwei oder mehreren *Fusarium*-Arten infiziert. *F. poae* besiedelte zu BBCH 39 fast 10% der Blätter und war bei einem Gesamtbefall von 24% die am stärksten vertretene *Fusarium*-Art. An den nachfolgenden Probeterminen war der Befall mit *F. poae* mit durchschnittlich 2,3% relativ gering. Blattbefall mit *F. oxysporum* war zu den BBCH-Stadien 39 - 51 mit 12,5% sehr häufig, jedoch nicht mehr zum Zeitpunkt der Abreife (BBCH 85). Zum dritten Probetermin waren 31,5% der Blätter mit *F. avenaceum* befallen, dies entsprach 48% des Gesamtbefalls. Zu BBCH 85 dominierte *F. culmorum* an den Blättern und besiedelte 70% der insgesamt befallenen Blätter.

Abbildung 8 dokumentiert exemplarisch für die auftretenden *Fusarium*-Arten die Ausbreitung von *F. avenaceum*, *F. culmorum* und *F. poae* an der Weizenpflanze. Aufgezeigt wird der Befallsverlauf an den einzelnen Blattetagen zwischen den Wachstumsstadien BBCH 39 und BBCH 85 an der Sorte `Ritmo`. Zu den ersten beiden Probeterminen wurden auf der unteren Blattetage F-5 Blattinfektionen mit *F. avenaceum* mit einer Befallshäufigkeit von durchschnittlich 20% festgestellt. *F. culmorum* besiedelte diese Blattetage mit einer Befallshäufigkeit von 8,6% erst zu BBCH 51. Höhere Blattetagen waren bis zu diesem Zeitpunkt nur sehr gering (\varnothing 0,3%) mit *F. avenaceum* bzw. *F. culmorum* besiedelt. Zu BBCH 75 nahm die Befallshäufigkeit mit *F. avenaceum* auf allen Blattetagen zu und durchschnittlich 31,5% der Blätter waren mit dieser Art befallen, wobei die Befallshäufigkeiten in Abhängigkeit von den Blattetagen zwischen 6,3% und 47,5% variierten. Bis zur Abreife (BBCH 85) kam es jedoch nicht zu einer weiteren Befallszunahme und eine Befallshäufigkeit von 50% wurde auf keiner Blattetage überschritten. Anders dagegen verhielt sich die Ausbreitung von *F. culmorum*. Diese *Fusarium*-Art besiedelte zu BBCH 75 im Mittel nur 19% der Blätter, ausgenommen das Fahnenblatt (0%). Zu BBCH 85 erhöhte sich die Befallshäufigkeit mit *F. culmorum* an allen Blattetagen jedoch auf durchschnittlich 71%, das Fahnenblatt war mit 83% am häufigsten besiedelt. Die Befallshäufigkeit zwischen den einzelnen Blattetagen variierte bei *F. culmorum* mit 15 - 25% weniger stark als bei *F. avenaceum*. *F. poae* besiedelte die Blattetagen der Weizenpflanze im Vergleich zu den beiden anderen Arten kaum. Zum ersten Boniturtermin (BBCH 39) wurde auf den Blattetagen F-5 bis F-1 ein Blattbefall zwischen 0 - 15% beobachtet. Nachfolgend konnte nur eine sporadische Besiedlung einzelner Blattetagen nachgewiesen werden. Eine Besiedlungsrate der Blätter größer 10% wurde jedoch nicht überschritten.

Die *Fusarium*-Arten werden auf Grund morphologischer Eigenschaften in Sektionen unterteilt. Die im Rheinland vorherrschenden Arten gehören den Sektionen *Roseum* (*F. avenaceum*), *Discolor* (*F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. cerealis*), *Sporotrichiella* (*F. poae*, *F. tricinctum*, *F. sporotrichioides*) und *Gibbosum* (*F. equiseti*) an. Lichtmikroskopisch waren die Arten durch ihre Sporengröße und -krümmung, die Anzahl der Septen, die Ausprägung der Kopf- und Fußzellen sowie die Art der Konidienträger, an denen vegetativ Sporen produziert werden, zu unterscheiden (Bild 1 und 2). Wichtige Unterscheidungsmerkmale waren weiterhin die artspezifische Bildung von Makro- und Mikrosporen und auch das Vorhandensein von Chlamydosporen (vegetative Dauersporen).

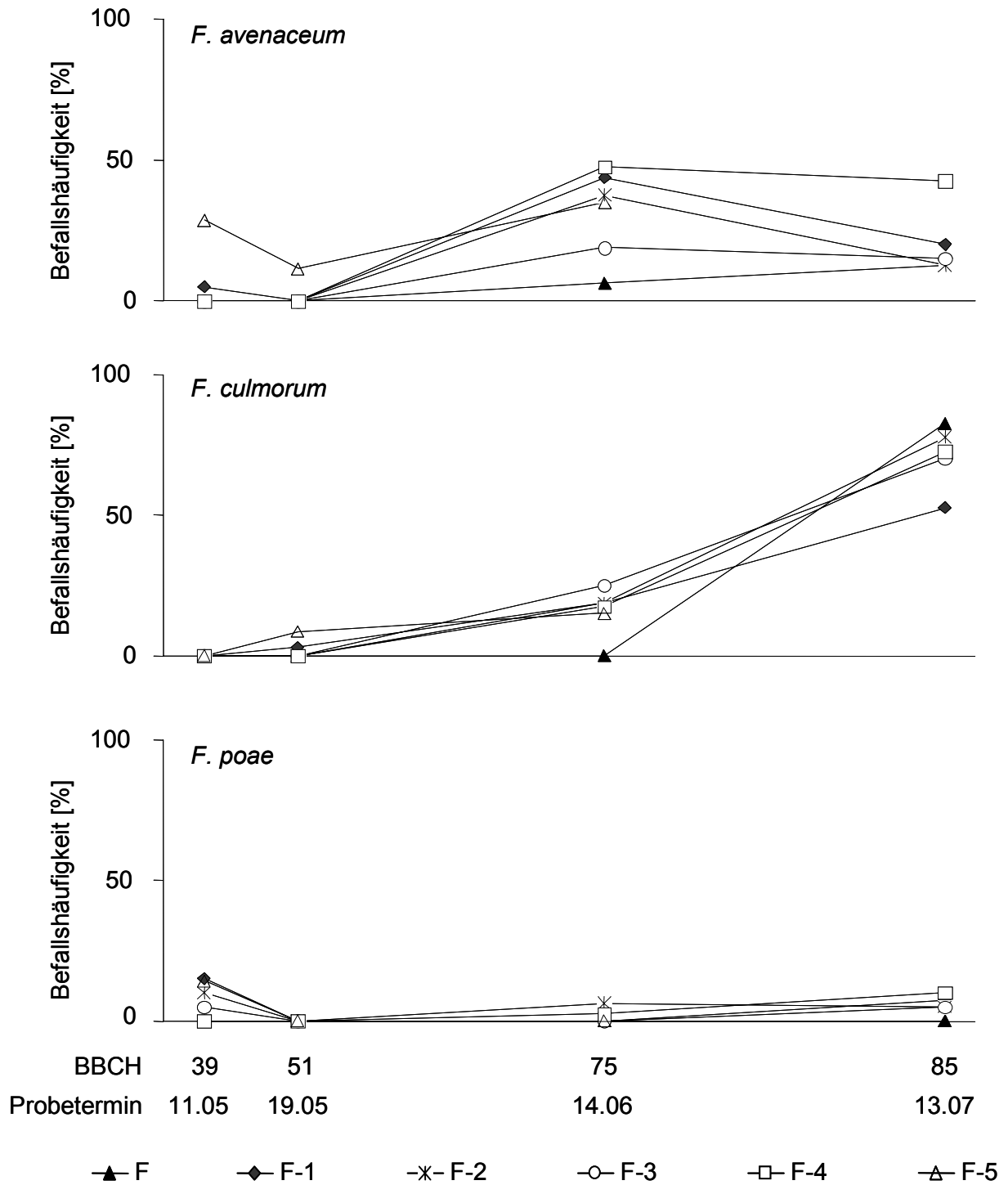


Abb. 8: Besiedlung der Blätter von Winterweizen mit *F. avenaceum*, *F. culmorum* und *F. poae*, dargestellt als Befallshäufigkeit oberflächendesinfizierter Weizenblätter der Sorte 'Ritmo' im Laufe der Vegetationsperiode in Meckenheim im Jahr 2000 (n = 10).

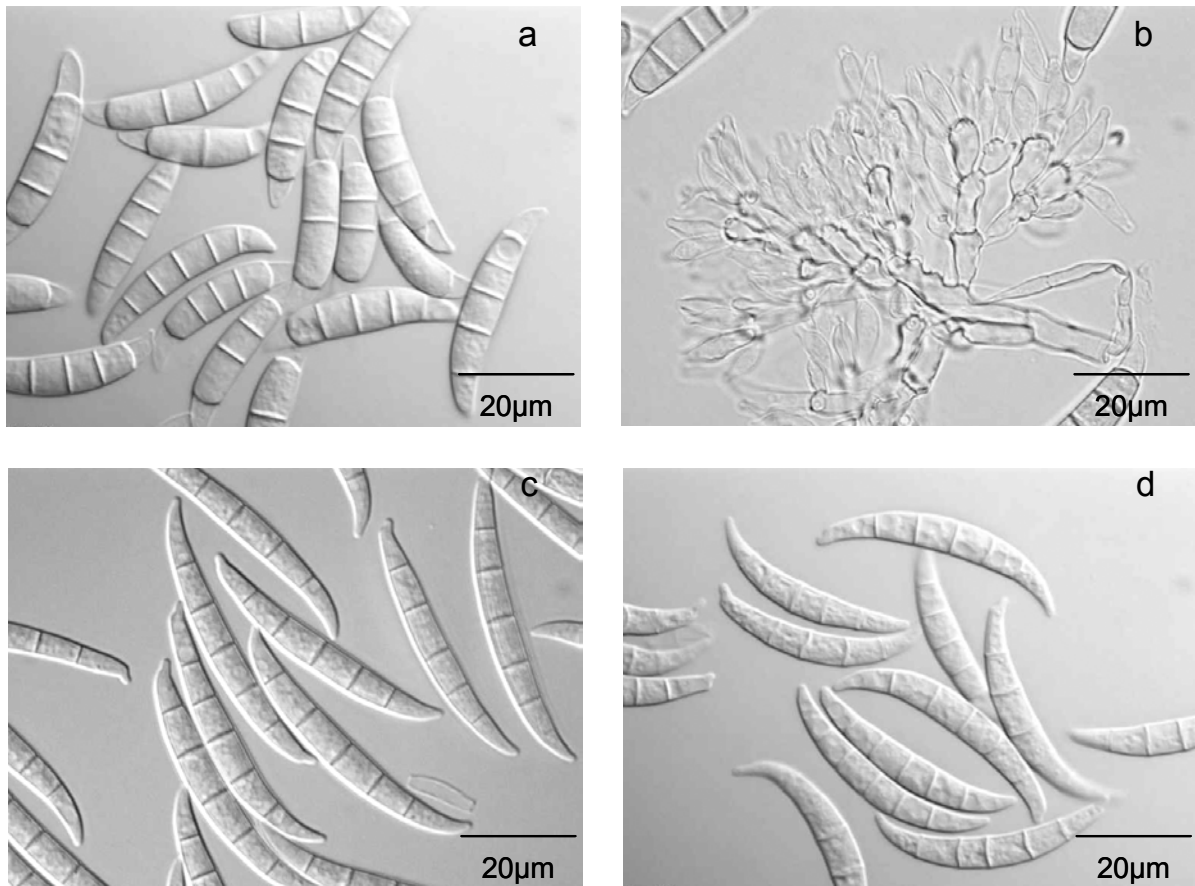


Bild 1: Konidiosporen von *Fusarium* spp. der Sektion *Discolor*, lichtmikroskopische Aufnahmen:

- a) 4 – 5-fach septierte Makrosporen von *F. culmorum*
- b) monophialider Sporenträger von *F. culmorum* an denen vegetativ Makrosporen gebildet werden
- c) 5-fach septierte Makrosporen von *F. graminearum*
- d) 4 - 5-fach septierte Makrosporen von *F. cerealis* (synonym: *F. crookwellense*)

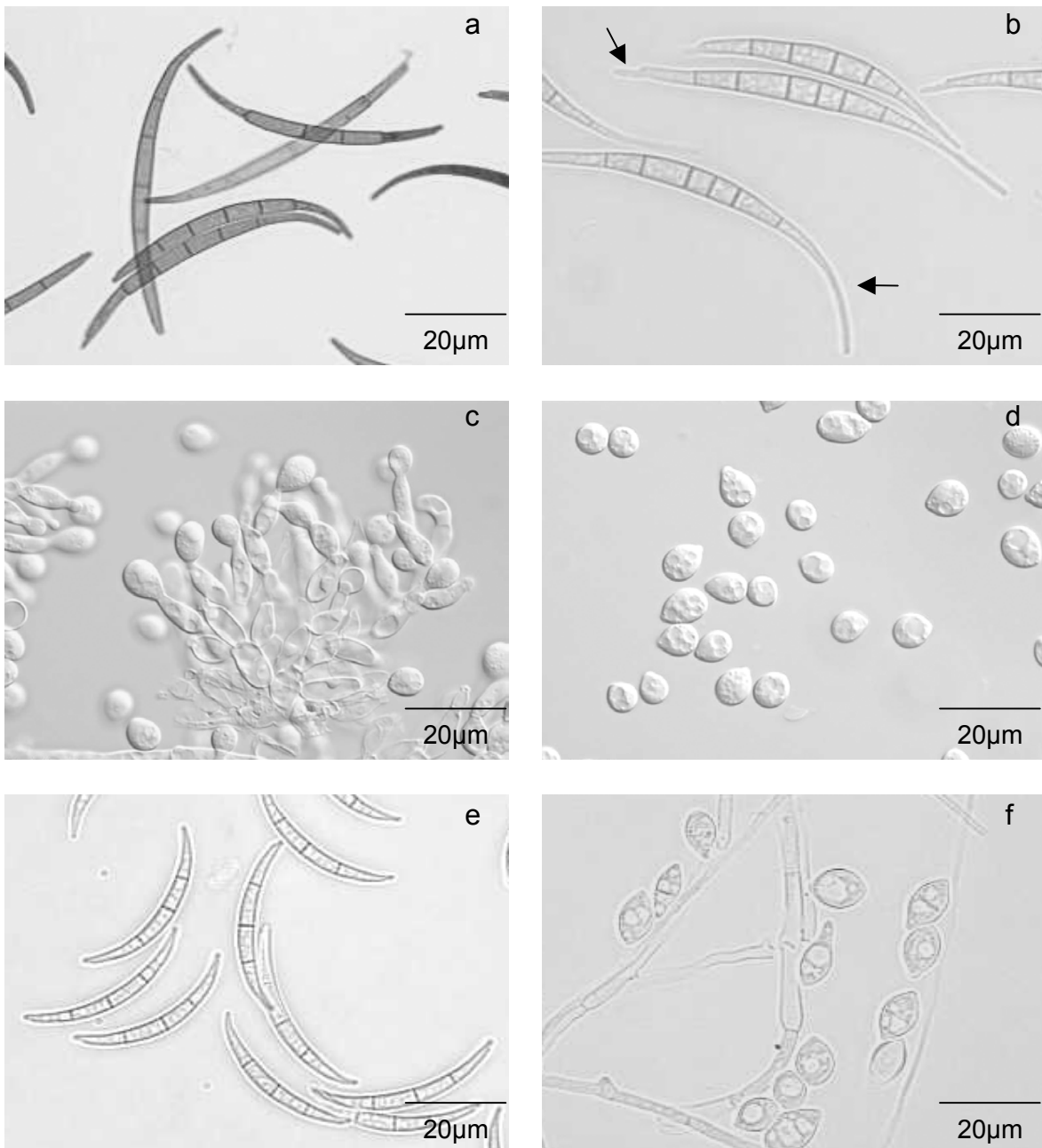


Bild 2: Konidiosporen von *Fusarium* spp. unterschiedlicher Sektionen, lichtmikroskopische Aufnahmen:

- a) - 6-fach septierte Makrosporen von *F. avenaceum*, Sektion Roseum
- b) – 6-fach septierte Makrosporen von *F. equiseti*, Sektion Gibbosum, typisch bei dieser Art sind die stark gekrümmten Kopfzellen und die ausgeprägten Fußzellen
- c) monophialider Sporenträger von *F. poae* und Mikrosporen, die an ihnen vegetativ gebildet werden
- d) runde bis tropfenförmige, nicht septierte Mikrosporen von *F. poae*, Sektion Sporotrichiella
- e) 3-fach septierte Makrosporen von *F. tricinctum* Sektion Sporotrichiella
- f) zitronenförmige, nicht bis einfach septierte Mikrosporen von *F. tricinctum*

3.3 Einfluss der Umweltfaktoren

Der Witterungsverlauf, insbesondere die Niederschläge, aber auch die Temperatur vom Zeitpunkt des Ährenschiebens bis hin zur Kornreife haben einen erheblichen Einfluss auf das Auftreten von *Fusarium* spp. an der Weizenähre. Die Blüte des Weizens gilt dabei als empfindlichstes Wachstumsstadium. Eine zusätzliche Beregnung unter Freilandbedingungen sollte diese Abhängigkeiten darlegen.

3.3.1 Niederschlag

Im Jahr 2000 wurden in Meckenheim mittels einer Überkopfberegnung der Einfluss des Niederschlags auf den *Fusarium*-Befall von sechs Weizengenotypen untersucht. Beide Varianten (mit bzw. ohne Überkopfberegnung) waren den natürlichen Witterungsbedingungen bzw. einer Sprühinokulation zu BBCH 65 ausgesetzt. Die Auswirkung auf den Kornbefall mit *Fusarium* spp. wurden am Erntegut der Sorten `Atlantis`, `Bandit`, `Hanseat`, `Kanzler` und `Ludwig` sowie der Linie `FR 444/06` erfasst.

Die sechs Weizensorten blühten in Meckenheim in der Zeit vom 24. Mai bis zum 2. Juni (Abb. 9). Im Vergleich zu den anderen Sorten fiel die Weizenlinie `FR 444/06` durch ihren sehr frühen Blühbeginn am 24. Mai auf. Die Tage vorher waren von einer feucht-kühlen Witterung gekennzeichnet. Um den 29./30. Mai, zur Blüte der Sorten `Kanzler`, `Bandit`, `Hanseat` und `Ludwig`, kam es wiederum zu Niederschlägen von 0,5 - 6,0 mm. Zum Ende

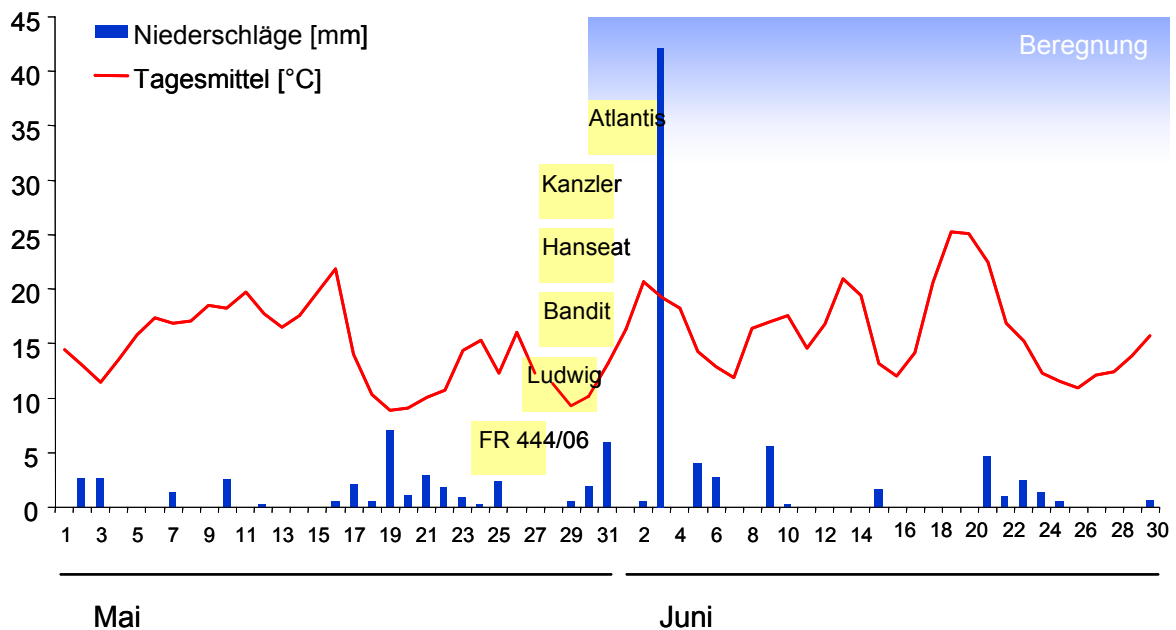


Abb. 9: Witterung (Niederschlag und Temperatur) zur Zeit der Weizenblüte in Meckenheim im Jahr 2000 (DEUTSCHER WETTERDIENST 2000, KUNZ pers. Mitt.), die Blühzeitpunkte der 6 Weizensorten sind gelb hinterlegt.

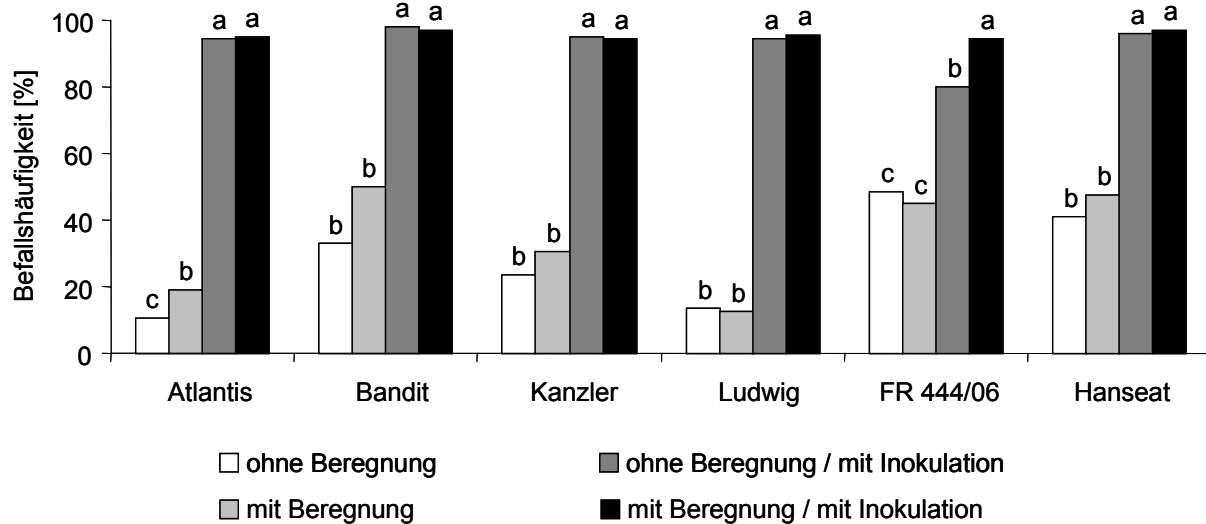


Abb. 10: Befallshäufigkeit von sechs Winterweizensorten mit *Fusarium* spp. in Abhängigkeit von Beregnung und Inokulation. Die Inokulation erfolgte mit *F. culmorum* (Isolat C 20, 10^5 Konidien/ml) zu BBCH 65, die Beregnung überkopf (2,4 mm/Nacht) zwischen BBCH 65 - 89 in Meckenheim im Jahr 2000, ($\alpha = 0,05$).

der Blüte der gering befallenen Sorte `Atlantis` fiel nochmals starker Regen mit einer Niederschlagsmenge von > 40 mm. Die durchschnittliche Tagestemperatur im Zeitraum der Weizenblüte lag bei 13,8°C ($\pm 3,2^\circ\text{C}$). Beginnend mit dem 29. Mai bis zur Abreife der Pflanzen wurden diese zusätzlich beregnet. Die Körner der Weizenpflanzen, die einem natürlichen Befallsdruck ausgesetzt waren, wiesen einen *Fusarium*-Befall von durchschnittlich 28,3% (10,5% - 48,5%) auf (Abb. 10). Die starke Streuung um den Mittelwert erklärte sich dabei durch die unterschiedliche Anfälligkeit der Weizensorten gegenüber Ährenfusariosen. Die Sorten `Atlantis` und `Ludwig` waren am geringsten mit Ährenfusariosen befallen, der Kornbefall betrug im Sortenmittel 12%. Eine zusätzliche Überkopf-Beregnung führte zu einer mittleren Befallszunahme um 5,8% auf 34,1% (12,5% - 50%). In Folge dessen nahm bei `Atlantis` der Befall der Körner mit *Fusarium* spp. signifikant um 80% zu. An der Sorte `Kanzler` mit einem mittelstarken Kornbefall von 23,5% und an der Sorte `Bandit` bzw. `Hanseat` mit einem starken Kornbefall von 33% bzw. 41% nahm der Ährenbefall durch die Beregnung zu, jedoch nicht signifikant. Der Ährenbefall der Sorte `Ludwig` sowie der Zuchtlinie `FR 444/06` wurde durch die Beregnung nicht beeinflusst. Eine Sprühinokulation mit *F. culmorum* führte zu einer sehr starken, signifikanten Befallszunahme bei allen Sorten. Nach einer Inokulation waren zwischen 94,5 – 98,0% der Körner befallen. Eine zusätzliche Beregnung änderte das Befallsniveau nicht bedeutend. Eine Ausnahme bildet die Linie `FR 444/06`, bei der ohne Beregnung die Körnern ,nur` zu 80,0% befallen waren, durch die Beregnung nahm der Befall jedoch ebenfalls auf 94,5% zu. Diese Linie unterschied sich nun im Ährenbefall nicht mehr von dem der anderen Sorten.

Die Zusammensetzung des Artenspektrums zeigte, dass *F. avenaceum* mit 8,1% Kornbefall die dominierende *Fusarium*-Art an diesem Standort war (Tab. 27). Die Befallshäufigkeit der Körner mit *F. avenaceum* wurde durch eine Beregnung zwischen Blüte und Abreife der Pflanze signifikant auf 15,5% erhöht. Das Auftreten der Arten *F. poae*, *F. tricinctum* und *F. culmorum* wurde durch die Beregnung nicht bedeutend beeinflusst. Der Kornbefall mit diesen Arten wurde von durchschnittlich 5,3% gering auf 4,6% reduziert. *F. graminearum* verursachte nur einen geringen Kornbefall von 0,1%, welcher durch die Beregnung auf 1,0% anstieg. Der Anteil von *F. avenaceum* am Gesamtspektrum der Arten belief sich ohne Beregnung auf 30,4%, mit Beregnung auf 45%. Demzufolge nahm der prozentuale Anteil der Arten *F. poae*, *F. tricinctum* und *F. culmorum* am Gesamtspektrum ab. Der Anteil von *F. graminearum* nahm geringfügig um 2,6% zu.

Tab. 27: Einfluss einer Beregnung von Weizen vom Zeitpunkt der Blüte bis zur Abreife (BBCH 65-85) auf das Artenspektrum von *Fusarium* spp. am Korn gemittelt über sechs Weizensorten in Meckenheim 2000.

<i>Fusarium</i> -Art	Befallshäufigkeit [%]	
	ohne Beregnung	mit Beregnung
<i>F. avenaceum</i>	8,1 a	15,5 b
<i>F. culmorum</i>	4,3 a	4,5 a
<i>F. graminearum</i>	0,1 a	1,0 a
<i>F. poae</i>	6,2 a	4,7 a
<i>F. tricinctum</i>	5,3 a	4,6 a
<i>Fusarium</i> spp.	0,5 a	0,4 a

Anteil am Gesamtspektrum		

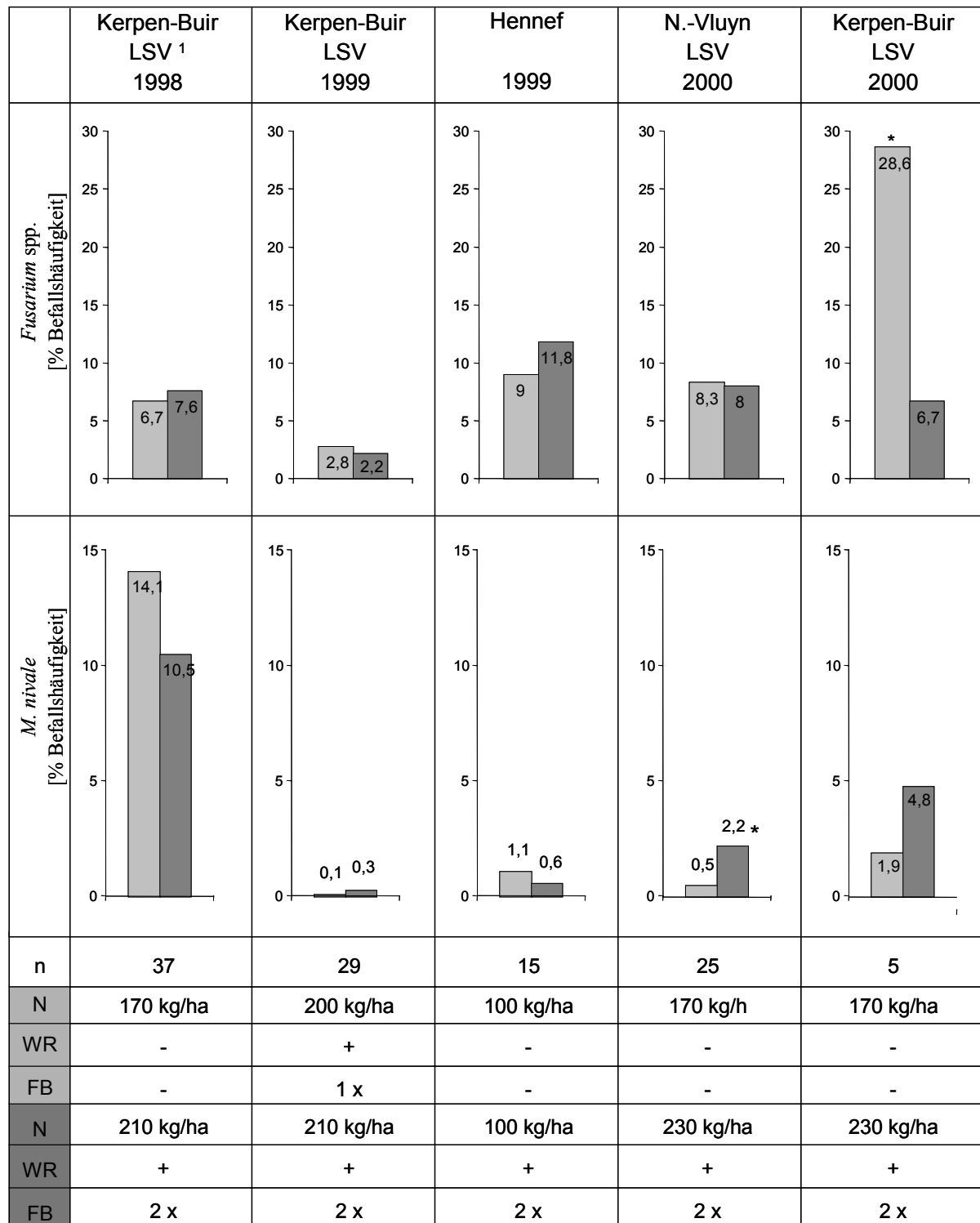
FAV – *F. avenaceum*, FCU – *F. culmorum*, FGR – *F. graminearum*, FPO – *F. poae*, FTR – *F. tricinctum*, FSPP – *Fusarium* spp.

3.4 Einfluss pflanzenbaulicher Parameter

3.4.1 Anbauintensität

Im konventionellen Getreideanbau hat die Anbauintensität einen Einfluss auf das Schaderregerpotential (HOFFMANN *et al.* 1994). Der Vergleich eines intensiven mit einem extensiven Anbausystem sollte diesen Einfluss auf den Befall der Weizenpflanzen mit Ährenfusariosen aufzeigen. Dazu wurden Weizensorten der Landessortenversuche aus dem konventionellen Anbau in mehrjährigen Versuchen miteinander verglichen (Abb. 11). Eine um 40 kg/ha erhöhte Stickstoffgabe, die Anwendung eines Wachstumsregulators und eine zweimalige Fungizidbehandlung führten in Kerpen-Buir im Jahr 1998 zu einer geringen, statistisch jedoch nicht abzusichernden Zunahme des Kornbefalls mit *Fusarium* spp. (+ 1%) im Vergleich zu Pflanzen, die extensiv bewirtschaftet wurden und mit einer Stickstoffgabe von 170 kg/ha sowie ohne Wachstumsregulator und Fungiziden behandelt worden waren. Der Kornbefall mit *M. nivale* war an Pflanzen im extensiven Anbau mit 14,1% höher als an Pflanzen im intensiven Anbau. Hier waren nur 10,5% der Körner mit *M. nivale* besiedelt. Dieser Befallsunterschied konnte aber nicht statistisch abgesichert werden. Im Jahr 2000 lagen entsprechende Behandlungsunterschiede vor; die Stickstoffgabe war jedoch bei intensiver Behandlung nicht um 40 kg/ha, sondern um 60 kg/ha erhöht gegenüber der extensiven Behandlung. In Neukirchen-Vluyn unterschieden sich unter diesen Voraussetzungen die zwei Behandlungsstufen nicht in der Befallshäufigkeit der Körner mit *Fusarium* spp. voneinander. In Kerpen-Buir dagegen waren Körner unbehandelter Pflanzen im Sortenmittel mit 28,6% Befallshäufigkeit deutlich stärker mit *Fusarium* spp. befallen als Körner der Weizenpflanzen aus dem intensiven Anbau, die nur einen Kornbefall von 6,7% aufwiesen. Witterungsbedingtes Lager einen Monat vor Ernte führte in Kerpen-Buir zu einer stark ausgeprägten Lagerbildung bei den Weizenpflanzen, die nicht mit einem Wachstumsregulator behandelt worden waren. Die starke Lagerbildung der unbehandelten Weizenpflanzen wirkte sich jedoch nicht befallsfördernd auf den Kornbefall mit *M. nivale* aus. Im Gegenteil, an beiden Standorten wurde im Jahr 2000 ein verstärktes Auftreten von *M. nivale* an Pflanzen aus dem intensiven Anbau vorgefunden. Ein Kornbefall von durchschnittlich 1,2% unbehandelter Pflanzen stand dabei einem Kornbefall von 3,5% behandelter Pflanzen gegenüber.

Im Jahr 1999 unterschieden sich die Landessortenversuche in ihrer Anbauintensität nur geringfügig voneinander. Der Unterschied lag lediglich in der verabreichten Stickstoffgabe, welche eine Differenz von 10 kg/ha ausmachte, und in einer ein- bzw. zweimaligen Fungizidapplikation. Dieses wirkte sich nicht auf den Kornbefall mit *Fusarium* spp. oder



¹ LSV - Landessortenversuch

Abb. 11: Einfluss der Anbauintensität auf die Befallshäufigkeit der Körner mit *Fusarium* spp. und *M. nivale*: niedrige Anbauintensität (hellgrau hinterlegt), hohe Anbauintensität (dunkelgrau hinterlegt). Die Versuche wurden an den Standorten Kerpen-Buir, Neukirchen-Vluyn und Hennef in den Jahren 1998 – 2000 durchgeführt.

n = Anzahl der Sorten, N = Stickstoff, WR = Wachstumsregulator, FB = Fungizidbehandlung

M. nivale aus. Generell war das Befallsniveau in diesem Jahr in Kerpen-Buir sehr gering und lag unter 3% für *Fusarium* spp. und unter 1% für *M. nivale*.

In Hennef waren im Jahr 1999 nach der Anwendung eines Wachstumsregulators und einer einfachen Fungizidbehandlung die Körner häufiger mit Ährenfusariosen befallen als Körner unbehandelter Weizenpflanzen (11,8% bzw. 9,0%). In beiden Fällen wurde jedoch, anders als in den Landessortenversuchen, in den zwei Behandlungsstufen die gleiche Stickstoffmenge von 100 kg N/ha verabreicht. Der Kornbefall mit *M. nivale* wurde dadurch nicht beeinflusst und war, ebenso wie im Landessortenversuch des gleichen Jahres, mit 1,1% Kornbefall sehr gering.

3.4.2 Saatdichte

Der Einfluss der Saatdichte auf den späteren Kornbefall der Pflanzen mit *Fusarium* spp. wurde an der Hybridsorte `Hybnos` über drei Jahre untersucht. Die Saatdichten betragen im Jahr 1998 150, 250 und 350 Körner/m², in den Jahren 1999 und 2000 180 und 230 Körner/m². 1998 waren die Körner bei einer Saatstärke von 150 Körner/m² gering mit *Fusarium* spp. (0,8%) und *M. nivale* (1,6%) befallen (Abb. 12). Bei steigender Saatstärke wurde eine kontinuierliche Befallszunahme der Körner mit *M. nivale* festgestellt. Der Kornbefall betrug bei einer Aussaatstärke von 250 Körner/m² 5,6% und

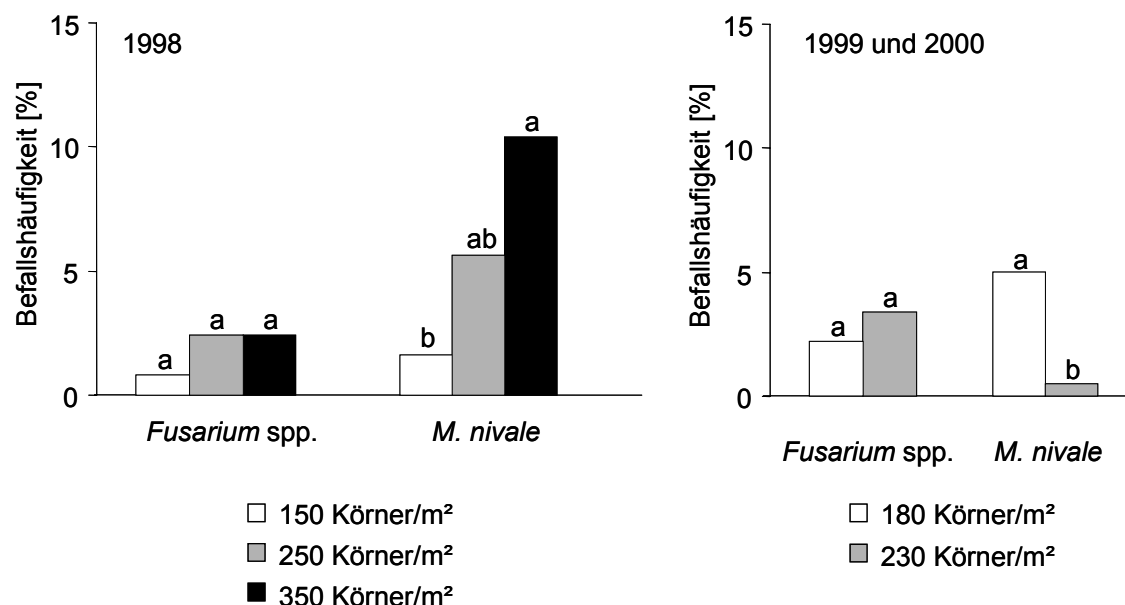


Abb. 12: Einfluss der Saatstärke der Hybridsorte `Hybnos` auf den Kornbefall mit *Fusarium* spp. und *M. nivale*, Kerpen 1998 – 2000, ($\alpha = 0,05$).

erhöhte sich signifikant bei einer Saatkichte von 350 Körner/m² auf 10,4% gegenüber der geringsten Saatkichte. Der Kornbefall mit *Fusarium* spp. erhöhte sich bei einer Saatkichte von 250 Körner/m² auf 2,4%, stieg aber bei zunehmender Saatkichte nicht weiter an. In den Jahren 1999 und 2000 war der Kornbefall mit *Fusarium* spp. bei einer Saatkichte von 230 Körner/m² mit 3,4% geringfügig höher als bei einer Saatkichte von 180 Körner/m² (2,2%). Gegenläufig war das Auftreten von *M. nivale*: Während der Befall bei einer Saatkichte von 230 Körner/m² 5% betrug, waren bei einer Aussaatstärke von 180 Körner/m² deutlich weniger Körner mit *M. nivale* befallen (0,5%).

3.4.3 Einfluss des Pflanzenphänotyps

In den Jahren 1999 und 2000 wurden in Hennef und Kerpen-Buir 15 Winterweizensorten auf einen Zusammenhang zwischen dem Phänotyp der Pflanzen und dem Kornbefall mit *Fusarium* spp. untersucht. Es wurden Daten über Pflanzenlänge, Abstand Fahnenblatt – Ähre, Ährendichte und Fahnenblattstellung erhoben. Die phänotypischen Merkmalsausprägungen dieser Sorten wurden anschließend mit dem *Fusarium*-Befall der Körner korreliert.

3.4.3.1 Pflanzenlänge und Abstand Fahnenblatt-Ähre

Die 15 untersuchten Weizensorten wiesen ohne Blattbehandlung und ohne Anwendung eines Wachstumsregulators eine durchschnittliche Pflanzenlänge von 84,0 cm auf. Die Anwendung eines Wachstumsregulators zu BBCH 30 sowie einer Fungizidbehandlung zu BBCH 37 führte zu einer Reduktion der Pflanzenlänge auf durchschnittlich 78,3 cm. Die Pflanzenlänge war signifikant mit dem *Fusarium*-Befall korreliert (Abb. 13). Diese Korrelation war bei unbehandelten Weizenpflanzen mit $r = -0,75$ gleich stark ausgeprägt wie bei den mit Wachstumsregulator und Fungizid behandelten Pflanzen ($r = -0,71$). Im Landessortenversuch in Neukirchen-Vluyn wurden im Jahr 2000 an 14 Weizensorten entsprechende Korrelationen vorgefunden. Dabei war die Befallshäufigkeit der Körner mit *Fusarium* spp. an unbehandelten Pflanzen mit $r = -0,77$ signifikant mit der Pflanzenlänge korreliert, was ebenso für behandelte Pflanzen zutraf ($r = -0,71$). Der Abstand des Fahnenblattes zur Ähre wurde zusätzlich an den behandelten Weizenpflanzen in Hennef ermittelt und betrug im Sortenmittel 9,9 cm. Der Abstand Fahnenblatt – Ähre war mit $r = 0,73$ signifikant mit der Pflanzenlänge korreliert. Jedoch konnte im Gegensatz zu der Pflanzenlänge bei einem Koeffizienten von $r = -0,35$ kein bedeutender Zusammenhang zwischen dem Abstand Fahnenblatt - Ähre und der Befallshäufigkeit der Körner mit *Fusarium* spp. vorgefunden werden.

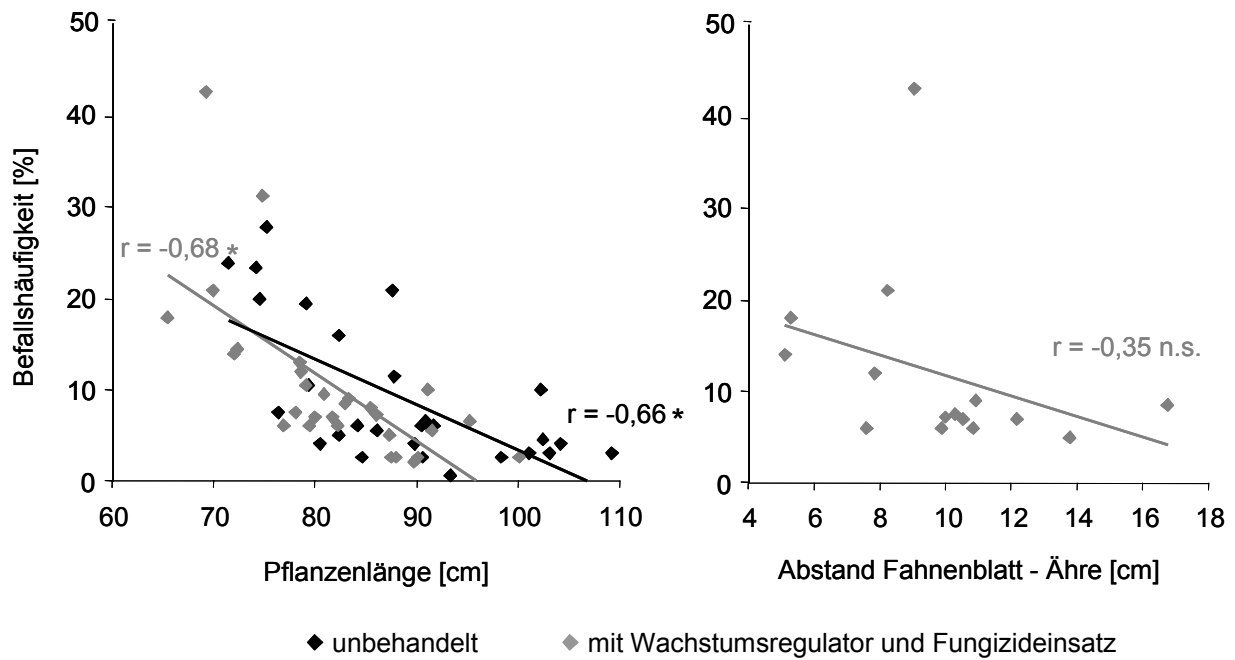


Abb. 13: Korrelation von Pflanzenlänge bzw. Abstand Fahnenblatt - Ähre und Befallshäufigkeit der Weizenkörner mit *Fusarium* spp. bei unbehandelten bzw. behandelten (Einsatz eines Wachstumsregulators, Fungizidbehandlung) Pflanzen in Hennef, 1999.

* signifikante Korrelation nach Pearson ($\alpha = 0,05$)

3.4.3.2 Ährendichte

Sorten unterscheiden sich in der Form ihrer Ährenmorphologie, wobei die Kompaktheit einer Ähre durch den D-Wert beschrieben werden kann. Dieser setzt die Anzahl der Spindelstufen in ein Verhältnis zur Ährenlänge. Je größer der D-Wert, desto dichter ist demzufolge die Ähre. In Abbildung 14 ist die Korrelation der Befallshäufigkeit der Körner von 15 Weizensorten mit dem D-Wert aufgeführt. Die Pflanzen waren dem natürlichen Befallsdruck ausgesetzt. Es ergab sich ein nicht signifikanter Korrelationskoeffizient von $r = 0,25$, welcher auf keinen bedeutenden Zusammenhang zwischen den zwei Merkmalen hinweist. Nimmt man das Bestimmtheitsmaß (B^2) zur Hilfe, welches sich aus dem Quadrat des Pearson'schen Korrelationskoeffizient errechnet ($r = 0,25$, $B^2 = 0,063$), so ist die Variation der Befallshäufigkeit der untersuchten Sorten nur zu 6% aus der Variation des D-Wertes zu erklären. Bei den untersuchten Sorten hatte die Ährendichte demzufolge nur einen geringen Einfluss auf den Kornbefall mit *Fusarium* spp.

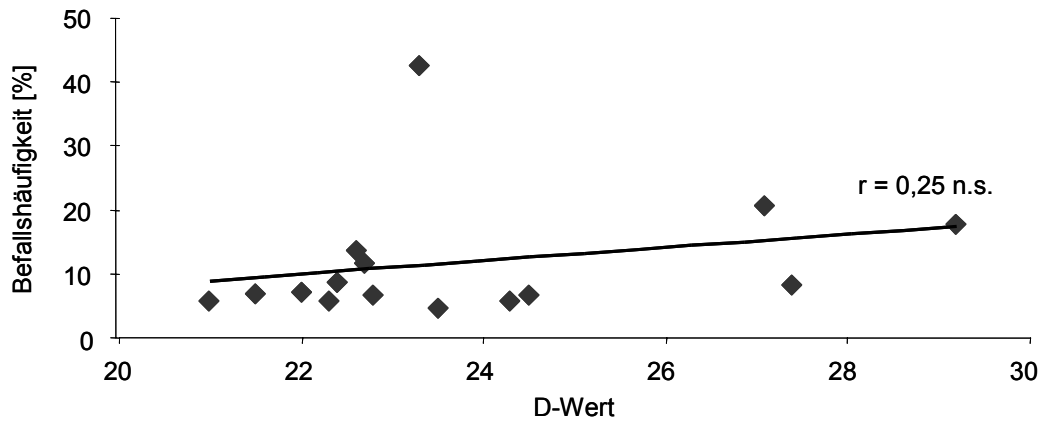


Abb. 14: Korrelation von Ährendichte und Befallshäufigkeit der Körner mit *Fusarium* spp. von 15 Winterweizensorten im intensiven Anbau in Hennef 1999.

3.4.3.3 Fahnenblattstellung

Die Fahnenblattstellung als ein Sortenmerkmal des Getreides wird unterschieden in erektophile und planophile Blattstellung. Die Befallshäufigkeit der Körner von Sorten beider Blatttypen wurde in Abhängigkeit vom Abstand der Fahnenblattinsertion zur Ähre untersucht. Weizenkörner von Sorten mit erektophiler Fahnenblattstellung waren bei einem Abstand Fahnenblatt (F) – Ähre kleiner 10 cm mit 27% Befallshäufigkeit deutlich stärker befallen als bei einem Abstand F – Ähre größer 10 cm (6,0%) (Abb. 15). Diese Befallsunterschiede traten jedoch nicht bei Sorten mit planophiler Fahnenblattstellung auf. Das Befallsniveau der Körner dieser Sorten lag bei einem Abstand F – Ähre kleiner 10 cm bei 9% bzw. bei einem Abstand größer 10 cm bei 7,5%.

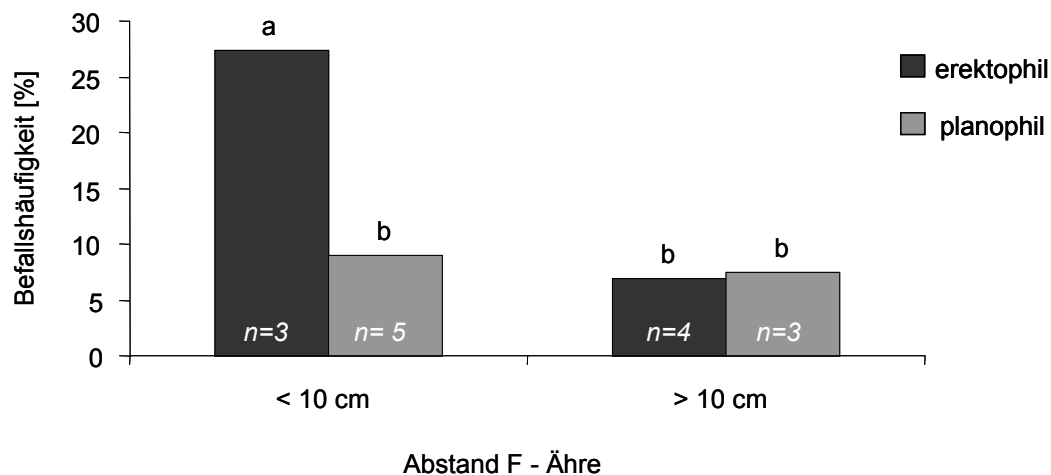


Abb. 15: Einfluss der Fahnenblattstellung auf den Kornbefall einer Winterweizensorte mit Ährenfusariosen in Abhängigkeit vom Abstand des Fahnenblattes zur Ähre, Hennef 1999 (n = Anzahl der Sorten).

3.5 Einfluss des Genotyps

3.5.1 Vergleich unter Praxisbedingungen

15 Weizensorten aus den Landessortenversuchen wurden im dreijährigen Anbau hinsichtlich ihrer *Fusarium*-Anfälligkeit miteinander verglichen. Der Anbau wurde bei konventioneller Anbauintensität (Anwendung eines Wachstumsregulators und zweimalige Fungizidbehandlung, 210 kg N/ha) durchgeführt. Es wurden je Standort und Jahr Rangzahlen entsprechend dem Kornbefall einer Sorte vergeben. Die höchste Rangzahl steht für die am häufigsten befallene(n) Sorte(n), die niedrigste Rangzahl für die am wenigsten befallene(n) Sorte(n) innerhalb dieses Spektrums. Der den Rangzahlen zugrunde liegende Kornbefall mit *Fusarium* spp. ist in Abbildung 16 dargestellt. Die durchschnittliche Befallshäufigkeit der 15 Sorten lag im Jahr 1998 bei 6,0% (Kerpen-Buir), im Jahr 1999 bei 2,8% (Kerpen-Buir) und im Jahr 2000 bei 10,0% (Neukirchen-Vluyn). Die Sorten `Charger`, `Bandit` und `Rialto` stellten sich in allen Versuchen als relativ anfällig gegenüber Ährenfusariosen heraus, die mittleren Rangzahlen der drei Jahre waren entsprechend 14,3 , 13,0 bzw. 11,8 (Abb. 17). Auch die Sorte `Haven` zeigte sich abgesehen vom Jahr 1998 als überdurchschnittlich stark anfällig und erreichte im Jahr 2000 einen maximalen Kornbefall von 31,5%. Die Sorten `Convent`, `Residence` und `Hybnos` erwiesen sich dagegen in allen Umwelten als wenig anfällig gegenüber Ährenfusariosen. Ihnen wurden im Jahresmittel des untersuchten Sortenspektrums die kleinsten Ränge von 4,7, 4,0 bzw. 3,3 zugeordnet. Das Befallsniveau

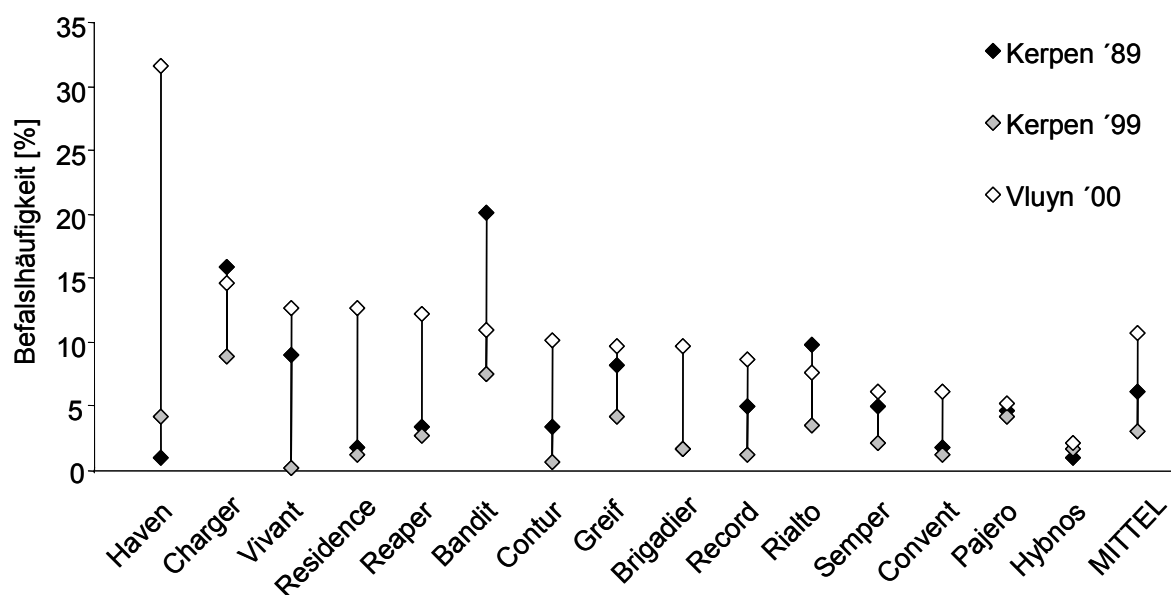


Abb. 16: Vergleich der Befallshäufigkeit mit *Fusarium* spp. verschiedener Winterweizensorten über drei Jahre an den Standorten Kerpen-Buir (1998 und 1999) und Neukirchen-Vluyn (2000).

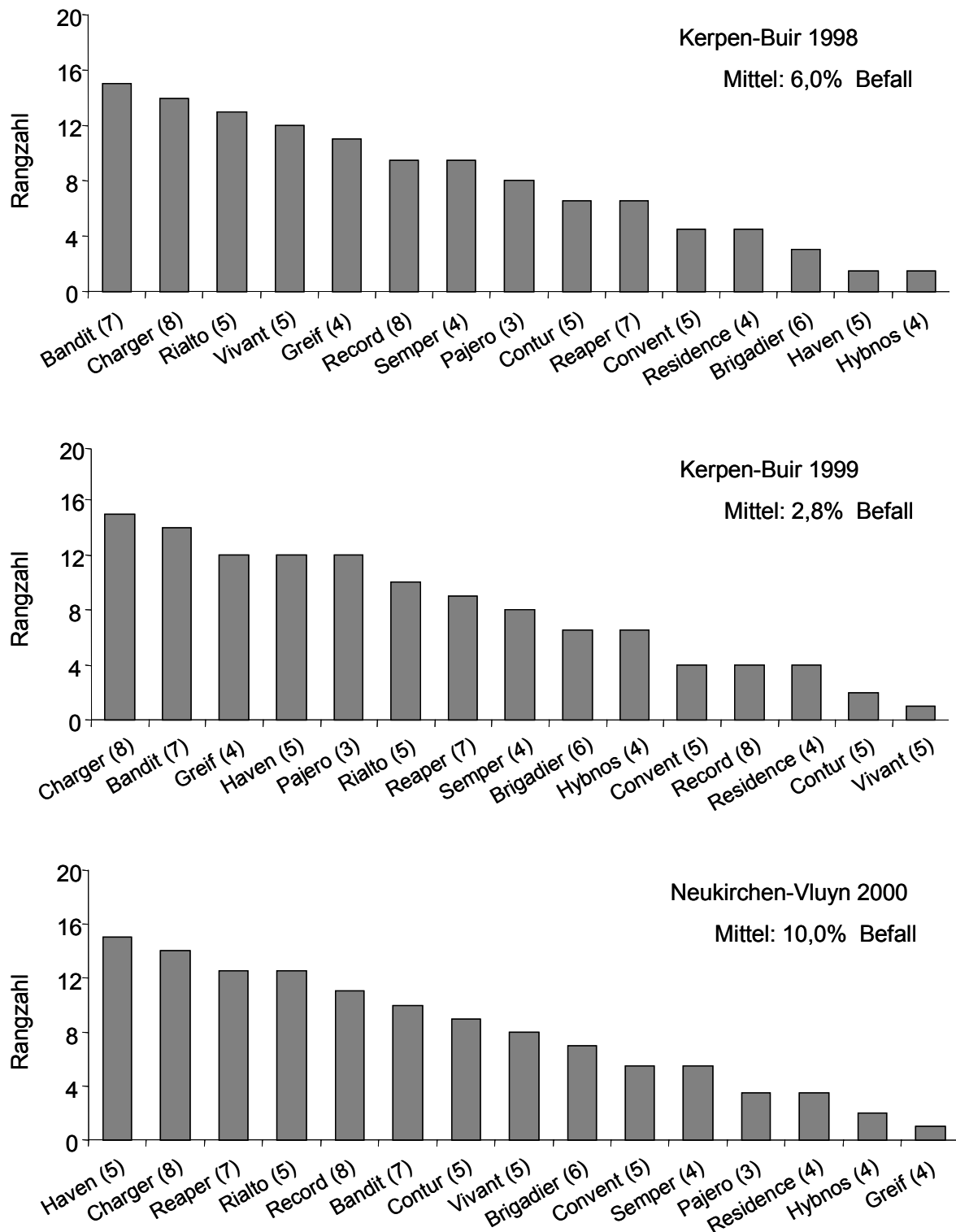


Abb. 17: Bewertung der Winterweizensorten nach ihrer Anfälligkeit gegenüber Ährenfusariosen. Der Sortenvergleich erfolgte mittels Rangzahlenvergleich: Die höchste Rangzahl steht für die am stärksten befallene(n) Sorte(n), die niedrigste Rangzahl für die am wenigsten befallene(n) Sorte(n) innerhalb des untersuchten Spektrums. Die Zahlen in Klammern geben die Anfälligkeit gegenüber Ährenfusariosen laut BSA wieder.

aller anderen Sorten rangierte im mittleren Anfälligkeitsbereich (\bar{x} Rang 7,6). Dabei können die Sorten `Contur` und `Brigadier` als wenig bis mittelstark anfällig, die Sorte `Reaper` dagegen als mittelstark bis stark anfällig gegenüber Ährenfusariosen bewertet werden.

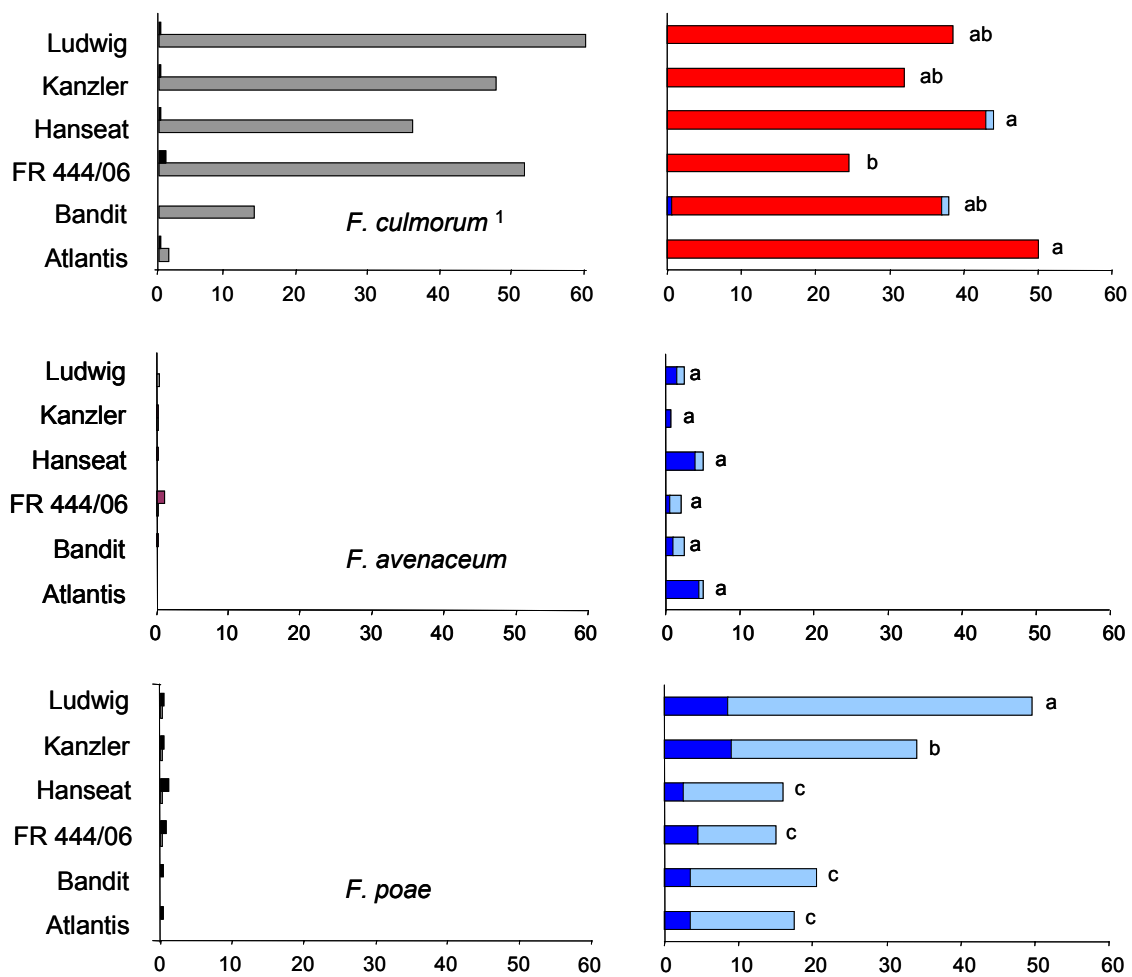
3.5.2 Vergleich unter Inokulationsbedingungen

3.5.2.1 Symptomausprägung an der Ähre

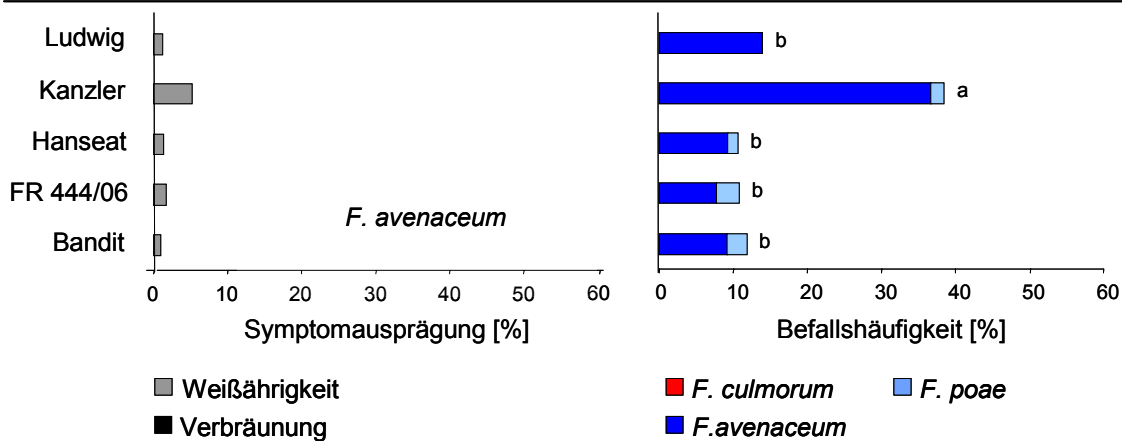
Aus dem breiten Sortenspektrum wurden fünf Sorten und eine Weizenlinie ausgewählt, die sich in den Jahren 1998 und 1999 als wenig bzw. stark anfällig ausgezeichnet hatten. Dazu gehörten die Sorten `Atlantis`, `Kanzler` und `Ludwig` bzw. `Bandit`, `FR 444/06` und `Hanseat`. Unter kontrollierten Bedingungen wurden diese Genotypen zu BBCH 65 mit verschiedenen *Fusarium*-Arten inokuliert, um ihre Anfälligkeit gegenüber Ährenfusariosen zu charakterisieren. Dadurch konnten witterungsbedingte Einflüsse und pflanzenmorphologische Eigenschaften wie die Pflanzenlänge ausgeschaltet werden. Der prozentuale Anteil ausgebleichter und nekrotisierter Ährchen wurde zwei Wochen nach der Inokulation bestimmt sowie die Befallshäufigkeit der Körner nach der Ernte. Im Jahr 2000 erfolgte eine Inokulation mit *F. culmorum*, *F. avenaceum* und *F. poae* unter kontrollierten Bedingungen und eine Inokulation mit *F. culmorum* im Freiland. Im Jahr 2001 wurden dieselben Sorten mit *F. avenaceum* inokuliert.

Eine Inokulation der Weizenähren mit *F. avenaceum* oder *F. poae* führte kaum zu einer partiellen Weißährigkeit, der prozentuale Anteil ausgebleichter Ährchen blieb unter 2% (Abb. 18). Eine Inokulation mit *F. culmorum* führte dagegen zu einer starken Symptomausprägung. Die durch *F. culmorum* verursachte Weißährigkeit variierte zwischen 1% an der Sorte `Atlantis` und 59% an der Sorte `Ludwig`. Ährchen der Sorten `Kanzler`, `Hanseat` und der Linie `FR 444/06` waren nach Inokulation mit *F. culmorum* mit 44% ebenfalls relativ stark ausgebleicht, die Ähren von `Bandit` dagegen nur zu 13%. Eine Nekrotisierung der Weizenähren wurde durch keine *Fusarium*-Art festgestellt. In Folge einer Inokulation traten deutliche Sortenunterschiede auf. Die Sorten `Hanseat`, `Atlantis`, `Ludwig`, `Kanzler` und `Bandit` waren nach Inokulation mit *F. culmorum* mit einem Kornbefall von durchschnittlich 40,4% verhältnismäßig stark befallen, die Linie `FR 444/06` dagegen mit 24,5% deutlich weniger stark. Nach Inokulation mit *F. poae* wurde an den Sorten `Ludwig` und `Kanzler` ein signifikant stärkerer Kornbefall von 49,5% bzw. 34,0% im Vergleich zu den anderen Genotypen beobachtet. Letztere unterschieden sich bei einem durchschnittlichen Befall von 17,3% nicht mehr bedeutend voneinander. Eine Inokulation mit *F. avenaceum* führte nur zu einem sehr geringen Kornbefall von durchschnittlich 3,3%, Sortenunterschiede lagen nicht vor. Im Jahr 2001 lag nach Inokulation mit demselben

2000



2001



¹ *Fusarium*-Art mit der inokuliert wurde

Abb. 18: Einfluss einer Ähreninokulation zu BBCH 65 mit *F. culmorum*, *F. avenaceum* oder *F. poae* auf die Ausbildung von Ährensymptomen (bonitiert auf Weißährigkeit und Verbräunung) und auf die Befallshäufigkeit der Körner mit *Fusarium* spp. an sechs Genotypen unter kontrollierten Bedingungen in Bonn, 2000 und 2001. Zu der Sorte `Atlantis` lagen im Jahr 2001 keine Daten vor.

F. avenaceum Isolat ein höherer Kornbefall von durchschnittlich 17,1% an den sechs Sorten vor. Der höhere Kornbefall war möglicherweise auf die zusätzliche Glucose in der Konidien suspension, mit der die Pflanzen inokuliert wurden, zurückzuführen. Die Sorte `Kanzler` setzte sich mit einem deutlich höheren Kornbefall von 38,4% gegenüber den anderen Genotypen ab.

Die Pflanzen wurden in beiden Jahre zur Inokulation sowie für einen Tag danach je *Fusarium*-Art räumlich getrennt aufgestellt. Danach standen sie bis zur Ernte unter einem windgeschützten Offenstand. Trotzdem wurde an den *F. poae*-inokulierten Pflanzen ein relativ hoher Anteil *F. avenaceum* von den Körnern isoliert und im entgegengesetzten Fall auch von den *F. avenaceum*-inokulierten Pflanzen. Im Jahr 2001, als ausschließlich *F. avenaceum* inokuliert wurde, wurde ebenso ein Befall mit *F. poae* beobachtet.

Eine mikrobiologische Untersuchung von Ährchen mit Symptomen zeigte, dass ein Ausbleichen der Ährchen – beschrieben als Symptom der partiellen Weißährigkeit - typisch war für die Arten *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. cerealis* und *F. avenaceum*, während *F. poae* chlorotische, runde bis ovale Flecken mit einem nekrotischen Rand bildete. Weitere Symptome eines *Fusarium*-Befalls waren ein orange-rosafarbener Sporenbelaag und bei starkem Befall auch eine rötliche Verfärbung des Spindelknotens und eine Nekrotisierung der Spindel, wenn der Pilz diese besiedelt hatte. Befallssymptome sind in Bild 3 dargestellt.

Im Jahr 1999 und 2000 wurden die gleichen Sorten unter Freilandbedingungen sprühinokuliert. Der Einfluss der Inokulation auf die Symptomausprägung und den Kornbefall wurde verglichen mit dem nicht inokulierter Pflanzen bzw. mit Pflanzen, die mit *Fusarium*-bewachsenen Körnern inokuliert worden waren (Abb. 19). Hier zeigte sich, dass Sortenunterschiede in der Symptomausprägung (% Weißährigkeit) erst nach einer Sprühinokulation in die Weizenblüte festgestellt werden konnten. Eine Körnerinokulation zu BBCH 30 brachte nur schwache Sortenunterschiede zum Ausdruck. Die Weißährigkeit an den Pflanzen in Hennef, welche mit einem *Fusarium*-Gemisch sprühinokuliert worden waren, wurde hauptsächlich durch die Arten *F. culmorum* und *F. cerealis* verursacht. An den Pflanzen der Linie `FR 444/06` und der Sorte `Hanseat` konnte auch nach Körnerinokulation ein visueller Ährenbefall bonitiert werden. Dieser lag aber unter 3%. Obwohl die nicht-inokulierten Pflanzen in Meckenheim bzw. die mit Körnern inokulierten Pflanzen in Hennef kaum Befallssymptome zeigten, wurde nach mikrobiologischer Untersuchung der Körner ein Befallshäufigkeit von durchschnittlich 28,3% bzw. 18,3% mit *Fusarium* spp. festgestellt. Eine Sprühinokulation führte in beiden Jahren zu einem deutlichen, sortenabhängigen Anstieg des Kornbefalls mit Ährenfusariosen, ebenso wie zu einer Zunahme des prozentualen Anteils ausgebleichener Ährchen. Ein Anteil von 88% ausgebleichener Ährchen ging bei der Sorte

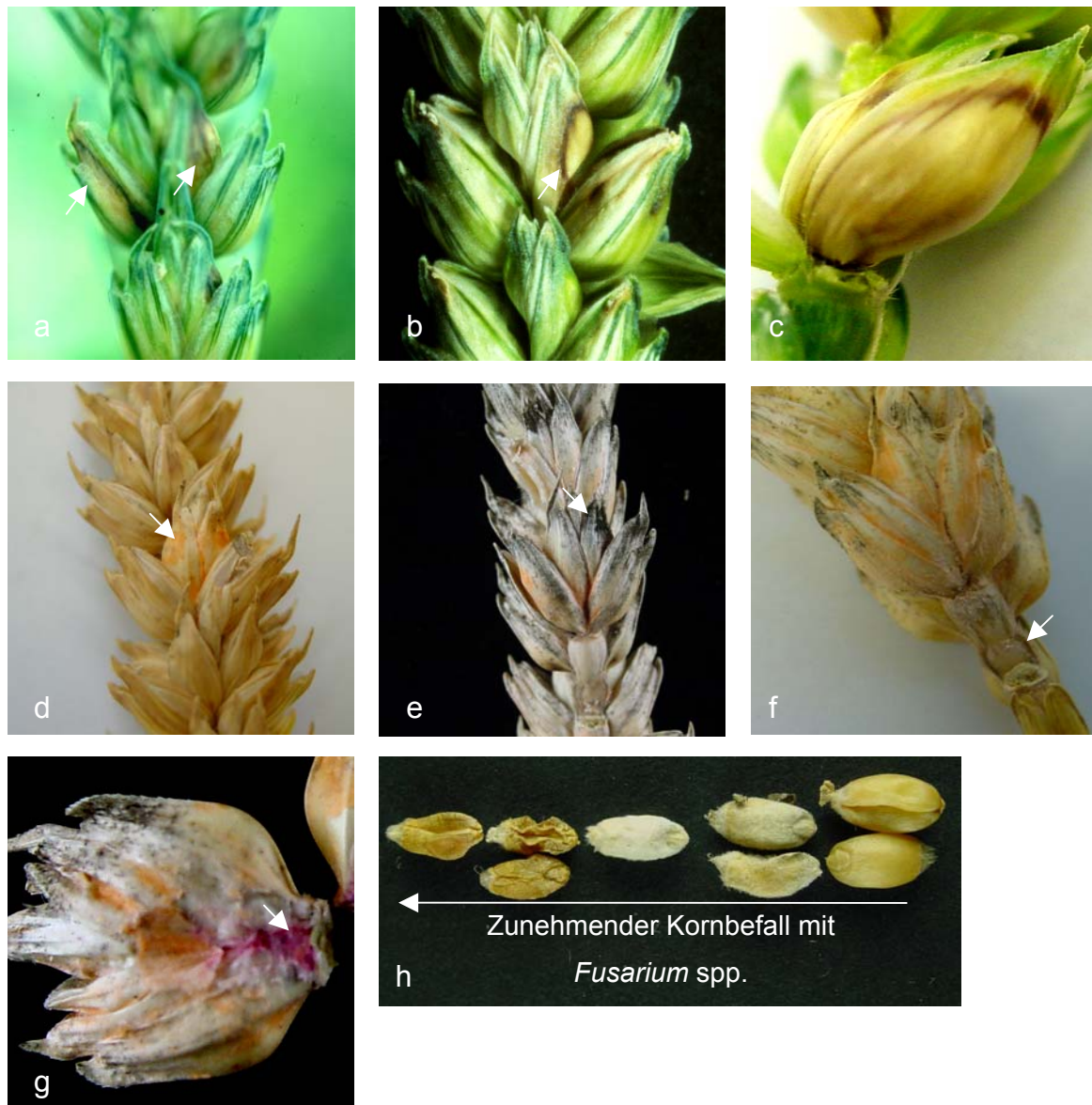
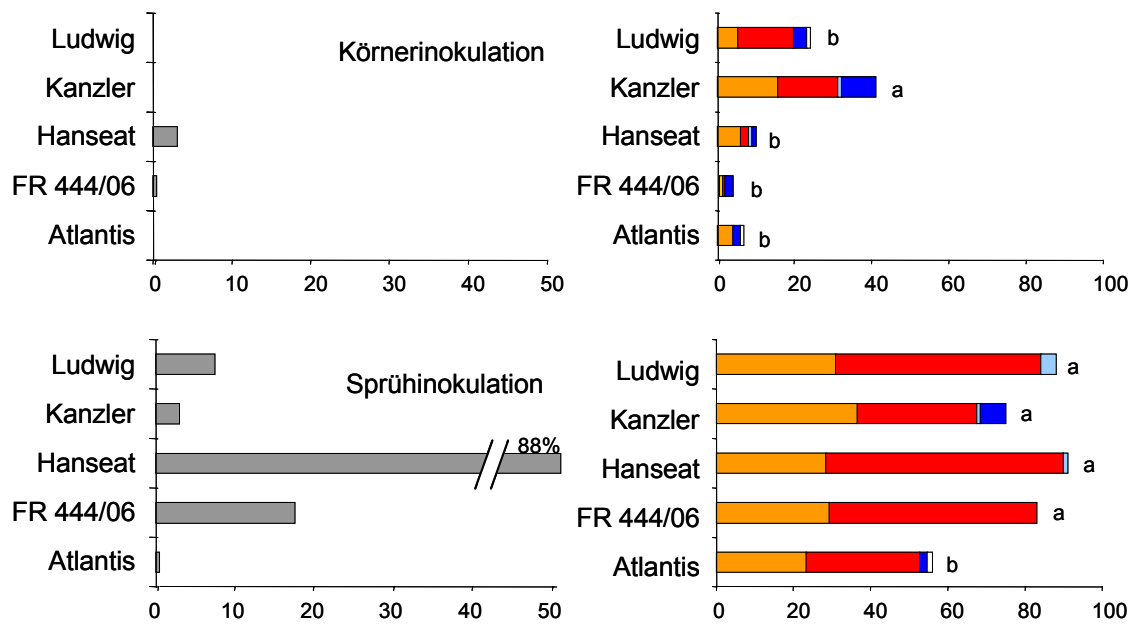


Bild 3: Symptomausprägungen verschiedener *Fusarium*-Arten an Winterweizen:

- a) *F. culmorum* bildet zu Befallsbeginn unregelmäßige chlorotische-nekrotische Flecken auf den Hüll- und Deckspelzen
- b) und c) *F. poae* bildet bei Befall scharf abgegrenzte, runde bis ovale chlorotische Flecken mit einem nekrotischen Rand
- d) zur Abreife der Ähren sind infizierte Ährchen mit einem orange-rosafarbenen Sporenbelag überzogen (hier: *F. avenaceum*)
- e) an der infizierten Ähre treten Sekundärinfektionen durch Schwarzepilze auf (hier: *F. culmorum*)
- f) die Spindel ist durch systemisches Pilzwachstum befallen und nekrotisiert (hier: *F. graminearum*)
- g) der Spindelknoten ist rötlich verfärbt (hier: *F. graminearum*)
- h) *Fusarium* spp. führt bei Ähreninfektion zur Kümmerkornbildung

Hennef 1999



Meckenheim 2000

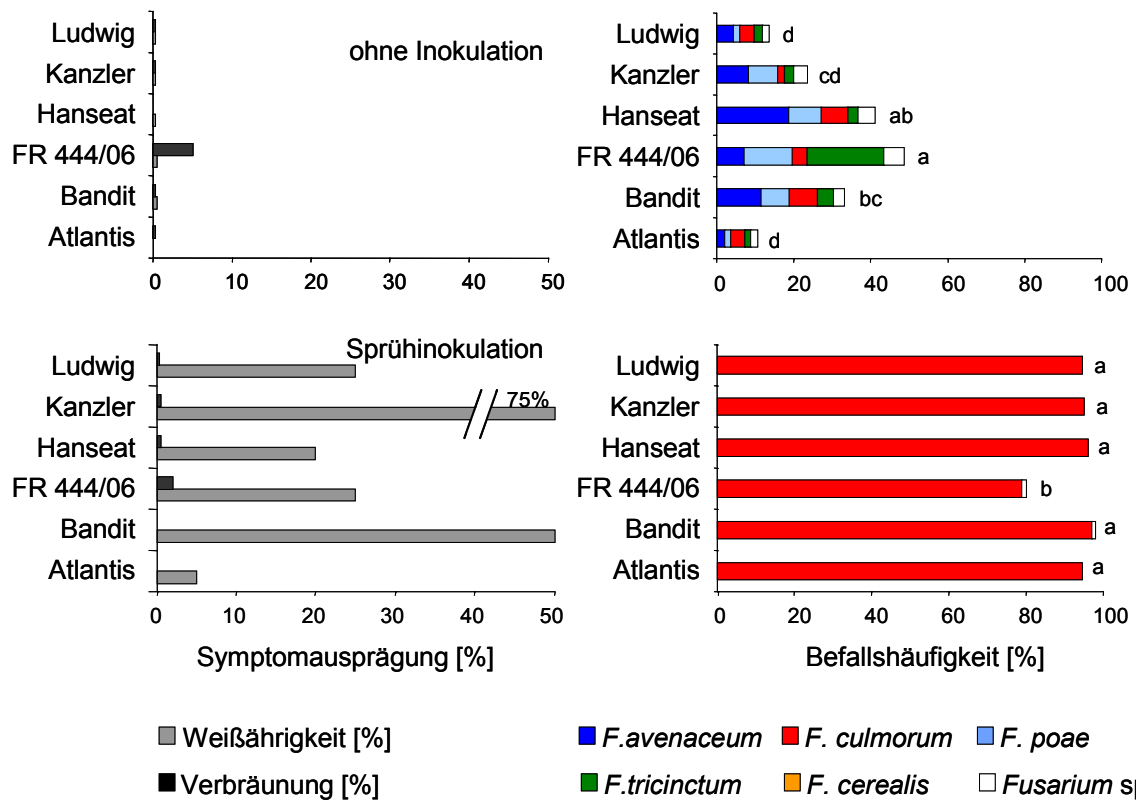


Abb. 19: Einfluss einer Inokulation mit *Fusarium* spp. auf die Ausbildung von Ährensymptomen (Weißährigkeit, Verbräunung) und die Befallshäufigkeit der Körner an sechs Genotypen. Hennef 1999: Inokulation mit *F. cerealis*, *F. culmorum*, *F. avenaceum* und *F. poae* zu BBCH 30 (Körnerinokulation) bzw. BBCH 65 (Sprühinokulation), zu der Sorte 'Bandit' lagen keine Daten vor, der Nekrotisierungsgrad wurde nicht bonitiert. Meckenheim 2000: Inokulation mit *F. culmorum* zu BBCH 65

‘Hanseat’ einher mit einem starken Kornbefall mit *Fusarium* spp. von 91%. Obwohl Ährchen der Sorte ‘Ludwig’ und der Linie ‘FR 444/06’ prozentual weniger stark ausgebleichen waren, wurde bei diesen Sorten ein ähnlich hoher Kornbefall wie bei der Sorte ‘Hanseat’ festgestellt. Im Jahr 2000 zeigten Ähren der Sorte ‘Kanzler’ und ‘Bandit’ die am stärksten ausgeprägten Ährensymptome. Doch trotz deutlicher Sortenunterschiede in der prozentualen Weißährigkeit, war der Kornbefall bei allen Sorten mit durchschnittlich 93% gleich hoch. Bei der sehr früh blühenden Linie ‘FR 444/06’ war der signifikant geringere Kornbefall und auch der vergleichsweise geringe Anteil ausgebleicher Ährchen auf eine erst zum Blühende durchgeführten Inokulation zurückzuführen. Die Sorten ‘Atlantis’ und ‘Ludwig’ zeigten in beiden Jahren eine im Sortenvergleich geringe Symptomausprägung sowie meist einen vergleichbar geringen Kornbefall. In Bild 4 sind - exemplarisch - Sortenunterschiede zwischen einer wenig und einer stark anfälligen Weizensorten dargestellt. Bei weniger anfälligen Sorten sind nur einzelne Ährchen partiell ausgebleichen, bei anfälligen Sorten dagegen ganze Ährenabschnitte.

3.5.2.2 Toxingehalt der Weizenkörner

1999 wurden in Hennef 15 Weizensorten mit einem Gemisch aus vier *Fusarium*-Arten inokuliert. Es erfolgte entweder eine Bodeninokulation zu BBCH 30 mit *Fusarium*-bewachsenen Körnern oder eine Sprühinokulation zu BBCH 65 mit einer Konidien-suspension. Exemplarisch wurden 5 Weizensorten aus diesem Spektrum ausgesucht und der Toxingehalt der Körner nach der Ernte bestimmt. Dieser wurde dem Kornbefall mit Ährenfusarien gegenübergestellt (Abb. 19). Die Wiederfindungsrate betrug für Deoxynivalenol (DON) 97%, für acetyliertes DON (Ac-DON) 80% und für Nivalenol (NIV) 79%. Die Inokulation erfolgte mit einem Gemisch aus *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. cerealis* und *F. poae*. Die *Fusarium*-Arten *F. cerealis* und *F. poae* bilden das Trichothecen-Mykotoxin NIV, nicht aber DON. Vorherige Untersuchungen zeigten, dass das ebenfalls in diesem Versuch eingesetzte *F. culmorum*-Isolat *in vivo* ebenfalls ausschließlich NIV bildet (MUTHOMI *et al.* 2000). *F. avenaceum* produziert grundsätzlich keine Mykotoxine aus der Gruppe der Trichothecene. Das erklärt, warum in der Toxinanalyse NIV, nicht aber DON bzw. dessen acetylierte Derivate gefunden wurden. Im Jahr 2000 wurden in Meckenheim die gleichen Sorten erneut angebaut, zusätzlich auch die Sorte ‘Bandit’. Diese wurden ebenfalls zu BBCH 65 mit *F. culmorum* inokuliert und nach der Ernte der Mykotoxingehalt ihrer Körner bestimmt. Das im Jahr 2000 eingesetzte *F. culmorum*-Isolat produziert *in vivo* ausschließlich DON (MUTHOMI *et al.* 2000).

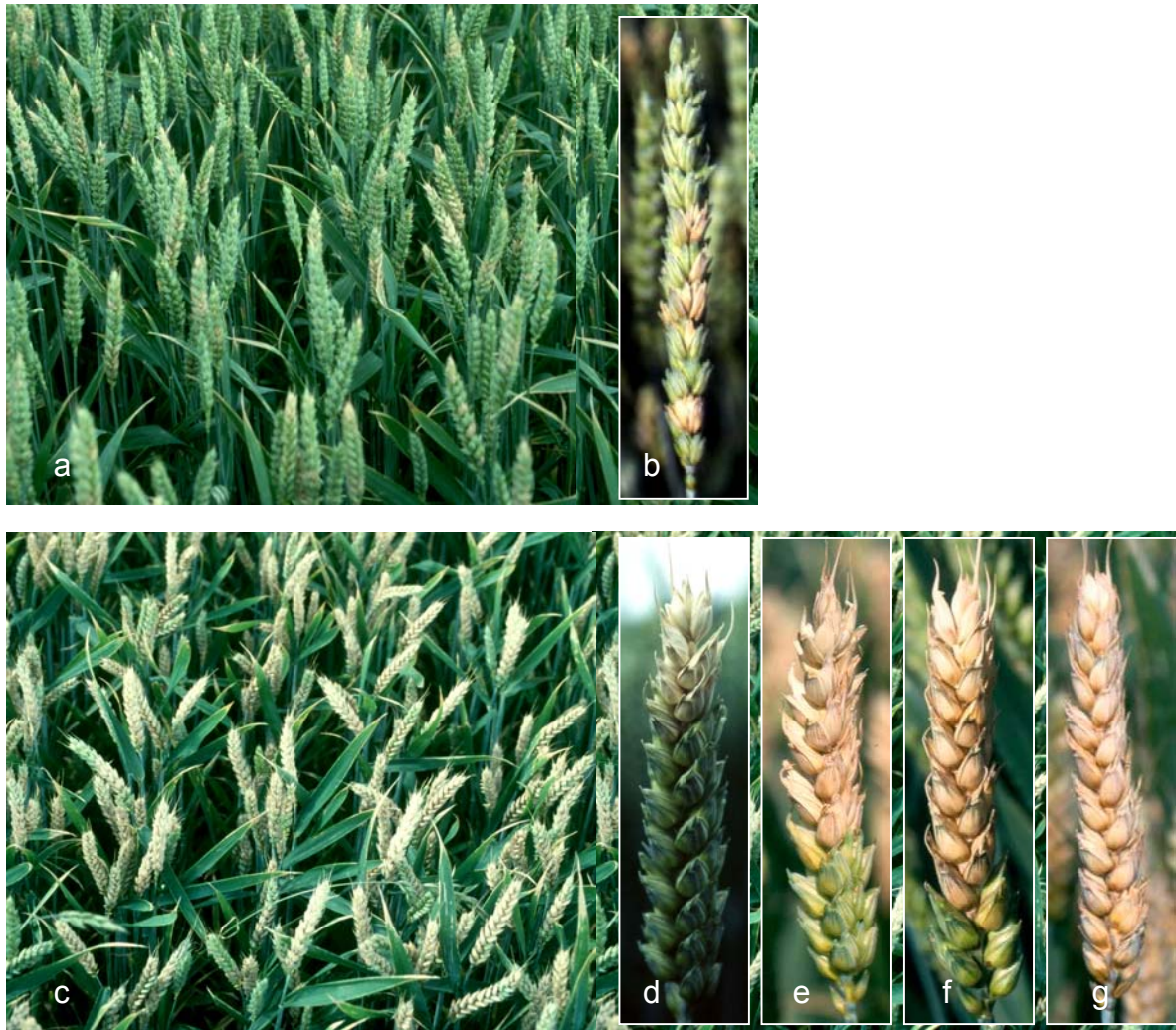


Bild 4: Symptome von *Fusarium* spp. an Winterweizen: partielle Weißährigkeit 14 Tage nach einer Sprühhinokulation mit *F. culmorum* (Isolat C 20) in die Weizenblüte und nach einer Beregnung.

- a) Sorte `Ludwig` wenig befallen, partielle Weißährigkeit nur schwach ausgebildet
- b) nur einzelne Ährchen sind ausgebleicht
- c) Linie `FR 444/06` stark befallen, partielle Weißährigkeit sehr stark ausgebildet
- d)-g) zunehmender Ährenbefall mit fortschreitender partieller Taubährigkeit (25 - 100%)

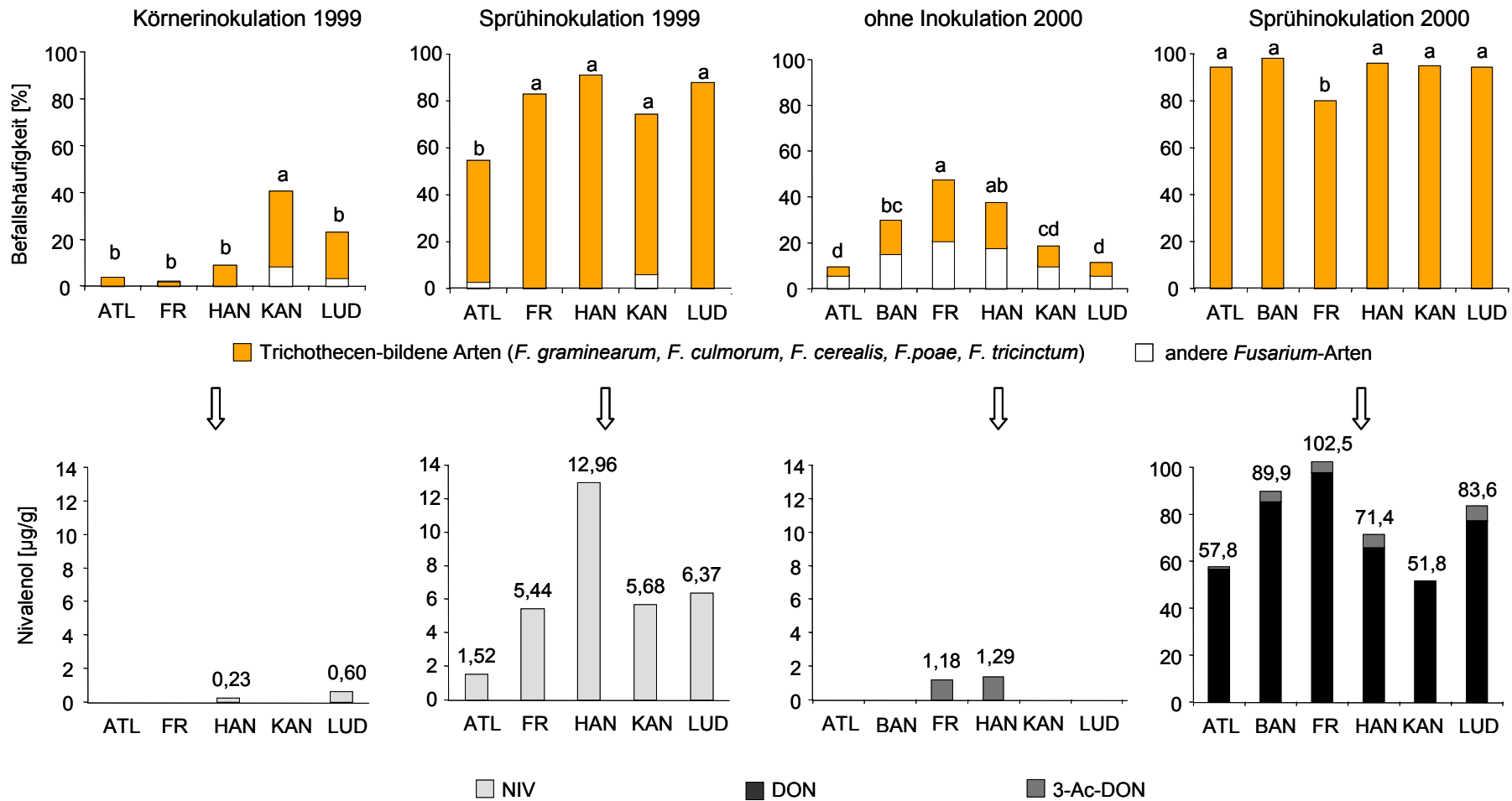
Die Körnerinokulation im Jahr 1999 führte zu einem sortenabhängigen Kornbefall zwischen 4,1% und 41,2% (Abb. 20). Körner der Sorten `Ludwig` und `Kanzler` waren nach einer Körnerinokulation mit 24,2% und 40,9% stärker befallen als die Sorten `Hanseat`, `Atlantis` oder die Linie `FR 444/06`. Über 75% des Kornbefalls wurde durch Trichothecen-bildende *Fusarium*-Arten verursacht. Eine Sprühhinokulation hob das Befallsniveau auf einen Kornbefall von durchschnittlich 78,4% (55,1% - 91,0%) an. Sortenunterschiede, die nach der Körnerinokulationen auftraten, waren nach Inokulation der Weizenähren nicht mehr evident. Die Sorte `Atlantis` bildete dabei eine Ausnahme. Unter beiden Inokulationsbedingungen

zeigte sie sich als wenig anfällig gegenüber Ährenfusariosen. Selbst unter dem hohen Befallsdruck der Sprühhinokulation waren bei dieser Sorte lediglich 55,1% der Körner mit *Fusarium* spp. infiziert, während bei den anderen Sorten ein mittlerer Befall von 84,3% vorlag. 97% des Kornbefalls wurden nach der Sprühhinokulation durch Trichothecen-bildende *Fusarium*-Arten verursacht.

Die Toxinbelastung der Körner war nach der Bodeninokulation mit *Fusarium*-bewachsenen Körnern relativ gering. Nur bei Körnern der Sorten `Hanseat` und `Ludwig` konnte eine NIV-Belastung von 0,23 bzw. 0,60 µg NIV/g nachgewiesen werden. Nach einer Sprühhinokulation traten jedoch beträchtliche Sortenunterschiede in den NIV-Gehalten der Körner auf. Körner der Sorte `Hanseat` waren mit 12,96 µg NIV/g belastet. Obwohl die Sorten `Ludwig` und `Kanzler` sowie die Linie `FR 444/06` einen ähnlich hohen Kornbefall wie die Sorte `Hanseat` aufwiesen, war der NIV-Gehalte der Körner mit 5,44 bis 6,37 µg NIV/g sehr viel geringer. Ebenso wie das Befallsniveau der Sorte `Atlantis`, war auch die Toxinbelastung der Körner dieser Sorte mit 1,52 µg NIV/g im Sortenvergleich sehr gering.

Im Jahr 2000 trat unter natürlichem Befallsdruck an den untersuchten Genotypen ein Kornbefall zwischen 10,0% und 48,5% auf. Die Sorten `Ludwig`, `Atlantis` und `Kanzler` waren mit durchschnittlich 15,8% Kornbefall am geringsten befallen. Die Sorte `Bandit` wies einen mittelstarken Befall von 33,0%. Deutlich am stärksten befallen waren die Sorte `Hanseat` und die Linie `FR 444/06` mit einem Kornbefall von durchschnittlich 44,7%. Insgesamt wurden 50% des gesamten Kornbefalls durch Trichothecen-bildene *Fusarium*-Arten verursacht. Eine Inokulation zu BBCH 65 führte im Jahr 2000 zu einer starken Befallszunahme mit *Fusarium* spp. an den Körnern aller sechs Genotypen. Diese variierte sortenabhängig zwischen 94,5% und 98% Befallshäufigkeit. Einzig die Linie `FR 444/06` war mit 80% signifikant geringer befallen als alle anderen Sorten. An den Körnern trat ausschließlich die inokulierte Art *F. culmorum* auf. Auch hier ist der sehr hohe Kornbefall möglicherweise auf die zusätzliche Glucose in der Konidien suspension zurückzuführen. Bei den nicht inokulierten Pflanzen waren ausschließlich die Körner der Sorte `Hanseat` und der Linie `FR 444/06` toxinbelastet (1,18 bzw. 1,29 µg 3-Ac-DON/g). Eine Inokulation der Weizenblüte führte jedoch, neben dem hohen Kornbefall, zu einer sehr starken Trichothecen-Belastung der Körner. DON war in den Körnern mit sortenabhängigen Gehalten zwischen 51,76 µg/g an der Sorte `Kanzler` und 97,98 µg/g an der Linie `FR 44/06` am stärksten angereichert. 3-Ac-DON trat ebenfalls in Körnern aller Sorten mit Ausnahme der Sorte `Kanzler` auf.

Abb. 20: Vergleich der Befallshäufigkeit und der Toxingehalte von 5 bzw. 6 Genotypen nach Körner- bzw. Sprühinokulation. 1999: Inokulation zu BBCH 30 bzw. 65 mit einem Gemisch von *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. poae* und *F. cerealis* in Hennef; 2000: Inokulation zu BBCH 65 mit *F. culmorum* in Meckenheim. HAN = Hanseat, LUD = Ludwig, KAN = Kanzler, FR = Zuchtlinie FR 444/06, ATL = Atlantis, ($\alpha = 0,05$).



Die Gehalte lagen zwischen 0,90 µg Ac-DON/g bei der Sorte `Atlantis` und 6,39 µg Ac-DON/g bei der Sorte `Ludwig`. Die DON-Gehalte waren dabei mit dem Gehalt von 3-Ac-DON korreliert ($r = 0,67$). Die Sorten `Atlantis` und `Kanzler` zeichneten sich wie im Jahr 1999 durch relativ geringe Toxingehalte aus. Körner der Sorte `Hanseat` wiesen im Jahr 2000 nach Inokulation mit *F. culmorum* keine überdurchschnittlich hohe Toxinbelastung auf, wie es im Jahr 1999 der Fall war.

3.5.3 Einfluss auf Ertragsparameter

Im Freiland wurde der Einfluss des Ährenbefalls mit *Fusarium* spp. auf die Ertragsparameter Tausendkorngewicht (TKG) und Flächenertrag untersucht. Durch einen Vergleich von 12 Sorten sowie 3 Weizenlinien unter verschiedenen Befallsbedingungen (natürlicher Befallsdruck, Körnerinokulation und Sprühinokulation) konnten sortenspezifische Abhängigkeiten der Ertragsparameter von der Stärke des jeweiligen Kornbefalls aufgezeigt werden. Der Einfluss der *Fusarium*-Art auf das Tausendkorngewicht und den Flächenertrag wird in der Gegenüberstellung von drei Befallsituationen dargestellt.

3.5.3.1 Tausendkorngewicht

Weizenkörner unbehandelter Pflanzen erreichten im Sortenmittel ein TKG von 52,5 g (Tab. 28). Durch die Anwendung eines Wachstumsregulators zu BBCH 30 und einer Fungizidbehandlung zu BBCH 37 wurde im Mittel keine signifikante Änderung des TKGs herbeigeführt ($\bar{\varnothing}$ 52,2 g). Witterungsbedingt war der natürliche Befallsdruck bereits relativ hoch. Das führte dazu, dass auch eine zusätzliche Inokulation mit *Fusarium*-bewachsenen Körnern zu BBCH 30 keinen signifikanten Einfluss auf das TKG ausübte. Im Sortenmittel wurde ein TKG von 54,8 g erreicht. Viele Sorten hatten sogar unter natürlichem Befallsdruck ein, wenn auch nicht statistisch abzusicherndes, geringeres TKG als nach Körnerinokulation. Eine Sprühinokulation mit einem Gemisch von vier *Fusarium*-Arten in die Weizenblüte reduzierte bei allen Sorten, außer bei `Hanseat`, das durchschnittliche TKG im Vergleich zur Körnerinokulation um 7,7 g ($\bar{\varnothing}$ 47,1 g). Unter den verschiedenen Befallssituationen war das TKG einer Sorte negativ mit der Befallshäufigkeit der Körner mit *Fusarium* spp. korreliert. Es traten sortenspezifische Korrelationskoeffizienten von $r = -0,30$ bis $r = -0,99$ auf. Korrelationskoeffizienten von $r > -0,90$ konnten dabei als statistisch gesichert gelten, wiesen somit auf einen deutlichen Zusammenhang zwischen dem Kornbefall und der Reduktion des TKGs hin. Bei den Sorten `Asketis`, `Aspirant`, `Glockner`, `Hanseat` und `Kanzler` lagen geringe Korrelationskoeffizienten zwischen $r = -0,29$ und $r = -0,56$ vor. Das war darauf zurückzuführen, dass bei diesen Sorten bei einem geringem Kornbefall das TKG relativ stark variierte.

Tab. 28: Einfluss einer *Fusarium*-Inokulation auf das Tausendkorngewicht von 15 Weizensorten. Inokuliert wurde mit *F. culmorum*, *F. avenaceum*, *F. cerealis* und *F. poae* zu BBCH 30 (Körnerinokulation) bzw. BBCH 65 (Sprühinokulation) in Hennef 1999, Koeffizient (r) als Maß der Beziehung zwischen Kornbefall und Tausendkorngewicht.

Sorte	TKG [g]				r ($\alpha = 0,05$)
	unbehandelt ohne Inokulation	mit Wachstumsregulator (BBCH 30) und Fungizidbehandlung (BBCH 37)			
		ohne Inokulation	Körner- inokulation	Sprüh- inokulation	
Asketis	58,7 a ¹	57,2 a	57,6 a	53,9 a	-0,96
Aspirant	49,8 a	52,6 a	59,5 a	48,0 a	-0,57 n.s.
Atlantis	47,0 a	48,8 a	58,0 a	46,3 a	-0,49 n.s.
Dream	42,4 a	42,0 a	59,3 a	37,4 a	-0,72 n.s.
FR 444/06	51,2 a	52,2 a	51,8 a	47,0 a	-0,87 n.s.
FR 438/14	53,7 a	55,0 a	56,2 a	52,2 a	-0,89 n.s.
Glockner	52,3 a	49,5 a	57,6 a	49,2 a	-0,46 n.s.
Hanseat	52,5 a	53,8 a	49,0 a	49,1 a	-0,45 n.s.
Kanzler	49,4 a	49,1 a	56,9 a	43,9 a	-0,30 n.s.
Ludwig	56,2 a	54,5 a	52,8 a	48,2 a	-0,98
Mewa	55,8 a	53,5 a	52,3 a	51,9 a	-0,73 n.s.
Motiv	51,3 a	51,0 a	50,6 a	48,9 a	-0,99
Optimus	54,2 a	53,5 a	47,0 a	43,2 a	-0,88 n.s.
Renan	58,7 a	54,1 a	57,0 a	47,0 a	-0,96
WW 2628	54,3 a	56,0 a	56,4 a	40,4 a	-0,99
MW \pm s²	52,5 \pm 4,3 a	52,2 \pm 3,7 a	54,8 \pm 3,9 a	47,1 \pm 4,4 b	-0,75

¹ unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Sorte bedeuten signifikante Unterschiede im TKG ($\alpha = 0,05$).

² Mittelwert \pm Standardabweichung

3.5.3.2 Flächenertrag

Die unbehandelten Weizenpflanzen erbrachten im Sortenmittel einen Ertrag von 78,5 dt/ha (Tab. 29). Der intensive Anbau mit Anwendung eines Wachstumsregulators und einer Fungizidbehandlung steigerte den Ertrag auf durchschnittlich 82,7 dt/ha. Eine *Fusarium*-Inokulation reduzierte die Weizenerträge der untersuchten Sorten signifikant. Eine Körner- bzw. Sprühinokulation führte im Sortenmittel zu einer Ertragsdepression von 18,8 dt/ha bzw. 32,4 dt/ha. Sortenspezifisch traten hohe negative Korrelationen zwischen dem Kornbefall mit

Tab. 29: Einfluss einer *Fusarium*-Inokulation auf den Flächenertrag von 15 Weizensorten. Inokuliert wurde mit *F. culmorum*, *F. avenaceum*, *F. cerealis* und *F. poae* zu BBCH 30 (Körnerinokulation) bzw. BBCH 65 (Sprühinokulation) in Hennef 1999, Koeffizient (r) als Maß der Beziehung zwischen Kornbefall und Flächenertrag.

Sorte	Ertrag [dt/ha]				r ($\alpha = 0,05$)
	unbehandelt	mit Wachstumsregulator (BBCH 30) und Fungizidbehandlung (BBCH 37)			
	ohne Inokulation	ohne Inokulation	Körnerinokulation	Sprühinokulation	
Asketis	88,0 a ¹	89,9 a	75,1 a	72,5 a	-0,67 n.s.
Aspirant	79,7 b	94,3 a	72,5 b	38,4 b	-0,92 n.s.
Atlantis	73,3 b	98,7 a	51,5 a	64,6 a	-0,26 n.s.
Dream	78,2 a	71,3 a	66,8 a	58,0 a	-0,73 n.s.
FR 444/06	79,6 a	92,6 a	70,0 a	41,6 a	-0,66 n.s.
FR 438/14	73,5 a	81,5 a	68,6 a	39,7 a	-0,88 n.s.
Glockner	71,7 a	71,5 a	66,6 a	45,3 a	-0,98
Hanseat	69,6 a	67,7 a	66,9 a	39,5 a	-0,97
Kanzler	75,9 a	80,3 a	67,7 a	50,0 a	-0,97
Ludwig	78,7 a	83,1 a	42,9 a	47,1 a	-0,69 n.s.
Mewa	93,5 a	92,9 a	74,4 a	56,2 a	-0,96
Motiv	86,1 a	83,7 a	64,8 a	42,2 a	-0,97
Optimus	83,2 a	77,0 a	55,0 a	51,7 a	-0,75 n.s.
Renan	70,0 a	71,2 a	76,1 a	41,9 a	-0,99
WW 2628	76,6 a	85,5 a	60,6 a	44,6 a	-0,85 n.s.
MW \pm s²	78,5 \pm 6,9 a	82,7 \pm 9,6 a	63,9 \pm 10,6 b	50,3 \pm 11,0 c	-0,82

¹ unterschiedliche Buchstaben innerhalb einer Sorte bedeuten signifikante Unterschiede im TKG ($\alpha = 0,05$).

² Mittelwert \pm Standardabweichung

Fusarium spp. und dem Kornertrag auf. Abgesehen von der Sorte `Atlantis` lag der Korrelationskoeffizient im Sortenmittel bei $r = -0,86$. Korrelationskoeffizienten von $r > -0,95$ konnten statistisch abgesichert werden, wiesen somit auf einen deutlichen Zusammenhang zwischen Flächenertrag und Kornbefall hin. Die vorhandenen Ertragsreduktionen durch Befall mit Ährenfusariosen konnten jedoch nur an der Sorte `Aspirant` statistisch abgesichert werden.

3.5.3.3 Einfluss der *Fusarium*-Art auf Ertragsparameter

Anhand der drei Befallsituationen aus dem Jahr 2000 in Meckenheim und Kerpen-Buir soll der Einfluss der *Fusarium*-Art auf das Tausendkorngewicht und den Ertrag erläutert werden. In Meckenheim führte bereits ein natürlicher Befallsdruck zu einem sortenabhängigen mittelstarken bis starken Ährenbefall, der größtenteils durch *F. avenaceum* bedingt war (Tab. 30). Ein starker bis sehr starker Ährenbefall trat in Meckenheim nach Sprühhinokulation mit *F. culmorum* und in Kerpen-Buir durch witterungsbedingtes Lager auf. Der sehr starke

Tab. 30: Tausendkorngewicht und Flächenertrag in Abhängigkeit von der Befallsstärke und den auftretenden *Fusarium*-Arten von 6 Weizensorten im Jahr 2000. Die Inokulation erfolgte in Meckenheim zu BBCH 65 mit *F. culmorum* (Isolat C 20); in Kerpen-Buir trat das Lager witterungsbedingt vier Wochen vor der Ernte ein.

Sorte	Meckenheim			Kerpen-Buir			Meckenheim		
	BHK ¹ [%]	TKG [g]	Ertrag [dt/ha]	BHK [%]	TKG [g]	Ertrag [dt/ha]	BHK [%]	TKG [g]	Ertrag [dt/ha]
Atlantis	10,5	48,8	72,3	45,5	44,3	80,5	94,5	32,8	53,7
Bandit	33,0	50,6	79,5	90,5	40,6	65,3	98,0	27,5	33,2
FR 444/06	48,5	50,2	81,0	87,0	43,7	78,7	80,0	38,3	65,7
Hanseat	41,0	50,6	75,2	91,0	41,5	72,4	96,0	26,0	27,5
Kanzler	23,5	50,4	70,9	54,5	42,1	65,3	95,0	32,2	48,6
Ludwig	13,5	55,9	77,4	39,5	59,2	96,3	94,5	37,8	54,8
Anteil der <i>Fusarium</i> -Arten am Gesamtspektrum									
	<p>natürlicher Befallsdruck z. Zt. der Blüte</p>			<p>hoher Befallsdruck infolge von witterungsbedingtem Lager</p>			<p>hoher Befallsdruck durch Sprühhinokulation in die Blüte</p>		

¹ BHK – Befallshäufigkeit der Körner mit *Fusarium* spp.

FAV - *F. avenaceum*, FCU - *F. culmorum*, FTR - *F. tricinctum*, FPO - *F. poae*, FCE – *F. cerealis*, FFSP – *Fusarium* spp.

Befall in Meckenheim spiegelte sich in den Ertragsparametern `TKG` und `Flächenertrag` wieder. Dadurch wurde das TKG im Vergleich zu den nicht-inokulierten Pflanzen um 24% - 49% reduziert, der Ertrag sogar um 19% - 63%. In Kerpen-Buir wiesen die unbehandelten Weizenpflanzen trotz eines starken Kornbefalls mit *F. avenaceum*, hauptsächlich verursacht durch Spätinfektion in Folge von Lagerbildung, im Sortenmittel ein relativ hohen Kornertrag von 76,4 dt/ha auf. Das TKG der 6 Weizensorten lag in Kerpen-Buir bei durchschnittlich 45,2 g und war somit um 5,7 g niedriger als in Meckenheim. In Meckenheim führte der hohe Befallsdruck, der durch die Sprühinokulation ausgelöst wurde, zu deutlichen Sortenunterschieden im Ertragsniveau. Als besonders ertragsstabil erwiesen sich die Linie `FR 444/06` und die beiden Sorten `Atlantis` und `Ludwig`. Auch in Kerpen-Buir erzielten sie unter den dort gegebenen Umständen die höchsten Erträge. Ganz im Gegenteil dazu reagierte die Sorte `Ritmo`, die zwar in einem gesunden Bestand einen relativ hohen Ertrag einbrachte, unter zunehmendem Befallsdruck jedoch starke Ertragsausfälle aufwies. Ein Vergleich der Sorten an diesen zwei Standorten ist jedoch auf Grund der unterschiedlichen Standortfaktoren nur bedingt möglich.

3.6 Einfluss einer Fungizidbehandlung

In den Jahren 1999 und 2000 wurde an acht Standorten der Einfluss verschiedener Fungizidstrategien auf den Ährenbefall mit *Fusarium* spp. untersucht. Die Behandlungen waren a) ohne Fungizide, b) und c) Azol- und Strobilurin-haltige Fungizide viermal stadienorientiert appliziert bzw. ein-/zweimal schadschwellenorientiert appliziert, d) und e) schadschwellen-orientierte Blattbehandlung und Metconazol zu BBCH 65 bzw. Metconazol zu BBCH 65 und Tebuconazol zu BBCH 71. Nach der Ernte wurde die Befallshäufigkeit der Körner mit *Fusarium* spp. sowie für fünf Versuche auch der Toxingehalt der Körner ermittelt. Eine zwei oder viermalige Blattbehandlung führte in 25 von 28 Versuchen zu einem erhöhten Auftreten von *Fusarium* spp. am Korn, dabei war die Befallszunahme in 6 bzw. 4 Versuchen signifikant. Entsprechend nahm der Anteil aller *Fusarium*-Arten zu, jedoch ließ sich statistisch nur ein erhöhtes Auftreten von *F. avenaceum* absichern.

Im Vergleich zu den wenig anfälligen Sorten (BSA-Einstufung: Note 4) mit einem durchschnittlichen Kornbefall von 14,1%, waren unbehandelte Pflanzen anfälliger Sorten (BSA-Einstufung: Note 7) mit durchschnittlich 23,2% stärker befallen (Abb. 21). Eine Blatt- oder Ährenbehandlung führte jedoch weder bei den wenig noch bei den stark anfälligen Sorten zu einer signifikanten Reduktion des Kornbefalls. Die Wirksamkeit einer Ährenbehandlung hing somit nicht von der Anfälligkeit einer Weizensorte ab.

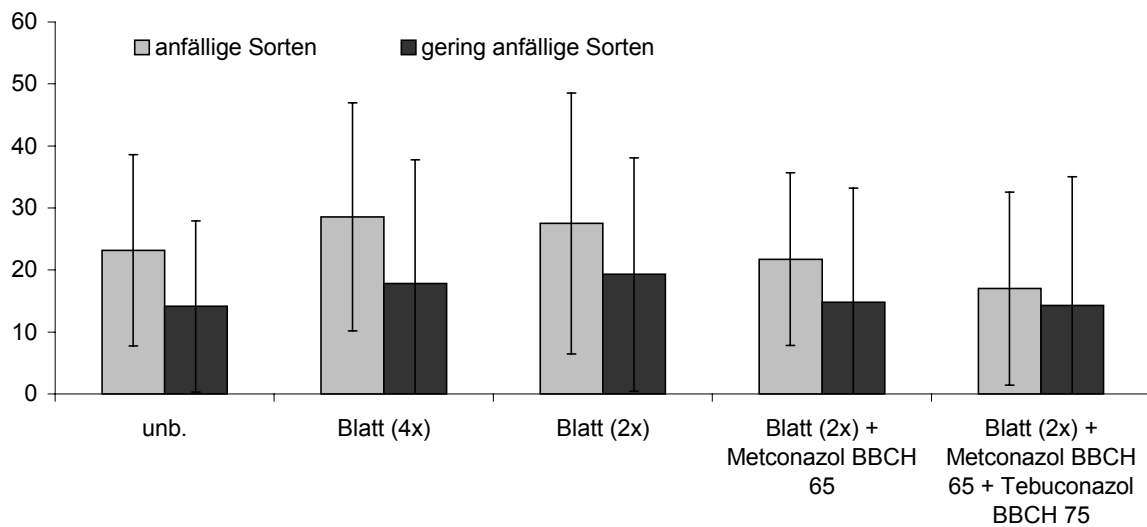


Abb. 21: Einfluss einer Fungizidbehandlung auf die Befallshäufigkeit der Körner mit *Fusarium* spp. in Abhängigkeit von der Anfälligkeit einer Weizensorte an verschiedenen Standorten im Jahr 1999 und 2000 (n = 10).

unb. - keine Fungizidbehandlung, Blatt (4x) - 4 Fungizidapplikationen gegen Blattpathogene (nur in 2000), Blatt (2x) - 2 Fungizidapplikationen gegen Blattpathogene jeweils mit Azol- und Strobilurin-haltigen Fungiziden (nur in 2000)

Im Jahr 2000 wirkte sich eine stadien- oder schadschwellenorientierte Fungizidmaßnahme befallssteigernd auf das Auftreten der Ährenfusariosen aus. Dies konnte in 5 bzw. 6 von jeweils 14 Versuchen statistisch abgesichert werden. In diesen Fällen war der Kornbefall mit *Fusarium* spp. um 63% bzw. 52% erhöht gegenüber dem unbehandelten Pflanzen. Dies war auf eine Zunahme aller *Fusarium*-Arten, besonders aber auf ein stärkeres Auftreten von *F. avenaceum* zurückzuführen.

3.6.1 Wirkungsgrad der Fungizide

Für die Berechnung des Wirkungsgrades wurden ausschließlich Bekämpfungsversuche des Jahres 2000 herangezogen, da im Jahr 1999 die Vergleichsbehandlung „Blattfungizide (2x) ohne Ährenbehandlung“ nicht untersucht worden war. Natürlicher Befallsdruck im Jahr 2000 führte an unbehandelten Pflanzen zu einem *Fusarium*-Besatz der Körner, der zwischen 3% Befallshäufigkeit an der Sorte 'Flair' in Neukirchen-Vluyn und 69,5% an der Sorte 'Ritmo' in Kerpen-Buir variierte. Im Mittel über alle Sorten und Standorte lag das Befallsniveau bei durchschnittlich 16,9% (Tab. 31).

In acht von vierzehn Versuchen führte eine einfache Ährenbehandlung zum Zeitpunkt der

Tab. 31: Wirkungsgrad einer einmaligen Azol-Behandlung zu BBCH 65 bzw. einer Doppelbehandlung zu BBCH 65 und BBCH 71 auf den Kornbefall von Winterweizen mit *Fusarium* spp. an sieben Standorten im Jahr 2000. Die Kontrolle entsprach einer Schadschwellen-orientierten Behandlung gegen Blattpathogene mit zweimaliger Fungizidapplikation.

Standort	Sorte	Befallshäufigkeit [%] Kontrolle	Wirkungsgrad (%) nach Abbott	
			Metconazol BBCH 65	Metconazol BBCH 65 + Tebuconazol BBCH 71
Kerpen-Buir	Ritmo	69,5	26 *	31 *
	Flair	45,0	- 23 * ¹	- 44 *
Neukirchen- Vluyn	Ritmo	31,5	19 *	65 *
	Flair	7,0	50	57
Erftstadt	Ritmo	13,5	- 4	30
	Monopol	47,5	42 *	79 *
Mettmann	Ritmo	5,0	40	20
	Greif	7,5	71	14
Beckrath	Ritmo	15,0	43	0
	Hybnos	5,5	- 18	- 55
Titz-Spiel	Ritmo	26,5	- 13	- 11
	Hybnos	6,5	- 100	- 92
Bergheim	Ritmo	31,5	- 14	- 37 *
	Greif	16,5	58 *	64 *

* signifikant zur Kontrolle, $\alpha=0,05$

¹ ein negativer Wirkungsgrad bedeutet eine Befallszunahme mit *Fusarium* spp. relativ zur Kontrolle

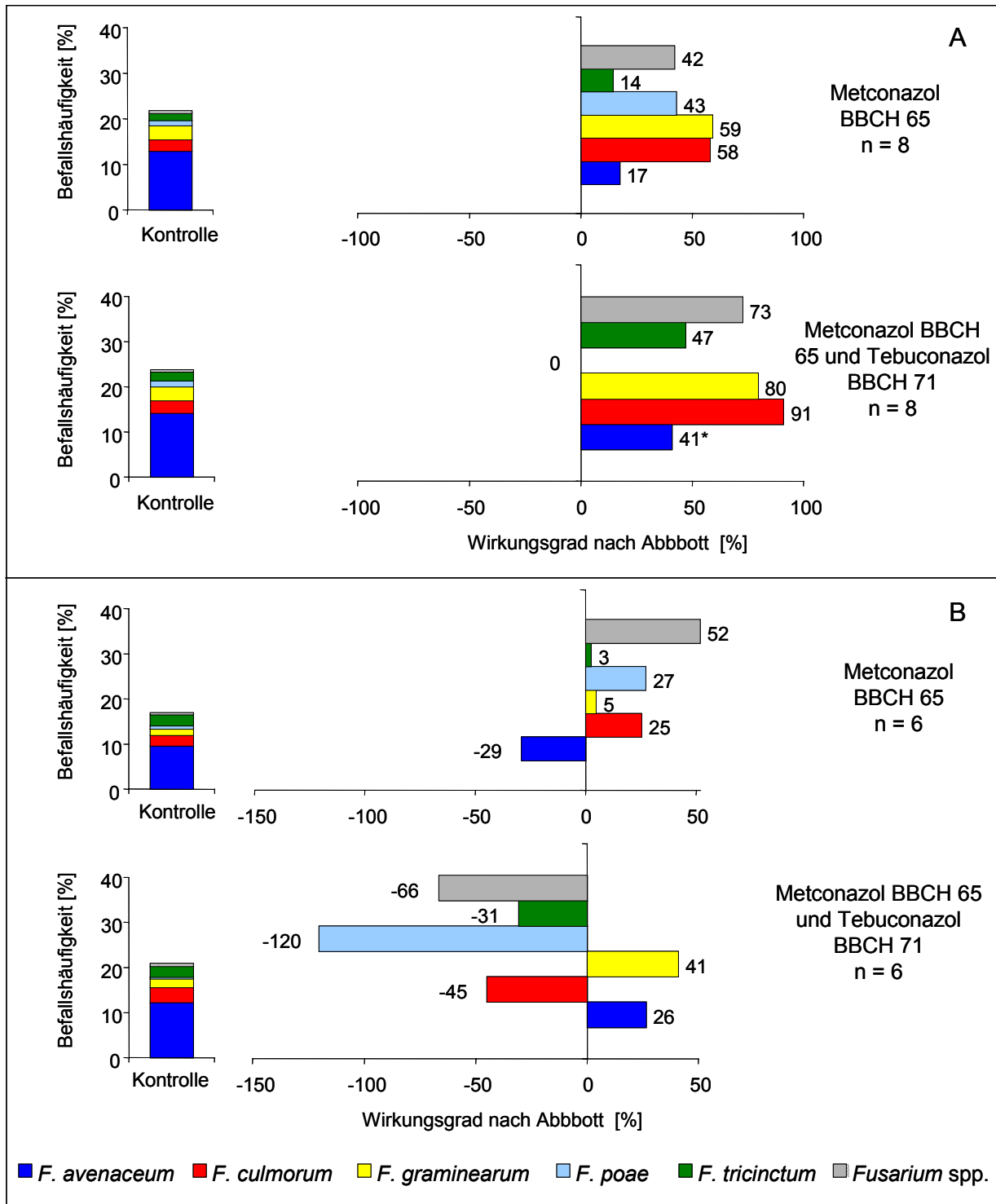
Blüte zu einer Befallsreduktion mit *Fusarium* spp. am Korn, wobei diese Reduktion in nur vier Versuchen statistisch abgesichert werden konnte. Der Wirkungsgrad von Metconazol betrug in diesen Fällen durchschnittlich 36% (19 – 58%). Eine zweimalige Fungizidbehandlung führte bei diesen Sorten zu einer weiteren Befallsreduktion mit einem Wirkungsgrad der Azol-Fungizide von durchschnittlich 60% (31 - 79%). Ein hoher Wirkungsgrad, wie z.B. in Mettmann oder Neukirchen-Vluyn, ließ sich auf Grund des geringen Kornbefalls von durchschnittlich 6,3% in der Kontrolle jedoch nicht statistisch absichern. In 6 weiteren Versuchen war eine Ährenbehandlung nicht effektiv und führte nicht zu der angestrebten Reduktion des Kornbefalls. Eine ein- bzw. zweimalige Ährenbehandlung führte in einem bzw. zwei Fällen sogar zu einer signifikanten Befallszunahme mit *Fusarium*-Arten. Im Vergleich zur Kontrolle erhöhte sich der Kornbefall dabei um 23,2% bzw. 40,5%. Führten an den Standorten Mettmann, Neukirchen-Vluyn und Erftstadt beide Ährenbehandlungen zu einer Reduktion des Kornbefalls an beiden Sorten, so traf dies an den Standorten Bergheim,

Beckrath und Kerpen nur für jeweils eine Sorte zu. In Titz-Spiel wurde an keiner Sorte der Kornbefall mit Fusariosen durch eine Ährenbehandlung reduziert.

Da eine befallsreduzierende Wirkung der Azol-Fungizide nicht in allen Versuchen festgestellt werden konnte, wurde der Fungizideinfluss differenziert in Abhängigkeit von den auftretenden *Fusarium*-Arten betrachtet. Dabei wurde unterschieden, ob die Ährenbehandlung eine insgesamt reduzierende oder steigernde Wirkung auf den Kornbefall gehabt hatte. D.h. die Effektivität der Fungizide aus Versuchen mit erfolgreicher, befallsreduzierender Ährenbehandlung wurde mit der verglichen, in der die Behandlung den Kornbefall nicht reduzierte (Abb. 22). In acht von vierzehn Versuchen führte eine ein- bzw. zweimalige Fungizidbehandlung zu einer Reduktion des Ährenbefalls mit *Fusarium*-Arten. Der höchste Wirkungsgrad bei einfacher Azol-Applikation in die Ähre wurde gegenüber *F. graminearum* (59%) und *F. culmorum* (58%) erzielt. Eine zweimalige Behandlung erhöhte diesen Wirkungsgrad auf 80% bzw. 91%. Die Bekämpfung von *F. avenaceum* und *F. tricinctum* war weniger erfolgreich. Eine einmalige Ährenbehandlung reduzierte das Auftreten dieser beiden Arten um durchschnittlich 16%, nach zweimaliger Applikation lag ein Wirkungsgrad von durchschnittlich 44% vor. Es konnte kein eindeutiger Bekämpfungserfolg gegenüber *F. poae* festgestellt werden. Führte eine einmalige Ährenbehandlung zu einer Befallsreduktion (Wirkungsgrad 43%), so wurde durch eine zweimalige Ährenbehandlung das Auftreten von *F. poae* nicht beeinflusst. Die unter *Fusarium* spp. zusammengefassten Arten setzten sich aus *F. cerealis*, *F. equiseti* und *F. sporotrichioides* zusammen. Der Wirkungsgrad der Azole gegenüber diesen Arten lag bei 42% bzw. 73%.

In sechs Versuchen führte eine Ährenbehandlung mit Metconazol bzw. Metconazol und Tebuconazol zu keiner Reduktion des *Fusarium*-Befalls am Korn. Dieses war auf die geringe bzw. nicht vorhandene Wirkung der Azol-Präparate nach ein- oder zweimaliger Applikation in die Weizenähre gegenüber den Arten *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. poae* und *F. tricinctum* zurückzuführen. Der Wirkungsgrad, erzielt gegenüber diesen am häufigsten vertretenen *Fusarium*-Arten, lag bei durchschnittlich 7% nach einmaliger Behandlung bzw. bei -43% bei zweimaliger Behandlung. Eine Fungizidapplikation zu BBCH 65 und 71 führte somit bei diesen Arten sogar zu einer Befallszunahme. Lediglich das Auftreten von *F. graminearum* wurde auch in diesen Fällen reduziert, in den beiden Behandlungen lag ein Wirkungsgrad von 5% bzw. 41% vor.

Die erhobenen Daten wurden statistisch ausgewertet. Die aufgeführten Wirkungsgrade konnten jedoch bis auf eine Ausnahme (s. Abb. 22A) nicht gegenüber der Behandlung ohne Ährenapplikation abgesichert werden.



* signifikant zur Kontrolle, SNK ($\alpha = 0,05$)

n = Anzahl Versuche (unterschiedliche Standorte, unterschiedlich anfällige Sorten)

Abb. 22: Wirkungsgrad von Azolen auf das Auftreten der *Fusarium*-Arten in Versuchen mit einer befallsreduzierenden Wirkung einer Ährenbehandlung (A) bzw. ohne befallsreduzierende Wirkung einer Ährenbehandlung (B). Die zwei Ährenbehandlungen erfolgten mit Metconazol zu BBCH 65 bzw. zusätzlich mit Tebuconazol zu BBCH 71. Die Kontrolle entsprach einer schadschwellen-orientierten Blattbehandlung mit ein- oder zweimaliger Fungizidapplikation (ohne Ährenbehandlung). Untersucht wurden 5 Weizensorten an 7 Standorten im Jahr 2000 (n = Anzahl Versuche).

3.6.2 Toxingehalte

Exemplarisch wurde in fünf Versuchen der Einfluss der Fungizidbehandlung auf die Toxinbelastung der Weizenkörner untersucht. Dies war für die Sorten `Ritmo` und `Flair` am Standort Kerpen, `Ritmo` und `Hybnos` am Standort Titz-Spiel und `Ritmo` am Standort Neukirchen-Vluyn der Fall. Die Toxinbelastung wurde mittels HPLC-DAD ermittelt. Mit dieser Methode konnten die Toxine Deoxynivalenol (DON), 3-Acetyl-Deoxynivalenol (3-Ac-DON), 15-Acetyl-Deoxynivalenol (15-Ac-DON) und Nivalenol (NIV) detektiert werden. Nur in zwei der fünf Versuche wurde überhaupt eine Toxinbelastung der Körner nachgewiesen. Das trat für Körner der Sorte `Ritmo` an den Standorten Neukirchen-Vluyn und Titz-Spiel zu.

Das Befallsniveau in Neukirchen-Vluyn war mit 35% bzw. 36% Kornbefall der Pflanzen, die zwei oder viermal mit Fungiziden gegen Blattpathogene behandelt wurden, sehr hoch (Abb. 23). Die Körner unbehandelter Pflanzen waren dagegen nur zu 16% mit Ährenfusariosen befallen. Diese Befallsunterschiede spiegelten sich in den Toxingehalten der Körner wider. Dementsprechend waren bei einer zwei oder viermaligen Blattbehandlung die Körner mit 2,65 bzw. 2,24 µg DON/g belastet, während Körner unbehandelter Pflanzen nur mit 1,58 µg DON/g belastet waren. Auch Ac-DON wurde mit einem Gehalt von durchschnittlich 0,48 µg 3-Ac-DON/g und 0,51 µg 15-Ac-DON/g in den Weizenkörnern behandelter Pflanzen detektiert, aber auch Körner unbehandelter Pflanzen wiesen Gehalte von 0,35 µg 15-Ac-DON/g auf. Eine ein- oder zweimalige Ährenbehandlung mit Azol-Fungiziden reduzierte nicht nur den Kornbefall deutlich, sondern führte auch zu geringeren Toxingehalten der Körner. Die DON-Belastung der Körner wurde auf 0,69 µg/g bzw. 0,35 µg/g reduziert. Dies entspricht einem Wirkungsgrad der Azol-Fungizide von 74% bzw. 87%. Der Gehalt an Ac-DON wurde durch die Ährenbehandlungen im Mittel um 49% reduziert. Eine einfache Ährenbehandlung unterschied sich in diesem Fall nicht von einer zweimaligen Ährenbehandlung. Eine Reduktion der DON-Gehalte der Körner ging einher mit einem verminderten Auftreten von *F. graminearum* und *F. culmorum*. Ihr Befall wurde durch eine ein- bzw. zweimaliger Ährenbehandlung um 63% bzw. 91% reduziert, während der Gesamtbefall mit *Fusarium* spp. von 31,5% auf eine Befallshäufigkeit von 25,5% bzw. 11,0% reduziert wurde.

Kornproben aus Titz-Spiel waren in allen Behandlungen weniger stark toxinbelastet als in Neukirchen-Vluyn. Aber auch hier führte eine schadschwellen- bzw. stadienorientierte Blattbehandlung im Vergleich zu unbehandelten Pflanzen zu einem doppelten bzw. dreifach erhöhten Kornbefall mit *Fusarium*-Arten. Besonders hoch waren dementsprechend die Toxingehalte der Körner im Falle einer Fungizidbehandlung der Blätter. Wurde in Körnern

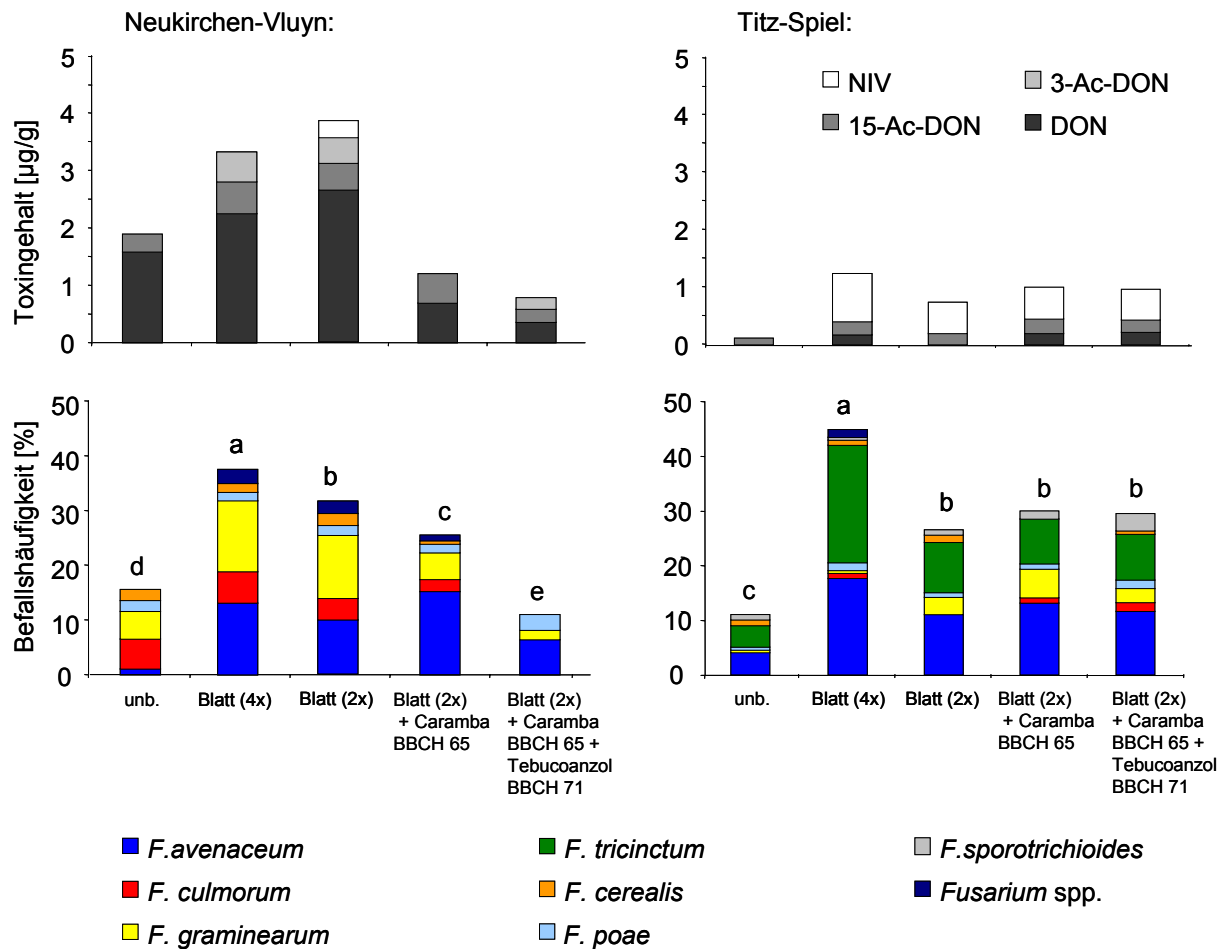


Abb. 23: Einfluss verschiedener Fungizidstrategien auf den Toxingehalt und die Befallshäufigkeit mit *Fusarium* spp. an Weizenkörnern der Sorte `Ritmo` an den Standorten Neukirchen-Vluyn und Titz-Spiel im Jahr 2000.

unb. - keine Fungizidbehandlung, Blatt (4x) - 4 Fungizidapplikationen gegen Blattpathogene, Blatt (2x) - 2 Fungizidapplikationen gegen Blattpathogene jeweils mit Azol- und Strobilurin-haltigen Fungiziden.

unbehandelter Pflanzen gar kein NIV gefunden, so lagen nach einer schadsschwellen- bzw. stadienorientierten Blattbehandlung Gehalte von 0,55 bzw. 0,84 µg NIV/g vor. Eine ein- oder zweimalige Ährenbehandlung reduzierte die NIV-Gehalte der Körner nicht. Ebenso konnte auch kein Einfluss der Fungizidbehandlung auf den Gehalt von 15-Ac-DON festgestellt werden. Unabhängig von der Art der Fungizidbehandlung lag der 15-Ac-DON-Gehalt unverändert bei $0,23 \pm 0,03$ µg/g. Nach vierfacher stadienorientierter Blattbehandlung ebenso wie nach einer Ährenbehandlung wurde ein DON-Gehalt der Körner von $0,20 \pm 0,02$ µg/g nachgewiesen. Die Toxinbelastung stand im Zusammenhang mit dem Auftreten der *Fusarium*-Arten an diesen Körnern. Hohe NIV-Gehalte, wie sie in Körnern nach vierfacher Blattbehandlung gemessen wurden, gingen mit einem deutlich stärkeren Auftreten von *F. tricinctum* einher. Das Auftreten dieser Art wurde jedoch durch eine

Fungizidapplikation in die Weizenblüte nicht beeinflusst. Auch der Kornbesatz mit *F. graminearum* und *F. culmorum* konnte nicht wie in Neukirchen-Vluyn durch eine Ährenbehandlung reduziert werden.

Die starke Abhängigkeit der Toxingehalte der Körner von den auftretenden *Fusarium*-Arten erklärt auch, warum in den drei anderen Versuchen keine Mykotoxinbelastung der Körner festgestellt werden konnte. Die Sorten `Ritmo` und `Flair` in Kerpen-Buir wiesen zwar einen hohen Kornbefall von 70 bzw. 45% auf, in beiden Versuchen wurde der Kornbefall jedoch zu 80% durch *F. avenaceum* und zu 20% durch *F. culmorum* verursacht. *F. avenaceum* produziert weder DON, Ac-DON noch NIV. Auch war der starke Kornbefall nachweislich auf einen sehr späten Befall der Weizenpflanzen in Folge von Lagerbildung während der Abreife zurückzuführen. Die Sorte `Hybnos` in Titz-Spiel war mit 6% Kornbefall sehr gering belastet und die angewandte Methode war nicht sensitiv genug, um eine mögliche Toxinbelastungen zu erfassen.

4 Diskussion

Seit Beginn der 80iger Jahre wurde dem Problem der Ährenfusariosen vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt. Kühl-feuchte Witterungen während der Getreideblüte mit überdurchschnittlich hohen Niederschlägen in den Sommermonaten führten in Deutschland in den vergangenen Jahren mehrmals zu stark toxinbelasteten Weizenernten (AHRENS & FEHRMANN 1984, MÜLLER *et al.* 1997, OBST *et al.* 1990). Nicht nur durch die Veränderungen in der Landwirtschaft mit einer stetigen Zunahme von Mais in der Fruchtfolge und dem Trend zur Minimalbodenbearbeitung, sondern auch in Folge einer verbesserten Analytik wurde die Problematik der Ährenfusariosen, insbesondere die der damit verbundenen Mykotoxinbelastung des Erntegutes, erkannt und als problematisch bewertet. Der starke witterungsbedingte Einfluss auf den Infektionsverlauf sowie das Zusammenspiel unterschiedlicher *Fusarium*-Arten führen zu einem komplexen Befallsgeschehen, welches in Abhängigkeit von den Anbauformen einer regionalen Bewertung bedarf.

In den Jahren 1998 – 2000 wurde im Rheinland in Freiland- und Gewächshausversuchen das Auftreten von *Fusarium spp.* und *Microdochium nivale* am Erntegut untersucht. Die Untersuchungen gliederten sich dabei in die Bereiche:

- a) Erfassung des Ährenbefalls mit *Fusarium*-Arten und *M. nivale* unter Praxisbedingungen
- b) Einfluss morphologischer und physiologischer Erscheinungen des Genotyps auf den Ährenbefall
- c) Bekämpfung des Ährenbefalls mit *Fusarium spp.* unter Praxisbedingungen

Das Befallsgeschehen im Rheinland zeigte im Überblick der untersuchten Jahre einen deutlichen jahresabhängigen Einfluss. Der durchschnittliche Kornbefall mit Ährenfusariosen lag 1998 bei 6%. Gleichzeitig wurde mit 20% ein starkes Auftreten von *M. nivale*, dem Erreger des Schneeschimmels, an den Körnern beobachtet. In den nachfolgenden Jahren 1999 und 2000 kehrten sich diese Verhältnisse um, das Befallsniveau mit Ährenfusariosen war mit 18 - 20% deutlich höher als im Jahr 1998. Gleichzeitig ging der Kornbefall mit *M. nivale* auf weniger als 2% zurück. Diese Durchschnittswerte stellen ein Mittel aus Versuchsdaten verschiedener Standorte, Sorten und Anbaubedingungen (u.a. konventionell und ökologisch) dar. Eine detaillierte Betrachtung des *Fusarium*-Komplexes, welcher auf multifaktoriellen Ursachen beruht, ist somit erforderlich und soll im nachfolgenden diskutiert werden.

Die Witterung

Im sogenannten „*Fusarium*-Jahr“ 1998 trat witterungsbedingt vielerorts ein starker *Fusarium*-Befall auf. In vielen Getreideproben wurden hohe Toxinwerte gefunden (BECK & LEPSCHY 2000, ELLNER 2000, MATTHIES *et al.* 2000, MEIER *et al.* 2000). In Kerpen-Buir wurde im Jahr 1998 dagegen nur an wenigen Sorten ein starker Kornbefall mit *Fusarium* spp. registriert. Gegenläufig war dazu aber ein starkes Auftreten von *M. nivale*. MEIER *et al.* (2000) berichteten jedoch auch von hohen Befallswerten an Weizenkörnern im Jahr 1998 an Standorten im Rheinland. Die standortbedingte Witterung spielt, besonders zum anfälligen Stadium der Weizenblüte Ende Mai / Anfang Juni, eine entscheidende Rolle im Infektionsverlauf. In Kerpen-Buir trat die Weizenblüte zwischen dem 7. – 12. Juni ein und war durch zwei starke Niederschlagsereignisse gekennzeichnet. Eine Niederschlagsmenge von 4 mm wird zumindest für *F. graminearum* als Voraussetzung für den Ascosporenflug angesehen, um zu einer Verbreitung im Weizenbestand zu führen (OBST & BECHTEL 2000). Ungewöhnlich hohe Temperaturen von durchschnittlich 17,3°C (+3°C zum langjährigen Monatsmittel, DEUTSCHER WETTERDIENST 1998a) und eine fast dreiwöchige niederschlagsfreie Zeit im Mai unterdrückten möglicherweise den Aufbau eines Inokulumpotentials von *Fusarium* spp. an diesem Standort. Kurz vor der Blüte setzte zwar eine mehrtägige Niederschlagsperiode (\varnothing 8,3 mm) ein, die Temperaturen blieben jedoch relativ hoch. Die beiden an diesem Standort dominierenden Arten *F. avenaceum* und *F. culmorum* bevorzugen aber kühlere und feuchtere Klimate (PARRY *et al.* 1995, SCHILLING *et al.* 1997), sodass durch die lange Trockenperiode im Mai sowie die relativ hohen Temperaturen das geringere Auftreten von Ährenfusariosen an diesem Standort teilweise erklärt werden kann.

M. nivale trat im Jahr 1998 sehr stark sowohl im ökologischen als auch im konventionellen Anbau auf. Dies ist möglicherweise als Folge des milden Winters 1997/98 anzusehen (DEUTSCHER WETTERDIENST 1998b). Optimale Infektionsbedingungen für *M. nivale* sind eine kühl-feuchte Witterung und andauernde Niederschläge, welche bei gleichzeitig geringer Sonneneinstrahlung zu einer ungenügend ausgebildeten Wachsschicht der Blätter führen und auch dadurch eine Infektion mit *M. nivale* fördern können (MAULER-MACHNIK & ZAHN 1994). BAHLE & LEIST (1997) und SCHÜTZE (1999) gaben als optimale Infektions- und Wachstumsbedingungen für *M. nivale* dagegen einen breiteren Temperaturbereich an, d.h. der Erreger kann sich bei niedrigen und höheren Temperaturen entwickeln. Die eigenen Beobachtungen stützten letztere Vermutung, denn trotz hoher Temperaturen im Mai und Juni im Jahr 1998 trat ein starker Kornbefall mit diesem Pathogen auf. Auffällig war das sehr starke Auftreten von *M. nivale* im Jahr 1998, während im Jahr 1999 und 2000 der Befall mit dieser Art stark reduziert war, dafür aber ein sehr viel stärkeres Auftreten von *Fusarium* spp.

festzustellen war. In diesem Zusammenhang sind möglicherweise antagonistische Wechselwirkungen zwischen *Fusarium*-Arten und *M. nivale* nicht auszuschließen, da diese Pilze letztendlich um die gleiche ökologische Nische – die Besiedlung der Ähre - konkurrieren.

Für den Ährenbefall sind aber nicht nur die Niederschlagsmengen von Bedeutung, sondern auch die Verteilung dieser. ROSSI *et al.* (2000) führen an, dass unabhängig von der *Fusarium*-Art und dem Jahr, die Verbreitung der Konidien in erster Linie mit der Anzahl der Regentage zunimmt. Diese wirken sich auf das Mikroklima im Bestand und auf die Blattnässe aus. Dabei führt eine 2 - 3tägige Regenperiode zu einer stärkeren Konidienverteilung als isolierte Niederschlagsereignisse. ANDERSEN (1948) zeigte, dass eine Trockenperiode von 4 - 8 Tagen direkt nach einer Inokulation mit *F. graminearum* zu einer deutlich geringeren Symptomausprägung an der Ähre führte als bei Pflanzen, die einer durchgängigen Feuchtigkeit ausgesetzt waren. Regenspritzer sind für die Verbreitung der Konidien notwendig, während die Dauer der Blattnässe für Keimung und Hyphenwachstum des Pilzes unabdingbar sind. OBST & BECHTEL (2000) bezeichnen z.B. eine Dauer von 5 Tagen mit Niederschlägen oder Blattnässe unmittelbar nach dem Ascosporenflug von *F. graminearum* als Voraussetzung für eine Sekundärinfektion durch die in der Zwischenzeit gebildeten Konidiosporen. Zwei Niederschlagsereignisse (\varnothing 11 mm) zu Blühbeginn während der Weizenblüte in Kerpen-Buir (1999), gefolgt von einer siebentägigen Trockenperiode mit nur einem unbedeutenden Regenereignis, waren nicht ausreichend für eine infektionsauslösende Inokulumverbreitung im Bestand. Dementsprechend niedrig war der Kornbefall mit Ährenfusariosen an diesem Standort im Jahr 1999. Er lag im Sortenmittel bei nur 3%.

Ein auffällig hoher Ährenbefall trat in Kerpen-Buir im Jahr 2000 an Pflanzen auf, die nicht mit Wachstumsregulatoren behandelt worden waren. Dies war eindeutig auf witterungsbedingtes Lager der Weizenpflanzen vier Wochen vor der Ernte zurückzuführen. Das am Boden liegende Getreide trocknet weniger schnell ab und gleichzeitig wird der Infektionsweg der Fusarien vom Boden zur Ähre stark verkürzt, was durch die anhaltende feucht-kühle Witterung noch gefördert wurde. Dies führte insgesamt zu einem extrem hohen Kornbefall an diesem Standort von durchschnittlich 27% im Landessortenversuch und von über 50% im eigenen Sortenversuch. Ein um 76% geringerer Kornbefall wurde dagegen an Pflanzen festgestellt, die mit Wachstumsregulatoren behandelt worden waren.

Eine fünfwöchige Beregnung von Weizenpflanzen mit 6 x 0,4 mm/Nacht, beginnend mit dem Zeitpunkt der Blüte, führte in Meckenheim (2000) nur zu einem gering erhöhten Kornbefall gegenüber nicht beregneten Pflanzen. Die nicht beregneten Pflanzen waren einem hohen

witterungsbedingten Inokulumdruck ausgesetzt und wiesen dem zu Folge bereits einen starken Kornbefall auf. Die zusätzliche Beregnung war nicht ausreichend, um den Infektionsdruck deutlich gegenüber den natürlichen Witterungsbedingungen zu erhöhen und dadurch zu einer stärkeren Verbreitung und Infektion von *Fusarium* spp. im Weizenbestand zu führen.

Der Standort

Jeder Standort bietet mit seinem Boden- und Klimafaktoren, welche sich aus den Temperaturverhältnissen, den Niederschlagshöhen und der Niederschlagsverteilung zusammensetzen, ein spezifisches Standortklima (GEISLER 1988). Auf lokaler Ebene haben die Bodenart, die Landnutzung und die Vegetationsart einen starken Einfluss auf die Verteilung der *Fusarium*-Arten, während auf regionaler Ebene die kontinentale Lage sowie das Klima den vorrangigen Einfluss ausübt (BACKHOUSE *et al.* 2001). Der Einfluss des Standortes auf den Ährenbefall konnte beim Vergleich der Weizensorte `Ritmo` an sieben Standorten im Rheinland dargestellt werden. Die Befallshäufigkeiten der Körner variierten in Abhängigkeit vom Standort signifikant zwischen 7% und 54%, was besonders auf regionale Witterungsunterschiede zurückzuführen war. Das Spektrum der *Fusarium*-Arten war aber trotz gleicher Bodenbearbeitung, Vorfrucht und Weizensorte an den verschiedenen Standorten sehr unterschiedlich. Neben dem Standort Kerpen-Buir, an dem *F. avenaceum* drei Viertel aller *Fusarium*-Arten ausmachte, traten in Neukirchen-Vluyn hauptsächlich *F. culmorum* und *F. graminearum* mit einem Gesamtanteil von zwei Drittel am *Fusarium*-Spektrum auf. An anderen Standorten war ein sehr hoher Anteil von *F. tricinctum* (Titz-Spiel) oder *F. poae* (Mettmann) im Artenspektrum vertreten. Bekannt ist, dass eine Pflugbearbeitung, wie sie auch an diesen Standorten vor der Aussaat durchgeführt wurde, das Inokulumpotential von *Fusarium* spp. im Boden reduziert (OBST *et al.* 1997). In der umgepflügten Furche erfolgt eine mikrobielle Zersetzung organischer Bodenpartikel und den saprophytischen Pilzen wird dadurch die Nahrungsgrundlage entzogen. Unterschiede im Artenspektrum sind somit auch durch Unterschiede in der Bodenmikroflora zu erklären. An den untersuchten Standorten waren verschiedene Bodenarten vertreten (uL, SL, Lehm). Die Bodenmikroflora wird beeinflusst durch die Bodenart, den Humusgehalt, den pH-Wert und die exponierte Lage (Höhe, Witterung) (STEINBRENNER 1996). So kann der pH-Wert des Bodens einen indirekten Einfluss auf die Fusariosen haben, da bei zunehmendem pH-Wert die Besiedlungsdichte der Mikroorganismen im Boden zunimmt (DAMM 1998, FISCHER 1977, STEINBRENNER 1996). Auch können Mikroorganismen aus der Gattung *Gliocladium* und *Chaetomium* als Antagonisten von *F. culmorum* in der Rhizosphäre von Weizenpflanzen agieren (DAMM 1998). ROBERTI *et al.* (2000) berichten über eine antagonistische Besiedlung der Rhizosphäre mit *Trichoderma harzianum* und *Gliocladium roseum*, die eine

Besiedlung durch *F. culmorum* verhinderten. Die Bodenmikroflora konkurriert um Nährstoffe und/oder Besiedlungsraum und spielt somit auch eine Rolle beim Auftreten der *Fusarium*-Arten im Boden und infolge dessen an der Pflanze. ALABOUVETTE (1990) zog auch die Möglichkeit *Fusarium*-suppressiver Böden in Betracht, welche durch die Konkurrenz der gesamten Mikroflora um Kohlenstoff und andere Nährstoffe die Unterdrückung von Welke, verursacht durch *F. oxysporum*, förderte.

Die Höhenlagen der untersuchten Standorte hatten im konventionellen Anbau eine weniger bedeutende Rolle, sie variierten nur geringfügig zwischen 65 – 90 m üNN. Eine Höhenlage wie am Standort Soest (ökologischer Landbau) mit 380 m üNN könnte aber auf Grund veränderter Temperatur und Niederschlagsmengen als Ursache des hohen Kornbefalls mit *M. nivale* angesehen werden. Nach THALMANN (1986) führte der Anbau von Getreide in Höhenlagen (Grenzgebiete) zu einer prozentual deutlich höheren Mykotoxinbelastung in Folge eines stärkeren Befalls als in klimatisch günstigen Anbaugebieten. Dass eine exponierte Höhenlage nicht zwangsläufig einen starken Ährenbefall mit *M. nivale* bedeutet, konnte am Standort Lichtenau gezeigt werden. Trotz einer Lage von 350 m üNN und Niederschlägen von 900 mm im langjährigen Mittel, war der Kornbefall mit *Fusarium* spp. und *M. nivale* deutlich geringer als am Höhenstandort Soest und auch als am Standort Kleve, welcher am Niederrhein auf einer Höhe von 40 m üNN liegt.

Auftreten der *Fusarium*-Arten

Das breite Spektrum der *Fusarium*-Arten, das im Rheinland an Weizenkörnern vorgefunden wurde, setzte sich zusammen aus den Arten *F. avenaceum* (43%), *F. culmorum* (21%), *F. graminearum* (11%), *F. poae* (10%), *F. tricinctum* (7%), *F. cerealis* (4%) sowie *M. nivale*. Des weiteren wurden im Untersuchungszeitraum 1998 - 2000 *F. equiseti*, *F. sporotrichioides* und nicht näher bestimmte *Fusarium*-Arten von den Weizenkörnern isoliert. Neben dem vorhandenen *Fusarium*-Befall waren nahezu alle Körner aus dem Freiland mit *Epicoccum* spp., *Alternaria* spp. und/oder *Cladosporium* spp. befallen. Untersuchungen im Rheinland im Jahr 1995/96 wiesen bereits auf *F. avenaceum* als standortunabhängig am häufigsten auftretende Art im Rheinland hin (SCHÜTZE 1999). ELLNER (2000) untersuchte 1999 das Auftreten von Ährenfusariosen im Getreideanbau an 75 Standorten im gesamten Bundesgebiet und nennt *F. poae* als häufigste vorkommende Art, gefolgt von *F. avenaceum* und *F. culmorum*. Aus Süddeutschland wird dagegen über das zunehmende Auftreten von *F. graminearum* in den letzten Jahrzehnten infolge des stärker werdenden Maisanbaus berichtet (RINTELEN 2000). Ein Vergleich mit den Nachbarländern weist darauf hin, dass das Auftreten von *F. culmorum* und *F. avenaceum* sich stärker auf nördliche, kühlere Regionen ausdehnt, während *F. graminearum* verstärkt in Mittel- bis Südeuropa vorzufinden ist (ADLER *et al.* 1990,

CHELKOWSKI & PERKOWSKI 1992, LANGSETH *et al.* 1997, MESTERHÁZY 1995, SNIJDERS & PERKOWSKI 1990, THRANE 2000).

Das starke Auftreten von *F. avenaceum* steht im Zusammenhang mit der speziellen rheinischen Fruchtfolge Winterweizen – Wintergerste - Zuckerrübe bzw. Winterweizen – Winterweizen – Zuckerrübe. Nach Vorfrucht Zuckerrübe und Winterweizen wurde *F. avenaceum* am häufigsten vom Korn isoliert. HALL & SUTTON (1998) konnten zeigen, dass das Vorkommen von *F. avenaceum* positiv mit dem Anteil von Grass oder Getreide in der Fruchtfolge korreliert war. Auf organischen Bodenpartikeln wird der Pilz häufiger nach Vorfrucht Weizen, Gras, Klee oder Kartoffeln isoliert, weniger oft nach Vorfrucht Mais (DAMM 1998, MEIER *et al.* 2001, RINTELEN 1967). NIELSEN & JØRGENSEN (2001) stellen zudem fest, dass die Bodenbearbeitung keinen Einfluss hat auf das Auftreten von *F. avenaceum*. Sie fanden nach Direktsaat, Grubber- oder Pflugbearbeitung stets einen gleichen Anteil von *F. avenaceum* an den Körnern vor. Dies wurde auch in den eigenen Untersuchungen beobachtet. Nach Pflugbearbeitung trat dieser Pilz sogar häufiger auf als nach einer Bodenbearbeitung mit dem Grubber. *F. avenaceum* ist ein kosmopolitischer Schwächepilz mit einem großen Wirtspflanzenkreis von monokotylen und dikotylen Pflanzen. Als Saprophyt kommt er im Boden vor, befällt aber auch alle Teile der Pflanze. Die im Rheinland vorherrschende Witterung mit Jahresniederschlägen zwischen 600 – 800 mm und Temperaturen im Jahresmittel von 9°C stellt für *F. avenaceum* optimale Infektionsbedingungen dar. Durch eine kontinuierliche nächtliche Beregnung zwischen Blüte und Abreife der Pflanzen wurde unter diesen Bedingungen der Kornbefall mit *F. avenaceum*, nicht aber der anderer Arten (Ausnahme: *F. graminearum*), signifikant erhöht. Im Allgemeinen wird das Auftreten dieser Art in Klimaten mit Temperaturen von 5 - 15°C im Jahresmittel und jährlichen Niederschlägen > 500 mm beschrieben (ABBAS *et al.* 1987, BURGESS *et al.* 1988, KOMMEDAHL *et al.* 1988). SAMSON *et al.* (1995) berichteten aber auch über minimale Wachstumstemperaturen von -3°C. Möglich scheint auch, dass die als schwach pathogen geltende *Fusarium*-Art (MANKA *et al.* 1985) sich im Rheinland gut etablieren kann, da kaum Konkurrenz durch pathogenere Arten wie z.B. *F. graminearum* vorhanden ist.

F. culmorum, die zweithäufigste Art im Rheinland, hat ähnliche Temperatur- und Feuchtigkeitsansprüche wie *F. avenaceum*. Auch diese Art dominiert in kühleren Klimaten (LACEY *et al.* 1999). JUGNET *et al.* (1983) nannten ein tägliches Temperaturmaximum von mindestens 10°C und eine tägliche relative Luftfeuchtigkeit von 80% als Voraussetzung für die Ausbreitung und Infektion von *F. culmorum* an der Ähre. Es konnte gezeigt werden, dass einzig das Auftreten von *F. culmorum* mehrmals mit dem Auftreten anderer *Fusarium*-Arten positiv korreliert war, so mit *F. avenaceum*, *F. graminearum*, *F. cerealis* und *F. equiseti*.

Diese haben als kälte- bzw. wärmeliebende Arten spezifische Wachstumsansprüche mit unterschiedlichen Optima. Werden ähnliche Wachstumsansprüche als Ursache für eine positive Korrelation im Auftreten zweier Arten angenommen, dann spricht dies dafür, dass *F. culmorum* eine breite Anpassungsfähigkeit hat, die einen weiten Temperatur- und Feuchtigkeitsbereich toleriert. Inokulationsversuche mit *F. culmorum* zeigten zudem, dass, obwohl die Blüte (BBCH 65) als empfindlichstes Wachstumsstadium angesehen werden kann, diese *Fusarium*-Art in einem langen Zeitraum (BBCH 47 – 75) die Ähre befallen kann (DIEHL & FEHRMANN 1989). Generell scheint *F. culmorum* eine sehr anpassungsfähige Art zu sein. MIEDANER *et al.* (2001) stellten auf molekularer Ebene auf einem einzelnen Feld eine hohe genetische Variabilität innerhalb einer Population von *F. culmorum* fest. Da eine Hauptfruchtform von *F. culmorum* nicht bekannt ist und somit eine sexuelle Rekombination ausgeschlossen ist, erklären sie den Polymorphismus dieser Art durch ein ausgeglichenes Verhältnis saprophytischer und parasitischer Fitnesskomponenten. Zudem ist eine genetische Variation der Anamorphe durch somaklonale Rekombination mittels Anastamose und durch Mutationen möglich (MADHOSINGH 1992, MESTERHÁZY 1973). *F. culmorum* wurde, ebenso wie *F. avenaceum*, deutlich häufiger nach Vorfrucht Zuckerrübe von den Körnern isoliert als andere Arten, sodass das Auftreten dieser zwei Arten durch die rheinische Fruchtfolge begünstigt wird. Die Tatsache, dass *F. avenaceum* stärker verbreitet ist als *F. culmorum*, kann möglicherweise auf antagonistische Wechselwirkungen bei der Besiedlung und Ausbreitung der *Fusarium*-Arten an der Weizenpflanze zurückgeführt werden. FISCHER (1977) fand in Inokulationsversuchen, dass Mischinfektionen des Bodens mit einer Konidien suspension von *F. culmorum* und *F. avenaceum* bei mittlerer und hoher Inokulumdichte zu einer geringeren Schädigung der Weizenpflanze führten als bei niedriger Inokulumdichte. Dies begründete der Autor mit der höheren Sporenproduktion, die er im Boden durch die schwach pathogene Art *F. avenaceum* nachweisen konnte. Als Ursache nennt er antagonistische Wechselwirkungen zwischen den Arten. Auch in Beregnungsversuchen (Meckenheim 2000) konnte sich *F. avenaceum* stärker gegenüber *F. culmorum* durchsetzen, was durch diese Wechselwirkungen erklärt werden kann.

F. graminearum trat im Untersuchungszeitraum im Rheinland mit einem Anteil von durchschnittlich 10% auf. Dieses war jedoch auf ein sehr starkes Auftreten dieser Art an einigen wenigen Standorte, vorrangig in Neukirchen-Vluyn, zurückzuführen. Das Risiko einer Ähreninfektion mit *Fusarium* spp. wird bekanntlich durch Mais als Vorfrucht in der folgenden Vegetationsperiode erhöht (BECK & LEPSCHY 2000, TEICH & NELSON 1984). Ebenso wie andere Getreidearten ist Mais Wirtspflanze für *F. graminearum*, der dort vor allem eine Stängelfäule verursacht. Der Pilz kann in seiner teleomorphen Form an den auf dem Acker verbleibenden Pflanzenresten überwintern und sich in der folgenden Vegetationsperiode

nach Bildung von Ascosporen, im späteren Verlauf auch durch Konidiosporen, erneut im Bestand verbreiten (OBST 1994). Mais war auf der im Jahr 1999 untersuchten Fläche Bestandteil der Fruchtfolge, trat jedoch nicht als Vorfrucht auf. Auch im nachfolgenden Jahr war *F. graminearum* an diesem Standort die am häufigsten von den Körnern isolierte Art, obwohl in dem Jahr überhaupt kein Mais in der Fruchtfolge vorkam. Die Untersuchungen des Jahres 1999 lassen vermuten, dass das Inokulumpotential längere Zeit im Boden überdauern kann. BECK & LEPSCHY (2000) weisen darauf hin, dass Maisstroh im Boden sehr viel schlechter verrottet als anderes Getreidestroh und deshalb auch nach ein bis zwei Jahren Verweildauer durch erneutes Pflügen an die Oberfläche gelangen kann und dort Nährboden für Fusarien bietet. Dies kann als Ursache für das starke Auftreten im Jahr 1999 angesehen werden. Da in der Region Mais häufiger Bestandteil der Fruchtfolge ist, scheint auch ein Zuflug von Asco- oder Konidiosporen von Nachbarflächen möglich zu sein. ADOLF (1998) schloss aus Untersuchungen des Sporenflugs von *F. graminearum*, dass der Zuflug windbürtiger Ascosporen eine potentielle Inokulumquelle darstellt. Sie konnte zeigen, dass windbürtige Konidio- oder Ascosporen von *F. graminearum* jederzeit zur Verfügung stehen und auch langanhaltende Niederschläge diese nie vollständig aus der Luft auswaschen. Auch in einem Feldversuch mit 8 m breiten Raps-Isolationsstreifen in einem Weizenbestand waren Konidien von *F. graminearum* in der Lage diese Streifenbreite zu überwinden (YI *et al.* 2000). FERNANDO *et al.* (1997) untersuchten die Ausbreitung von Ascosporen von *F. graminearum* im Weizenbestand und fanden in Abhängigkeit von der Windrichtung auf einer Entfernung von 5 – 22 m von der Inokulumquelle noch eine Korninfektion von 10% des maximalen Befalls. Der Zuflug von *F. graminearum* spielte somit eine nicht zu unterschätzende Rolle im Infektionsverlauf.

F. poae tritt im Rheinland in Abhängigkeit von Jahr und Standort als dritt- bis vierthäufigste Art auf. Diese Daten decken sich mit den Untersuchungen von MEIER *et al.* (2000) und ELLNER (2000), die ebenfalls über das häufige Auftreten dieser Art in Deutschland berichten. MAULER-MACHNIK & ZAHN (1994) und SCHÜTZE (1999) verweisen auf eine deutliche Zunahme und Verbreitung von *F. poae* in Deutschland in den Jahren 1988 – 1993. Auch Untersuchungen in Großbritannien und in Norwegen zeigten, dass *F. poae* zu der am weitesten verbreiteten Art gezählt werden muss (LANGSETH *et al.* 1999, POLLEY *et al.* 1991). Das Auftreten von *F. poae* war positiv mit dem Auftreten von *F. cerealis* (synonym: *F. crookwellense*) korreliert. Möglicherweise ist die Korrelation durch ähnliche Wachstumsansprüche zu erklären, jedoch ist über die Epidemiologie und Ausbreitung von *F. poae* und *F. cerealis* in Weizenbeständen nichts bekannt. Die beiden Arten gehören taxonomisch betrachtet zwei verschiedenen Sektionen an, welche sich in ihren morphologischen Eigenschaften unterscheiden. So bildet *F. poae* aus der Sektion *Sporotrichiella* z.B.

Mikrosporen, was für die Sektion *Fusarium* (früher: *Discolor*), welche *F. cerealis* angehört, nicht beschrieben ist (NELSON *et al.* 1983). Wird das regionale Auftreten von *F. poae* betrachtet, dann scheint die Art kühlere Klimate zu favorisieren. Der Pilz kann sich anscheinend unter den in Nordeuropa herrschenden Bedingungen besser etablieren als andere Arten. Eine befallsfördernde Wirkung bestimmter Vorfrüchte auf das Auftreten von *F. poae* konnte nicht beobachtet werden. Des Weiteren sollte erwähnt werden, dass TORP & LANGSETH (2000) über eine neue *Fusarium*-Art „powdery *F. poae*“ berichten, welche routinemäßig wahrscheinlich stets als *F. poae* identifiziert wurde. Morphologische Eigenschaften und Wachstumscharakteristika dieser Art auf Potato-Dextrose-Agar, wie das puderige Aussehen des Pilzmyzels und das Fehlen des typisch fruchtigen Geruchs (TORP per. Mitteilung) decken sich mit den *F. poae*-Isolaten, die in der vorliegenden Arbeit von Körnern isoliert wurden. Diese Art ist möglicherweise also auch im Rheinland vertreten.

F. tricinctum, eine im Rheinland gelegentlich auftretende Art, wird in der Literatur kaum beschrieben. Sie zählt jedoch in Norwegen neben *F. avenaceum*, *F. poae* und *F. culmorum* zu den am häufigsten von Getreidekörnern isolierten Arten (LANGSETH *et al.* 1999). Aussagen über Infektionsbedingungen können jedoch nicht gemacht werden. Das Auftreten dieser Art stand nach eigenen Untersuchungen in enger Korrelation mit dem Auftreten von *F. avenaceum* und *F. sporotrichioides*. Letztgenannte Art wird ebenso wie *F. tricinctum* der Sektion *Sporotrichiella* zugeordnet. Die Tatsache, dass das Auftreten von *F. tricinctum* in nördlichen Regionen beschrieben wird (THRANE 2000), weist auf eine Bevorzugung kühlerer Klimate hin, wie es auch bei der Art *F. avenaceum* der Fall ist. Ebenfalls deutet ein signifikant stärkerer Kornbefall mit *F. tricinctum* nach Vorfrucht Winterweizen, was auch für *F. avenaceum* beobachtet werden konnte, auf eine sich ähnelnde saprophytische Lebensweise dieser zwei Arten hin. Taxonomisch muss aber unterschieden werden: *F. avenaceum* gehört der Sektion *Roseum* an, während *F. tricinctum* der Sektion *Sporotrichiella* zugeordnet wird. Von Arten der Sektion *Roseum* ist auch die teleomorphe Form *Gibberella* bekannt, sie wurde jedoch noch nicht an Weizen beschrieben. Von Arten aus der Sektion *Sporotrichiella* ist dagegen keine Hauptfruchtform bekannt (SAMUELS *et al.* 2001). Dass sich diese zwei Arten möglicherweise ähnlicher sind als bisher angenommen wird auch durch molekular- und phylogenetische Analysen von YLI-MATTILA *et al.* (2000) belegt. Sie kommen zu dem Schluss, dass *F. avenaceum* und *F. tricinctum* einer „Genospecies“ zugeordnet werden müssten.

Die spezielle Zusammensetzung des *Fusarium*-Spektrums im Bestand lässt sich somit auf einen Komplex unterschiedlicher Faktoren zurückführen. Ähnliche Wachstumsansprüche, Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Niederschlag betreffend, mögen jeweils das Auftreten bestimmter Arten fördern. Aber auch die Fruchtfolge, die Bodenbearbeitung und

die generellen Bodeneigenschaften beeinflussen das Auftreten der Arten, da diese sich in ihrer saprophytischen Lebensweise unterscheiden (Bildung von Ascosporen, Überdauerung als Myzel oder Chlamyosporen). Pflanzenrückstände und Bodenpartikel sind nach HALL & SUTTON (1998) die wichtigsten Inokulumquellen. Sie dienen den Pilzen als Nährsubstrat, indem sie an ihnen als Myzel oder in Form vegetativer Dauersporen (Chlamyosporen) im Boden überdauern. Die dickwandigen und widerstandsfähigeren Chlamyosporen werden aber nur von Fusarien der Sektion *Discolor* und *Sporotrichiella* gebildet, *F. avenaceum* (Sektion *Roseum*) bildet diese Dauersporen nicht aus. Auch Bestandesunkräuter können eine Inokulumquelle darstellen (MEIER *et al.* 2000). Möglicherweise spielen auch Insekten eine wichtige Rolle in der Verbreitung bestimmter *Fusarium*-Arten. So beobachteten STURZ & JOHNSON (1983) im Feld ein gleichzeitig starkes Auftreten von Thripsen (*Lemothrips denticornis*) an Gerstenähren, die mit *F. poae* infiziert waren. Aber auch von anderen Insekten so *Musca domestica* (Hausfliege), *Hypera punctata* (Kleegraskäfer), *Melanoplus bivittatus* (Grashüpfer) oder *Glischrochilus quadrisignatus* konnten *Fusarium*-Sporen unterschiedlicher Arten isoliert werden (GORDON 1959, WINDELS *et al.* 1976). Auch eine hohe genetische Diversität innerhalb einer Art ermöglicht es dieser sich schneller an sich wechselnde Umwelten anzupassen. BACKHOUSE *et al.* (2001) vermuten, dass die Verteilung vieler *Fusarium*-Arten auf menschliches Eingreifen zurückzuführen ist bzw. durch dieses verändert wird. Auch erklären sie die Persistenz einer *Fusarium*-Art in einem Gebiet mit dem Gleichgewicht zwischen kompetativer Kolonisation des Substrats, dem Überleben und der Reproduktion. Nicht beschrieben, aber auch denkbar wäre, dass Sekundärmetabolite (u.a. Mykotoxine), die von den Pilzen gebildet werden, zu einer kompetativen bzw. antagonistischen Besiedlung und Ausbreitung an der Pflanze führen.

Der Infektionsverlauf

Die Infektion der Fusarien erfolgt von am Boden verbliebenen Pflanzenresten, an denen die Pilze in Form von Myzel, Chlamyosporen oder Perithezien überdauern. Bei entsprechender Witterung bilden sie entweder sexuell Ascosporen (*Gibberella*) oder vegetativ Konidiosporen aus, die sich wiederum witterungsabhängig im Bestand ausbreiten können. Obwohl von *F. avenaceum* und *F. tricinctum* auch die Hauptfruchtform *G. avenacea* bzw. *G. tricincta* beschrieben wird - *G. avenacea* wurde z.B. an *Populus* sp. nachgewiesen (SANTOS 1995) - ist über eine Ascosporeninfektion an Weizenähren durch diese Arten nichts bekannt. Sie breiten sich ebenso wie *F. culmorum* und *F. poae* durch vegetativ gebildete Konidiosporen im Bestand aus.

An den Blättern wurde das Fortschreiten der Infektion im Laufe der Vegetationsperiode dokumentiert. Zum Ende der Schoßphase (BBCH 39) war im Blattgewebe aller Blattetagen,

außer am Fahnenblatt, bereits eine *Fusarium*-Infektion nachweisbar. Die Blätter wiesen zu diesem und zu den späteren Terminen jedoch keine Symptome eines *Fusarium*-Befalls auf. Diese symptomlosen Blattpassagen der Fusarien wurde bereits von ADOLF (1998) beschrieben. Die Befallshäufigkeit mit *Fusarium* spp. nahm von BBCH 39 bis zum Ende des Ährenschiebens (BBCH 51) nicht bedeutend zu. Von Beginn des Ährenschiebens (BBCH 51) bis zum Blühbeginn (BBCH 61) konnte jedoch ein Anstieg der Sporenmenge auf den Blättern aller Blattetagen nachgewiesen werden. Auf dem Fahnenblatt wurden Sporen aber erst zu Blühbeginn gefunden. Diese Ergebnisse bestätigen Untersuchungen von ADOLF (1998), die *Fusarium*-Sporen auf den unteren Blattetagen bis F-4 während der gesamten Vegetation nachweisen konnten, auf den Blattetagen F-3 bis F aber erst später in der Vegetationsperiode. In den eigenen Untersuchungen stieg die Sporenmenge zur Abreife der Weizenpflanzen nochmals stark an, die höchste Sporendichte wurde dabei an der Ähre verzeichnet. Auch die Besiedlung der Blätter aller Blattetagen (\emptyset 98%) war zu diesem Zeitpunkt weit fortgeschritten.

Den Befallsverlauf einzelner Arten betrachtend, wurde eine stetige Zunahme der Blattinfektionen mit *F. culmorum* im Vegetationsverlauf beobachtet. Ein starker Befallszuwachs erfolgte zwischen Milchreife und Abreife der Pflanze, sodass zum letzteren Termin drei Viertel der Blätter mit *F. culmorum* besiedelt waren. Anders dagegen verlief der Blattbefall mit *F. avenaceum*, der bereits zur Milchreife einen maximalen Befall von 48% am F-4 erreichte, bis zur Abreife jedoch auf keiner Blattetage einen Befall von 50% überschritt. An mikrobiologisch untersuchten Weizenkörnern aus Praxisbeständen konnte RINTELEN (1995) zeigen, dass es auch noch zwischen Milch- und Teigreife (BBCH 75 – BBCH 85) zu einem starken, kontinuierlichen Befallszuwachs mit *F. avenaceum* und *F. graminearum* an den Körnern kommt, wobei der Kornbefall mit *F. culmorum* auf einem geringen, nicht weiter ansteigenden Befallsniveau blieb. Die eigenen Untersuchungen wie auch die Daten von RINTELEN (1995) unterstützen wiederum das bereits diskutierte mögliche antagonistische Verhalten von *F. culmorum* und *F. avenaceum*. Eine der beiden Arten scheint sich immer gegenüber der anderen Art stärker durchsetzen zu können. FISCHER (1977) machte dies von der Stärke des Ausgangsinokulum im Boden abhängig.

Der teilweise sehr hohe Anteil von *F. culmorum*- und *F. avenaceum*-Sporen auf den Blättern lässt auf eine Sporulation der Arten auf diesen schließen. Die Hyphen auskeimender Sporen können über Stomata die Weizenpflanzen infizieren und wachsen im Wirtsgewebe inter- und intrazellulär (KANG *et al.* 2001). Nach erfolgreicher Infektion und Besiedlung des Blattgewebes tritt der Pilz wieder an die Blattoberfläche und produziert dort durch asexuelle Vermehrung Sporen. Diese können eine Sekundärinfektion auslösen und den sukzessiven Infektionsverlauf der Fusariosen über die Blattetagen fördern. PUGH *et al.* (1933) konnte an

Gibberella saubinetii (anamorph *F. graminearum*) zu Beginn der Befallsentwicklung die Sporulation durch Spaltöffnungen nachweisen, später auch an anderen Stellen des zerstörten Gewebes. Untersuchungen von ADOLF (1998) bestätigten eine Sporulation von *Fusarium* spp. auf symptomfreien, grünen Blättern. 48 – 76 Stunden nach einer Inokulation konnten PRITSCH *et al.* (2000) mikroskopisch die Sporulation von *F. graminearum* an Spelzen nachweisen, die der Pilz zuvor durch die Stomata penetriert hatte. Die Infektion und Besiedlung des lebenden Blattgewebes, aber auch eine Entwicklung auf totem Pflanzenmaterial, das der Pilz selber abgetötet hat, zeichnet die *Fusarium*-Arten als fakultativ peritrophe Pilze aus. Die Arten können somit ein weites Spektrum von verschiedenen Nahrungsformen nutzen. Die Verbreitung der Sporen im Bestand erfolgt bei den Arten *F. culmorum* und *F. avenaceum* durch Wind und Spritzwasser. Dabei konnten Sporen von *F. culmorum* Entfernungen von 60 cm in vertikaler Richtung und 100 cm in horizontaler Richtung zurücklegen, Sporen von *F. avenaceum* dementsprechende Strecken von 45 cm und 90 cm (JENKINSON & PARRY 1994). *F. avenaceum* bildet neben sehr langen und schlanken Makrokonidien auch Mikrokonidien aus. Diese an Sporodochien im Luftmyzel gebildeten Sporen von *F. avenaceum* können unabhängig von Niederschlagsereignissen durch den Wind verbreitet werden (NIRENBERG *et al.* 1994). JENKINSON UND PARRY (1994) folgerten, dass Konidien von *F. avenaceum* und *F. culmorum* Entfernungen bis zu 30 m in der Luft zurücklegen können.

Blattinfektionen mit *F. poae* waren gering. Sporen dieser Art konnten an der Pflanze erst zu BBCH 75 nachgewiesen werden und dort auch nur an der Ähre. Fast zwei Drittel der insgesamt vorgefundenen *Fusarium*-Sporen waren zu diesem Zeitpunkt Sporen von *F. poae*. Zu BBCH 85 trat diese Art dann auch am Fahnenblatt auf. ADOLF (1998) beobachtete ebenfalls das bevorzugte Auftreten von *F. poae* an der Ähre und weniger an Halmen und Blättern. RINTELEN (1995) wies zu Befallsbeginn (BBCH 75) an Körnern aus Freilandbeständen ausschließlich Befall mit *F. poae* nach, im späteren Verlauf jedoch auch den mit anderen Arten. *F. poae* bildet an Monophialiden ausschließlich Mikrosporen aus, diese runden bis ovalen Sporen können für *Fusarium* spp. bei einer Größe von 8-10 µm als relativ klein angesehen werden. Die Konidienträger (Sporodochien) sind traubenförmig angeordnet, sodass auf kleinster Fläche eine große Anzahl von Sporen gebildet werden können, was die hohe vorgefundene Sporendichte erklärt. Diese verbreiten sich, keimen erneut aus und können dadurch eine Sekundärinfektion an weiteren Ährchen auslösen. So führen ROSSI *et al.* (2000) ein starkes Auftreten luftbürtiger Konidien zwei bis drei Tage nach einem Niederschlagsereignis auf Sporodochienbildung an befallenen Weizenähren zurück. Die windbürtige Verbreitung der *F. poae*-Sporen – eine Hauptfruchtform ist nicht bekannt – spielt möglicherweise eine bedeutende Rolle. Nicht nur die Sporengröße weist

darauf hin, sondern auch die Tatsache, dass kaum Sporen auf den Blättern bzw. nur geringe Blattgewebeeinfektionen durch diese Art im Verlauf der Vegetation an den untersuchten Pflanzen nachgewiesen werden konnten. Die Vermutung wird auch durch Beobachtungen an Weizenpflanzen gestützt, welche unter kontrollierten Bedingungen inokuliert wurden. *F. poae* trat, obwohl nicht inokuliert, als einzige Art häufig an diesen Weizenpflanzen auf und hatte die Ähren wahrscheinlich durch Zuflug besiedelt. Eine Verbreitung der Sporen ist auch durch Insekten möglich. STURZ & JOHNSON (1983) beobachten in Gerstebeständen, die bereits zu einem frühen Zeitpunkt einen Ährenbefall mit *F. poae* aufwiesen, ein gleich starkes Auftreten der Thripse-Art *Lemothrips denticornis*. Woher das Inokulum von *F. poae* jedoch letztendlich stammt und ob noch andere Wirtspflanzen eine bedeutende Rolle bei der Ausbreitung dieser Art spielen, bedarf noch einer genaueren Untersuchung. Die hohe vegetative Reproduktion und die ideale Transportform der *F. poae*-Sporen begünstigt auf jeden Fall eine großflächige luftbürtige Ausbreitung.

Genotyp

Weizensorten zeigen Unterschiede in ihrer Anfälligkeit gegenüber Ährenfusariosen. Die Sortenwahl ist somit von großer Bedeutung für das Befallsgeschehen und kann vorbeugend die Wahrscheinlichkeit bzw. die Stärke eines *Fusarium*-Befalls reduzieren. Bis heute ist jedoch keine absolut resistente Sorte bekannt, obwohl weltweit bereits Quellen der *Fusarium*-Resistenz wie z.B. in der chinesischen Sorte 'Sumai #3' gefunden wurden (BUERSTMAYR *et al.* 1996, SNIJDERS 1994). Die Resistenz gegenüber Ährenfusariosen ist polygener Natur, d.h. sie wird durch eine Anzahl von Genen kontrolliert (HILTON *et al.* 1999, MENTEWAB *et al.* 2000, SNIJDERS 1990b, VAN GINKEL *et al.* 1996). Die Anzahl beteiligter Gene sowie die Lokalisierung auf den Chromosomen ist jedoch noch unklar. SINGH *et al.* (1995) und VAN GINKEL *et al.* (1996) schätzten das zwei Gene an der Ausprägung der Resistenz beteiligt sind, BAI *et al.* (1989), BUERSTMAYR *et al.* (1997) und MENTEWAB *et al.* (2000) vermuten, dass drei oder vier Gene die Resistenz bestimmen, während YU (1982) sogar über fünf Resistenzgene berichtete.

Das Bundessortenamt (BSA) stufte die *Fusarium*-Anfälligkeit der im Jahr 2000 zugelassenen Weizensorten im Mittel mit einer Note von 4,5 ein (ANONYM 2000b). Die Sortenprüfung erfolgt an mehreren Standorten: Durch eine Sprühinokulation mit *F. graminearum* und *F. culmorum* wird ein hoher Befallsdruck auf die Pflanzen ausgeübt und der daraus resultierende Ährenbefall der einzelnen Sorten mehrmals visuell bonitiert (RODEMANN *et al.* 2001). In der vorliegenden Studie wurden Sorten der Landessortenversuche in Kerpen-Buir und Neukirchen-Vluyn auf *Fusarium*-Befall untersucht. Die Pflanzen unterlagen einem natürlichen Befallsdruck. Ihre *Fusarium*-Anfälligkeit variierte gemäß BSA-Einstufung über

das gesamte Anfälligkeitsspektrum beginnend mit der Sorte `Renan` (Note 2) bis zu den stark anfälligen Sorten `Charger`, `Hanseat` und `Record` (Note 8). Die untersuchten Sommerweizensorten lagen mit einer Note von 4 - 5 alle im mittleren Anfälligkeitsbereich. Ohne zusätzliche Inokulation erwiesen sich die Sorten `Charger`, `Bandit`, `Haven` und `Rialto` im Mittel der dreijährigen Untersuchung als besonders anfällig. Dabei werden die beiden erstgenannten Sorten durch das BSA als anfällig (Note 7 – 8) eingestuft, die letztgenannten Sorten jedoch nur als mittel anfällig (Note 5). Ähnliche Beobachtungen wurden bei den Sorten `Hybnos`, `Residence` und `Convent` gemacht, die sich in der dreijährigen Studie mit einem durchgängig geringen Kornbefall als die am wenigsten anfälligsten Sorten erwiesen. Sie werden jedoch laut BSA mit der Note 4 (`Hybnos`, `Residence`) bzw. 5 (`Convent`) nur als mittelanfällig eingestuft. `Pajero`, die einzige Sorte aus dem Prüfsortiment die mit der Note 3 als wenig anfällig bewertet wird, lag nach eigenen Untersuchungen dagegen im mittleren Anfälligkeitsbereich. WOSNITZA (2000) untersuchte in den Jahren 1998 und 1999 unter „naturnahen“ Bedingungen, d.h. Förderung des *F. graminearum*-Befalls durch Maisstoppelreste und Direktsaat, Weizensorten an sechs Standorten im gesamten Bundesgebiet. Die Sortenanfälligkeit wurde mittels Ährenbonitur nach den DON- und NIV-Gehalten der Körner bestimmt. Sie kam ebenfalls zu dem Schluss, dass bei einigen Sorten Differenzen zwischen der BSA-Einstufung und den eigenen Sortenbeurteilungen auftraten. Besonders bei Sorten, die im mittleren Anfälligkeitsbereich lagen, traten Abweichungen von der BSA-Benotung auf. Ursächlich kann die unterschiedliche Sorteneinstufung durch die verschiedenen Infektionsbedingungen (Sprühinokulation, „naturnahe“ Infektion, natürliche Infektion) begründet werden. Eine Sprühinokulation schaltet z.B. passive Resistenzmechanismen einer Pflanze weitgehend aus und das vollständige Resistenzpotential der Sorte kommt dadurch nicht zum Tragen. Auch das standortspezifische *Fusarium*-Spektrum spielt in diesem Zusammenhang eine Rolle. Liegt an einem Standort ein hohes Inokulumpotential ausschließlich mit *F. graminearum* vor, so führt dies unter entsprechenden Witterungsbedingungen zu einer sehr viel ‚homogeneren‘ Infektion, als an einem Standort mit unterschiedlichen *Fusarium*-Arten, die in ihren Infektionsbedingungen variieren und somit auch über einen längeren Zeitraum die Ähre infizieren können. Es wird jedoch nicht von einer selektiven Resistenz einer Weizensorten gegenüber einzelnen *Fusarium*-Arten ausgegangen. Bedeutend für den Ährenbefall ist das zeitliche Aufeinandertreffen eines hohen Infektionsdrucks durch entsprechende Witterungsbedingungen und dem Blühzeitpunkt einer Sorte.

Da unter natürlichen Befallsbedingungen eine Vielzahl von Faktoren Einfluss auf die Infektion und Befallsausbreitung von *Fusarium* spp. an der Ähre haben, ist es wichtig Resistenzen in mehreren Umwelten, also an mehreren Standorten in mehreren Jahren, zu

prüfen (MESTERHÁZY 1987). In den Landessortenversuchen konnten 15 Weizensorten über drei Jahre an zwei Standorten geprüft werden. So konnte der starke Einfluss der Witterung und anderer Standortfaktoren relativiert werden. Wird die *Fusarium*-Anfälligkeit eines Genotyps in verschiedenen Umwelten getestet, dann kann der auftretende Standardfehler am sichersten durch eine Erhöhung der Umwelten und in zweiter Linie erst durch eine höhere Anzahl von Wiederholungen verkleinert werden (CAMPELL & LIPPS 1998). Dabei sollten nach Meinung der Autoren mindestens vier Wiederholungen je Standort vorliegen. In den Landessortenversuchen lagen jedoch nur jeweils zwei Wiederholungen vor. Das erklärt, warum die Befallsunterschiede zwischen den Sorten nur selten statistisch abgesichert werden konnten.

Eine Sortenprüfung unter natürlichen Bedingungen ist immer der Gefahr ausgesetzt, dass eine Scheinresistenz auftritt. Die Weizenpflanze „entflieht“ einer Ähreninfektion durch eine nicht vorhandene zeitliche Koinzidenz zwischen dem Auftreten des Pathogens und dem empfindlichen Blühstadium der Pflanzen (COOK 1981). In diesem Zusammenhang lässt sich auch der im Sortenmittel relativ hohe Kornbefall der Sorte `Pajero` im Jahr 1999 in Kerpen-Buir erklären. `Pajero` ist eine wenig anfällige, frühreife Weizensorte, die nach eigenen Bonituren bereits Anfang Juni blühte. Die Blüte fiel somit in die niederschlagsreiche Periode Anfang Juni. Später abblühende Sorten waren sehr geringen Niederschlägen und dadurch einem geringeren Befallsdruck ausgesetzt. Zu diesen spätblühenden Sorten zählte `Record`, eine Sorte, die trotz hoher *Fusarium*-Anfälligkeit nur einen geringen Kornbefall aufwies. Das Phänomen der Scheinresistenz wird auch im Jahr 1999 in Hennef deutlich. Zu BBCH 30 ausgebrachte *Fusarium*-bewachsene Körner simulierten einen natürlichen hohen Befallsdruck. Die Blüte der Sorte `Ludwig` fiel in eine niederschlagsreiche Periode, worauf diese mit einem höheren Kornbefall und einem höheren Toxingehalt reagierte als die anfällige Sorte `Hanseat`, die witterungsbedingt einem geringeren Inokulumdruck ausgesetzt war. Im Jahr 2000 trat dieses Phänomen der Scheinresistenz jedoch nicht auf. Witterungsbedingt waren beide Sorten einem ähnlichen Befallsdruck ausgesetzt und die stark anfällige Sorte `Hanseat` wies dementsprechend einen höheren Kornbefall und auch einen höheren Toxingehalt auf als die Sorte `Ludwig`.

Die *Fusarium*-Resistenz einer Pflanze wird generell durch zwei Mechanismen bestimmt: Die aktive Resistenz beinhaltet physiologische Prozesse (CRUTE *et al.* 1985), die passive Resistenz morphologische Erscheinungen (WIESE 1985). Die physiologischen Prozesse der Resistenz werden durch verschiedene Resistenz-Typen charakterisiert: Resistenz gegenüber einer Erstinfektion der Ähre (Typ I), Ausbreitungsresistenz (Typ II), Resistenz gegenüber einer Korninfektion (TYP III), Toleranz gegenüber einem hohen Kornbefall bzw. gegenüber einer hohen Mykotoxinbelastung (Typ IV) und Metabolisierung der Mykotoxine

(Typ V) (MILLER *et al.* 1985, SCHROEDER & CHRISTENSEN 1963, SNIJDERS & PERKOWSKI 1990, WANG & MILLER 1988). GILBERT & TEKAUZ (2000) meinen, dass Sorten durch die Bonitur sprühinokulierter Ähren auf Resistenz des Typs I überprüft werden können, während eine Resistenz des Typs II nur verlässlich geprüft werden kann, indem das Inokulum direkt mit einer Pipette oder einem Wattebausch in das Blütchen gegeben wird. Bei resistenten Sorten bleiben die Symptome auf das inokulierte Ährchen beschränkt, während sich der Pilz in anfälligen Sorten innerhalb des Ährchens ausbreitet. Das Testen auf Resistenzen des Typs III, IV und V gestaltet sich ihrer Meinung nach schwieriger und aufwendiger. Dem muss jedoch entgegengehalten werden, dass auch Ährchen ohne Symptomen, würde auf eine Resistenz des Typs I getestet werden, infiziert sein können. So wies die Sorte `Dream` (Hennef 1999), dessen Ähren zur Blüte sprühinokuliert wurden, 14 Tage nach der Inokulation keine Ährensymptome auf. Eine mikrobiologische Untersuchungen zeigte jedoch, dass 31% der Körner mit *Fusarium* spp. befallen waren. In diesem Fall konnte davon ausgegangen werden, dass der Kornbefall nicht zurückzuführen war auf systemisches Pilzwachstum ausgehend von einem infizierten Ährchen, da ansonsten Ährensymptome zu erwarten gewesen wären. Eine alleinige Ährenbonitur ist somit nicht verlässlich, um eine sichere Resistenz gegenüber Erstinfektion beurteilen zu können. Auch wurden an der Sorte `Hanseat` in Inokulationsversuchen sehr unterschiedliche Reaktionen beobachtet. Eine im Sortenmittel sehr starke Symptomausprägung im Jahr 1999 stand einem nur mittleren Ährenbefall im Jahr 2000 gegenüber. Da in den zwei Jahren mit unterschiedlichen *Fusarium*-Arten bzw. Isolaten inokuliert wurde, wäre auch eine Wechselwirkung zwischen Inokulum (Isolat) und Sorte in Betracht zu ziehen, welche die Befallsausprägung beeinflusst. Zudem wurde mit Trichothecen- und nicht Trichothecen-bildenden *Fusarium*-Arten inokuliert. Eine hohe Variabilität zwischen Isolaten der Trichothecen-Bildner *F. graminearum* und *F. culmorum* zeigte sich bereits in deren unterschiedlichen Aggressivität und Mykotoxinproduktion (MUTHOMI 2001). EVANS *et al.* (2000) untersuchten den DON-Gehalt zweier Gerstensorte nach Inokulation mit 3 verschiedenen *F. graminearum*-Isolaten und fanden ebenfalls eine unterschiedliche Sortenanfälligkeit in Abhängigkeit des inokulierten Isolates.

Eine mikrobiologische Untersuchung der oberflächlich desinfizierten Körner zeigt eindeutig, ob ein Korn mit *Fusarium* spp. besiedelt ist oder nicht. Somit kann ein Rückschluss auf die Resistenzausprägung des Typs III gemacht werden. Es kann aber keine direkte Aussage über die Ausbreitungsresistenz (Typ II) einer Sorte gemacht werden, da nur die Befallshäufigkeit bestimmt wurde, nicht jedoch die Myzelmenge im Korn. Da die Resistenzformen nebeneinander auftreten und sortenabhängig unterschiedlich stark ausgeprägt sind (MCKENDRY *et al.* 1999), ist eine Differenzierung zwischen den drei

Resistenztypen I, II und III nicht immer eindeutig zu treffen. Bei der wenig anfälligen Sorte `Atlantis` sind diese drei Resistenztypen sicherlich stärker ausgeprägt als bei den anderen untersuchten Weizensorten. `Atlantis` wies trotz Sprühhinokulation zu BBCH 65 eine vergleichsweise geringe Symptomausprägung und einen geringen Kornbefall auf. Nach direkter Sprühhinokulation in die Ähre waren dagegen die gemäß BSA als wenig- bis mittelanfällig eingestuft Sorten `Ludwig` und `Kanzler`, ebenso wie die anfälligen Sorten `Hanseat` und `Bandit`, relativ stark befallen und zeigten eine teilweise sehr starke Symptomausprägung. Der DON-Gehalt der Sorte `Bandit` war mit 85 µg/g am höchsten, gefolgt von Hanseat > Ludwig > Kanzler. Sehr hohe DON- und NIV-Gehalte der Sorten `Ritmo` und `Hanseat` wurden auch in einer zweijährigen Sortenprüfung an verschiedenen Standorten in Deutschland beschrieben. Die Sorte `Atlantis` rangierte dagegen im Sortenvergleich der Toxingehalte im unteren Fünftel (WOSNITZA 2000). Die Sorte `Dream` (Note 4), die nur in Hennef (1999) untersucht wurde, reagierte wenig anfällig auf die Sprühhinokulation mit *Fusarium* spp. Der Kornbefall lag um 50% unter dem Befallsmittel (Ø 76% Kornbefall) aller anderen getesteten Sorten und Ährensymptome traten überhaupt nicht auf.

Erfolgt eine Ähreninfektion mit *Fusarium* spp. zum Zeitpunkt der Blüte, dann ist in Abhängigkeit von der Befallsstärke mit Ertragsverlusten und einer Reduktion des Tausendkorngewichts (TKG) zu rechnen. So können Genotypen mit guten Erträgen gleichzeitig aber auch relativ stark mit Ährenfusariosen befallen sein (MESTERHÁZY 1995). Eine hohe Toleranz (Resistenz Typ IV) einer Sorte bedeutet eine gute Ertragsstabilität auch bei vorhandenem *Fusarium*-Befall. Dies konnte in den eigenen Untersuchungen anhand des TKG und des Flächenertrages in Relation zum Toxingehalt der Körner gezeigt werden. Als besonders ertragsstabil erwies sich die Linie `FR 444/06`, die trotz eines hohen DON-Gehalts von 98 µg/g nach Sprühhinokulation mit *F. culmorum* noch einen Ertrag von 81% bzw. ein TKG von 76% relativ zu nicht inokulierten Pflanzen dieses Genotyps erbrachte. Obwohl bei den Sorten `Atlantis`, `Ludwig` und `Kanzler` der DON-Gehalt der Körner um ein Drittel niedriger war als bei der Linie `FR 444/06`, waren ihre relativen Flächenerträge geringer. Das zeichnete diese Sorten als weniger ertragstolerant gegenüber der getesteten Linie aus. Die Sorten `Bandit` und `Hanseat` können mit einem Flächenertrag von 39% und einem TKG von 53% relativ zu den nicht inokulierten Pflanzen als wenig tolerant gegenüber *Fusarium*-Befall charakterisiert werden. Die sehr starken Ertragseinbußen standen im Verhältnis zu einem DON-Gehalt, der dagegen sogar um ein Viertel niedriger war als bei der Linie `FR 444/06`. Unter einem verstärkten Inokulumdruck (Hennef 1999) erwies sich auch die Sorte `Asketis` mit einem hohen relativen Ertrag (81% zur Kontrolle) bei einem

gleichzeitig sehr hohen Kornbefall als sehr ertragstolerant gegenüber Ährenbefall mit *Fusarium*-Arten.

Bei einigen Sorten wurde nach Inokulation mit *Fusarium*-bewachsenen Körnern eine Zunahme des TKG beobachtet. Auch nach Sprühinokulation lag das TKG bei allen Sorten, obwohl ein hoher Kornbefall auftrat, immer noch bei 90% relativ zur Kontrolle. Sorten, die auf Toxinbelastung der Körner untersucht wurden, wiesen in diesen Fällen teilweise sehr hohe NIV-Gehalte auf. Eine DON-Belastung der Körner konnte nicht nachgewiesen werden, was durch die in der Sprühinokulation eingesetzten *Fusarium*-Arten bzw. -Isolate begründet war. Eine Erklärung für die relativ hohen TKG liefert SCHÜTZE (1999), die zeigen konnte, dass *F. culmorum*-Isolate, welche ausschließlich NIV bildeten, das TKG weniger stark reduzieren als Isolate, die DON oder DON und NIV produzierten. Möglicherweise sind die hohen TKG aber auch auf eine starke Kümmerkornbildung zurückzuführen. Bei stark infizierten Ährchen wächst der Pilz bis in die Spindel vor und besiedelt dort das Xylem und das Phloem. Die Nährstoffzufuhr ist gestört und die davon betroffenen Körner werden nur kümmerlich oder gar nicht ausgebildet, was durch das Symptom der partiellen Taubährigkeit beschrieben wird. Nach MARTIN & MCLEOD (1991) kann das in Folge von *Fusarium*-Befall ansteigende Tausendkorngewichte das Ergebnis von Verlusten an kleinen, schlecht ausgebildeten Körnern (Kümmerkorn) beim Drusch sein. Dies erklärt auch die gleichzeitig auftretenden Ertragsverluste im Vergleich zu nicht inokulierten Pflanzen von durchschnittliche 23% nach Inokulation mit *Fusarium*-bewachsenen Körnern bzw. von 40% nach Sprühinokulation. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob die Ertragstoleranz einer Sorte gegenüber hohen DON-Gehalten gleichzusetzen ist mit einer Toleranz gegenüber hohen NIV-Gehalten. In Hennef reagierte die ‚tolerante‘ Linie ‚FR 444/06‘ bei einem NIV-Gehalt der Körner mit 5,4 µg/g mit einer stärkeren Ertragsreduktion als die wenig tolerante Sorte ‚Hanseat‘. Diese wies trotz eines NIV-Gehalts der Körner von 13,0 µg/g einen 10% höheren relativen Ertrag auf. Auch WOSNITZA (2000) deutet darauf hin, dass NIV kein zuverlässiger Parameter für die Einstufung von Sortenresistenzen sei.

In den eigenen Untersuchungen wurden sortenabhängige Korrelationen von -0,82 bzw. -0,75 zwischen dem Kornbefall und den Ertragsparametern ‚TKG‘ bzw. ‚Flächenertrag‘ beobachtet. Diese Daten bestätigen Untersuchungen von JONES (2000). Er fand signifikant negative Korrelation zwischen dem Auftreten der partiellen Taubährigkeit (% Weißährigkeit) und dem Ertrag bzw. dem TKG und führt Korrelationen von $r = -0,65$ bzw. $r = -0,60$ an.

Ein Vergleich von Sorten an Standorten mit unterschiedlichen Befallssituationen ließ Rückschlüsse auf den Einfluss des Infektionstermins auf die Ertragsparameter zu. Eine Spätinfektion mit *F. avenaceum* in Folge von Lager führte in Kerpen-Buir zu sehr hohen

Kornbefällen, nicht aber zu geringen Erträgen. Pflanzen derselben Sorte, die in Meckenheim zur Weizenblüte mit *F. avenaceum* infiziert worden waren, reagierten mit geringeren Flächenerträgen, obwohl ihr Kornbefall im Durchschnitt nur halb so stark war wie an den Pflanzen nach Lagerbildung. RINTELEN (1995) stellte die Hypothese auf, dass später befallene Ährchen weniger stark mit Myzel durchwachsen sind als Körner, welche bereits zur Milchreife infiziert werden. Die in Folge von Lager auftretende *F. avenaceum*-Infektion fand zu einem Zeitpunkt statt, an dem die Kornfüllungsphase bereits abgeschlossen war, was die Ertragbildung weniger stark beeinflusste. Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Befallssituation an zwei Standorten nur bedingt miteinander verglichen werden kann.

Anhand der eigenen Untersuchungen können keine Aussagen über einen möglichen DON-Abbau in den Weizenpflanzen getroffen werden, wie er von MILLER & ARNISON (1986) beschrieben wurde. Bei den gering befallenen Sorten `Atlantis` und `Ludwig` wurde zwar relativ geringe Toxinwerte nachgewiesen, unklar war jedoch, ob eine geringere Infektion mit einer geringeren Toxinproduktion des Pilzes einher ging, oder ob der Pilz zwar eine größere Menge Toxin produzierte, diese jedoch durch pflanzliche Stoffwechselfvorgänge anschließend wieder metabolisiert wurde.

Die passive Resistenz einer Pflanze wird durch pflanzenmorphologische Erscheinungen wie die Pflanzenhöhe, die Ährendichte und die Begrannung der Ähre charakterisiert (MESTERHÁZY 1995). Der Kornbefall unbehandelter Weizenpflanzen korrelierte unter natürlichen Befallsbedingungen signifikant negativ ($r = -0,66$) mit der Pflanzenlänge. Wurden die Pflanzen mit einem Wachstumsregulator und Blattfungiziden behandelt, so konnte eine signifikant negative Korrelation von $r = -0,68$ festgestellt werden. Diese Ergebnisse gehen einher mit Untersuchungen von BUERSTMAYR *et al.* (2000), HILTON *et al.* (1999) und MESTERHÁZY (1995), die bereits über den Zusammenhang von Wuchshöhe und Ährenbefall berichteten. Je kürzer die Distanz, die das Inokulum vom Boden bis zur Ähre zurücklegen muss, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit einer Infektion. SCOTT *et al.* (1985) vermuteten zudem, dass kurzstrohige Sorten über ein für die Fusariosen günstigeres Mikroklima durch einen dichteren Blattbestand verfügen. HILTON *et al.* (1999) schränkten diese Erklärung ein. In Untersuchungen mit isogenen Linien konnten sie zeigen, dass bei kurz- oder langstrohigen isogenen Linien kein Unterschied in der relativen Luftfeuchtigkeit in Ährenhöhe vorlag. Sie schlossen daraus, dass das Mikroklima nicht alleine die Unterschiede im *Fusarium*-Befall erklären kann. Die Autoren vermuteten, dass entweder eine Genkopplung oder ein pleiotroper Effekt zugrunde liegt, der für die stärker ausgeprägte Resistenz langstrohiger Sorten verantwortlich ist. Epistatische Effekte sind wahrscheinlich weniger bedeutend für die Resistenzausprägung einer Sorte (BUERSTMAYR *et al.* 2000, SNIJDERS 1990c). Ein Zusammenhang zwischen Pflanzenlänge und der genetisch

bedingten *Fusarium*-Anfälligkeit konnte in den eigenen Untersuchungen bestätigt werden. Die langstrohigen Sorten `Ludwig`, `Kanzler` und `Atlantis` wiesen nicht nur unter natürlichen Befallsbedingungen einen relativ geringen Befall auf, was durch passive Resistenz zu erklären wäre, sondern auch als nach Sprühinokulation der Weizenähre der Faktor ‚Pflanzenlänge‘ ausgeschaltet worden war. Im Vergleich zu der Sorte `Kanzler` wurde die geringe Sortenanfälligkeit von `Ludwig` dabei stärker durch den Faktor `Pflanzenlänge` bedingt als durch physiologische Prozesse der Resistenz. `Kanzler` ist etwas kürzer als `Ludwig` und war dementsprechend unter natürlichen Befallsbedingungen auch stets stärker befallen. Wurden die Weizenähren der Pflanzen jedoch inokuliert, dann wies `Kanzler` einen geringeren Kornbefall mit *Fusarium* spp. auf als `Ludwig`. Auch BUERSTMAYR *et al.* (2000) konnten in Kreuzungsversuchen feststellen, dass trotz Inokulation der Weizenähren mit *F. culmorum* noch eine signifikant negative Korrelation zwischen den Symptomen der partiellen Taubährigkeit und der Pflanzenlänge vorlag.

Der Abstand des Fahnenblattes zur Ähre korreliert signifikant mit der Pflanzenlänge. Nachweislich lag kein Zusammenhang zwischen dem Abstand Fahnenblatt - Ähre und dem Kornbefall vor. Der Korrelationskoeffizienten von $r = -0,35$ war deutlich geringer als der zwischen Pflanzenlänge und Ährenbefall. Die morphologische Sortenausprägung Distanz Fahnenblatt – Ähre förderte jedoch bei Weizensorten mit erektophiler Fahnenblattstellung und gleichzeitig kurzer Distanz zwischen Insertion des Fahnenblattes und der Ähre den Befall mit *Fusarium*-Arten. Die aufrechtstehenden Fahnenblätter verdichten den Pflanzenbestand in Ährenhöhe und ändern das dort herrschende Mikroklima. Eine *Fusarium*-Infektion wird dadurch begünstigt. Bei planophilen Pflanzen ist der Bestand in Ährenhöhe dagegen, unabhängig von einem kleinen oder großen Abstand Fahnenblatt – Ähre, gleich dicht und der Kornbefall war dementsprechend in beiden Fällen auch gleich stark.

Die Ährendichte beeinflusste den *Fusarium*-Befall nicht. Der D-Wert (Anzahl Spindelstufen pro Ährenlänge) einer Sorte war nicht bedeutend mit dem Kornbefall der jeweiligen Sorte korreliert. MESTERHÁZY (1995) beobachtete in Feldversuchen unter natürlichen Befallsbedingungen eine geringere Infektion bei lockeren Ähren im Vergleich zu dichteren Ähren. Experimentell wurde dies von ihm jedoch nicht überprüft. Dieser Autor verglich auch begrannte mit unbegrannten Weizenlinien und konnte zeigen, dass begrannte Genotypen unter natürlichen Befallsbedingungen anfälliger gegenüber einer Ähreninfektion mit *Fusarium* spp. waren als der jeweils unbegrannte Genotyp. Dieser Effekt ließ sich in Inokulationsversuchen jedoch nicht bestätigen. Das Vorhandensein von Grannen bedeutete nicht automatisch eine höhere Anfälligkeit der Weizenpflanze gegenüber Ährenfusariosen. MESTERHÁZY (1995) nahm jedoch an, dass morphologische Faktoren in diesem Fall involviert sind und die Veränderung des Mikroklimas durch die Begrannung als mögliche

Ursache eines erhöhten Ährenbefalls angesehen werden kann. Im Gegensatz zu den Untersuchungen von MESTERHÁZY (1995) liegen aber auch Hinweise vor, dass ein Resistenzgen mit einem Gen gekoppelt ist, das für Begrannung kodiert (SNIJDERS 1990b).

Anbaubedingungen

Die Anbauintensität wird u.a. durch die Faktoren Stickstoffdüngung, Fungizidbehandlung, Anwendung eines Wachstumsregulators und Saatedichte bestimmt. Viele Autoren diskutierten die Wirkung von Stickstoff und gehen von einer Förderung des Ährenbefalls durch *Fusarium* spp. bei zunehmenden Stickstoffgaben aus (MARTIN & MCLEOD 1991, STACK *et al.* 1986, UEDA & YOSHIZAWA 1988). Dieser Zusammenhang konnte in den eigenen Untersuchungen nicht bestätigt werden. Eine um 40 bzw. 60 kg/ha höhere Stickstoffgabe auf 210 bzw. 230 kg/ha führte nur im Jahr 1998 zu einem marginal erhöhten Kornbefall. Die gleichzeitige Anwendung eines Wachstumsregulators hätte zusätzlich eine befallsfördernde Wirkung erwarten lassen. Möglicherweise hat aber auch die Blattapplikation eines Azolhaltigen Fungizidpräparates das Befallsgeschehen mit beeinflusst. FAUZI & PAULITZ (1994) und TEICH & HAMILTON (1985) beobachteten ebenfalls keinen Einfluss unterschiedlicher Stickstoffgaben auf das Auftreten von Ährenfusariosen. Ursächlich mag auch das Düngungsniveau von Bedeutung sein. MARTIN & MCLEOD (1991) stellten eine befallsfördernde Wirkung des Stickstoffs bei einer Gabe von 120 kg/ha im Vergleich zu 70 kg/ha fest. Unterschiede in der Stickstoffversorgung der Pflanzen könnten auf diesem geringen Niveau sehr viel bedeutender sein, als bei einem hohen Düngungsniveau. Im Jahr 2000 wurde ein möglicher Stickstoff-Effekt durch witterungsbedingtes Lager überdeckt und unbehandelte Pflanzen wiesen einen vierfach höheren Ährenbefall auf. Auch scheint die Art der Stickstoffgabe von Bedeutung zu sein. TEICH (in: MARTIN & MCLEOD 1991) stellte ein geringeres Auftreten von Ährenfusariosen in Weizen nach Harnstoffdüngung im Vergleich zur Ammoniumnitrat-Düngung fest. In den Landessortenversuchen wurde mit Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung gedüngt, sodass eine andere Form der Stickstoffdüngung möglicherweise zu einem anderen Ergebnis geführt hätte. Eine verspätete erste, aber auch eine gestaffelte Stickstoffgabe in kürzeren Zeitintervallen, förderte nach ELLEN & LANGERAK (1987) die Ähreninfektion mit *M. nivale* und *Fusarium*-Arten. Im Jahr 1998 war der Kornbefall mit *M. nivale* an Pflanzen nach geringer Stickstoffgabe (170 kg N/ha) um 34% höher als an stärker gedüngten Pflanzen (210 kg N/ha). Im Jahr 2000 wurde ein deutlich entgegen-gesetzter Effekt beobachtet. *M. nivale* trat nach einer Stickstoffgabe von 230 kg/ha dreimal so häufig am Korn auf wie nach einer Gabe von 170 kg N/ha. Der Einfluss von Stickstoff auf den *Fusarium*-Befall scheint somit noch unklar und von einer eindeutigen Steigerung des Befalls durch eine erhöhte Stickstoffversorgung der Pflanzen kann nicht ausgegangen werden. PARRY *et al.* (1995) folgerten, dass eine frühe Stickstoffgabe

möglicherweise den Wurzelbefall mit *Fusarium* spp. fördert, was mit einer erhöhten Inokulumproduktion einhergehen könnte. Dieses könnte sich nachfolgend negativ auf den Ährenbefall auswirken. Für *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* ist auch eine erhöhte Aggressivität durch Stickstoffzufuhr bekannt (HOFFMANN *et al.* 1994). Als generelle Ursache einer erhöhten Krankheitsanfälligkeit bei hohen Stickstoffgaben ist auch das verlängerte vegetative Wachstum, wasserreiches Gewebe mit weiten Interzellularen und eine geringe Festigkeit des Abschlussgewebes zu nennen (HOFFMANN *et al.* 1994). ELLEN & LANGERAK (1987) schlossen jedoch auch eine direkte Stimulation der Pilze durch eine erhöhte Stickstoffgabe nicht aus.

Die Anwendung eines Wachstumsregulators reduzierte die Halmlänge der Pflanzen um bis zu 10 cm und führte bei verschiedenen Weizensorten zu einer – nicht signifikanten - Zunahme des Kornbefalls mit *Fusarium*-Arten. Diese Beobachtung deckt sich mit Untersuchungen von FAUZI & PAULITZ (1994), die eine Verwendung von Wachstumsregulatoren als nicht befallsfördernd einstufen. *In vitro* Untersuchungen mit *F. graminearum* zeigten auch, dass die Wachstumsregulatoren Ancymidol und Flurprimidol weder das Myzelwachstum dieser *Fusarium*-Art beeinflussten noch die Produktion von 3-ACDON (MATTHIES 1998). MARTIN & MCLEOD (1991) stellten dagegen einen höheren Kornbefall mit *Fusarium* spp. nach Gabe eines Wachstumsregulators zu BBCH 37 fest und begründeten dies durch sich ändernde Bestandeseigenschaften. Wachstumsregulatoren mindern zwar die Wuchshöhe der Weizenpflanzen, geben ihnen aber dadurch gleichzeitig eine erhöhte Standfestigkeit. Letzteres beugt Lagerbildung vor und verhindert somit einen möglichen, dann meist auch starken, Spätbefall mit *Fusarium*-Arten.

Im Jahr 1998 wurde in Weizenbeständen mit zunehmenden Saatkichten von 150, 250 und 350 Körner/m² auch eine lineare Zunahme des Kornbefalls mit *M. nivale* vorgefunden. In den Jahren 1999 und 2000 war dieser Effekt gegenläufig. Pflanzen mit geringer Saatkichte wiesen einen höheren Kornbefall mit *M. nivale* auf als Pflanzen mit höherer Saatkichte. Eine signifikante Befallszunahme mit *Fusarium* spp. trat dagegen bei zunehmender Saatkichte nicht ein. BAILEY *et al.* (1998) stellten einen um nur 5% höheren Befall der Ähren bei einer Saatkichte von 67 kg/ha gegenüber einer von 202 kg/ha fest (entspricht Aussaatstärken von ca. 130 Körner/m² bzw. 400 Körner/m²). ELLEN & LANGERAK (1987) berichteten über eine stärkere Blattscheiden- und Korninfektion mit *M. nivale* bei geringer Saatkichte von 45 kg/ha (ca. 90 Körner/m²) im Vergleich zu einer Saatkichte von 125 kg/ha (ca. 250 Körner/m²). Sie führten den geringeren Befall bei der höheren Saatkichte auf einen geringeren Wassergehalt in Ähre und Halm, einen geringeren Stickstoffgehalt in Halm und Blätter und einen höheren Anteil wasserlöslicher Kohlenhydrate zurück.

Ökologischer Anbau

Im Jahr 1998 zeigte sich trotz befallsfördernder Witterung das Auftreten von Ährenfusariosen im ökologischen Landbau begrenzt, ganz im Gegenteil zum starken Auftreten von *M. nivale*. Diese Tendenz wurde im selben Jahr auch im konventionellen Anbau beobachtet. Im ökologischen Anbau kann besonders der Saatgutbefall mit *M. nivale*, dem Erreger des Schneeschimmels, zum Problem werden. Wird Saatgut aus Eigenvermehrung angebaut, so sollte nach Befallsjahren wie 1998 mit standortbedingtem *M. nivale*-Befall von 40% unbedingt eine nicht-synthetische Saatgutbehandlung z.B. eine Warm- oder Heißwasserbehandlung durchgeführt werden (WINTER *et al.* 1997). Dadurch können Auflaufverluste vermieden werden. Kornbefall mit *M. nivale* führt jedoch neben der Reduktion der Keimfähigkeit nicht zu einer Mykotoxinbelastung des Erntegutes. Im Jahr 1999 trat kein Kornbefall mit *M. nivale* im ökologischen Weizenanbau auf. Die Untersuchung wurde jedoch wenig repräsentativ nur an einem Standorte durchgeführt. Entsprechende Beobachtungen wurden auch im konventionellen Anbau in Jahren 1999 und 2000 gemacht. Die Ursachen dafür wurden bereits im Abschnitt „Die Witterung“ diskutiert.

Ein Vergleich des ökologischen mit dem konventionellen Anbau ist auf Grundlage der eigenen Ergebnisse nicht zu vollziehen. Zu stark ist der Einfluss von Standort und Sorte in den Freilandhebungen, als dass eine Wertung dieser beiden Anbauarten möglich wäre. Andere Autoren kommen jedoch meistens zu dem Schluss, dass die Befallswerte mit *Fusarium* spp. und die DON-Gehalte im ökologischen Anbau geringer sind als im konventionellen Anbau (BECK & LEPSCHY 2000, DORNBUSCH *et al.* 1993, KOCH 1991). Diese Autoren führten dies vor allem auf die heterogene Fruchtfolge ohne Mais im ökologischen Anbau sowie ein geringeres Düngungsniveau, größere Reihenabstände und den Verzicht auf chemischen Pflanzenschutz zurück.

Chemische Kontrolle

In Feldversuchen wurde die Wirksamkeit verschiedener Fungizidstrategien auf den Ährenbefall mit *Fusarium* spp. untersucht. Eine Ährenbehandlung erfolgte mit Metconazol zu BBCH 65 bzw. zusätzlich mit Tebuconazol zu BBCH 71. Blattbehandlungen wurden zu vier Terminen stadienorientiert oder ein- bis zweimal schadsschwellenorientiert durchgeführt. Die Anwendung von Azol-Fungiziden wird als effektivste Behandlungsmöglichkeit zur Kontrolle der Ährenfusariosen beschrieben und unter ihnen haben die Präparate mit den Wirkstoffen Metconazol und Tebuconazol die höchste Wirksamkeit (CARON 1995, JUNGET & MARQUET 1988, MAULER-MACHNIK & ZAHN 1994, MESTERHÁZY & BARTOK 1996).

Eine zwei oder viermalige Blattbehandlung mit unterschiedlichen Wirkstoffen, u.a. Strobilurine und Azole, führten in 5 bzw. 6 von jeweils 14 Versuchen zu einer signifikanten Befallszunahme der Körner mit *Fusarium* spp. von 63% bzw. 52% gegenüber unbehandelten Pflanzen. Auch OLDENBURG *et al.* (2001) beobachteten nach ein- oder zweimaliger Strobilurin-Applikation zwischen BBCH 32 und 49 einen erhöhten DON-Gehalt der Körner im Vergleich zu Körnern unbehandelter Pflanzen. MARTIN & MCLEOD (1991) stellten dagegen in 49 Versuchen (Standort x Sorte x Jahr) keinen merklichen Einfluss einer Fungizidbehandlung zu BBCH 51 mit Propiconazol und Chlorothalonil auf den Kornbefall mit *Fusarium* spp. fest. Eine stärkere Befallszunahme nach einer Blattbehandlung kann auf Interaktionen der saprophytischen Mikroflora mit den Ährenpathogenen zurückzuführen sein (LIGGITT *et al.* 1997). Auf den Blättern und den Ähren konkurrieren Saprophyten wie *Alternaria alternata*, *Botrytis cinerea* oder *Cladosporium herbarum* mit *Fusarium* spp. um die gleiche ökologische Nische. Einigen Fungiziden, u.a. Tebuconazol, wird eine befallsreduzierende Wirkung gegenüber der Mikroflora zugeschrieben (LIGGITT *et al.* 1997, WAINWRIGHT *et al.* 1992). So kann eine präinfektionelle Fungizidapplikation die Verbreitung von Mikroorganismen auf der Ähre hemmen und dadurch eine nachfolgende *Fusarium*-Infektion fördern (LIGGITT *et al.* 1997). Die Autoren stützten ihre Vermutung auf *in vitro*-Untersuchungen, in denen die Saprophyten *A. alternata*, *B. cinerea* oder *C. herbarum* eine wachstumshemmende Wirkung auf *F. culmorum* ausübten. Dies ließ sich *in vivo* bestätigen, wo die Mikroorganismen durch eine präinfektionelle Besiedlung der Ähre den Anteil infizierter Ährchen reduzierten. Sie führten die antagonistische Wirkung der Saprophyten auf Antibiosis durch Produktion nicht-flüchtiger und flüchtiger Antibiotika zurück. Ebenso wurde *in vitro* eine starke Wachstumshemmung verschiedener *Fusarium*-Arten durch einen *Bacillus subtilis*-Stamm festgestellt (LIENEMANN unveröffentlicht).

Da die Blattbehandlungen u.a. mit Strobilurin-haltigen Wirkstoffen durchgeführt wurden, muss insbesondere auch eine Wirkung von Strobilurinen auf das Auftreten von *Fusarium* spp. in Betracht gezogen werden. Einige Autoren berichten, dass bei Applikation von Strobilurin-Solopräparaten eine befallsfördernde Wirkung auf den DON-Gehalt der Körner vorlag (FORRER *et al.* 2000, OBST & GAMMEL 2000, OLDENBURG *et al.* 2001, SIRANIDOU & BUCHENAUER 2001). Dagegen konnten MATTHIES *et al.* (2000) und JONES (2000) keine Erhöhung der Toxingehalte nach einer Applikation dieser Präparate in die Blüte feststellen und DARDIS & WALSH (2000) und JØRGENSEN (2001) keinen Einfluss auf den Ährenbefall. Es wird jedoch über eine gute Wirkung der Strobilurine gegenüber *M. nivale* berichtet (FAURE & DECLERCQ 1999, JØRGENSEN 2001). Eine Erklärung für die erhöhten Toxingehalte bzw. den verstärkten Ährenbefall mit *Fusarium* spp. nach Behandlung mit Strobilurinen kann durch eine verzögerte Abreife der Pflanzen

(,greening effect') gegeben werden, da das Fungizid in den pflanzlichen Hormonhaushalt eingreift. Dies mag sich fördernd auf die Toxinproduktion auswirken. In dieser Studie wurde jedoch bis auf eine Ausnahme in Kerpen-Buir ('Flair') stets ein Mischpräparat mit einem Tebuconazol- und Strobilurin-haltigen Fungizid ausgebracht. Strobilurine führten in Kombination mit einem Azol zu einer effektiven *Fusarium*-Reduktion, wobei die befallsreduzierende Wirkung den Azolen zugeschrieben wurde (DARDIS & WALSH 2000, OLDENBURG *et al.* 2001, SIRANIDOU & BUCHENAUER 2001). Die z. Zt. in Deutschland im Weizenanbau zugelassenen Strobilurin-Solopräparate Amistar[®], Stratego[®] und Acanto[®] haben zwar keine Indikation ‚Ährenfusariosen‘, können aber gegen andere Pathogene bis zu BBCH 69 bzw. letztere Produkte nur bis zu BBCH 61 eingesetzt werden. Würde eine Ährenbehandlung mit Strobilurinen nachweislich eine toxinfördernde Wirkung haben, so müssten die Anwendungsempfehlungen neu überdacht werden und gegebenenfalls auf einen Zeitraum bis BBCH 59 eingeschränkt werden.

An den untersuchten Standorten wurden stark variierende Wirkungsgrade der Fungizide Metconazol bzw. Metconazol und Tebuconazol nach ein- oder zweimaliger Ährenbehandlung beobachtet. Nur in jedem fünften bzw. jedem dritten Versuch konnte durch eine Ährenbehandlung der Kornbefall mit *Fusarium* spp. signifikant reduziert werden. Die dabei erzielten Wirkungsgrade lagen bei 42% bzw. 60%. Im Mittel war eine zweimalige Ährenbehandlung dagegen nicht effektiver als eine einmalige. In zwei Versuchen wurde dagegen ein signifikant höherer Kornbefall nach einer Ährenbehandlung im Vergleich zur Kontrolle festgestellt. Auch lag in Titz-Spiel ein DON-Gehalt von 0,2 µg/g in Folge einer Ährenbehandlung vor, während an Pflanzen ohne Ährenbehandlung kein DON nachgewiesen werden konnte. Die erhöhten Toxingehalte standen im Zusammenhang mit einer Befallszunahme von *F. graminearum* und *F. culmorum* durch die Ährenbehandlung. Auch AUFHAMMER *et al.* (2000) und D'MELLO *et al.* (1998) stellten fest, dass eine Ährenbehandlung mit Azolen sich fördernd auf den DON-Gehalt der Weizenkörner auswirken kann. Die höheren Toxingehalte können durch „Stresseffekte“ nach Fungizidapplikation oder möglicherweise durch Applikation subletaler Wirkstoffdosen verursacht werden (D'MELLO *et al.* 1998, MATTHIES 1998).

An allen fungizidbehandelten Pflanzen wurde ein relativ hoher NIV-Gehalt der Körner von bis zu 0,84 µg NIV/g festgestellt. GAREIS & CEYNOWA (1994) stellten nach Ährenbehandlung mit Matador[®] (Wirkstoff: Tebuconazol/Triadimenol) 3 Stunden vor bzw. 24 Stunden nach Inokulation mit *F. culmorum* sogar 16- bzw. 6fach höhere NIV-Gehalte in Vergleich zu unbehandelten Pflanzen fest. Sie führten das auf eine durch das Fungizid stimulierte NIV-Produktion von *F. culmorum* zurück. Die starke Kornbelastung mit NIV ist möglicherweise auch auf das starke Auftreten von *F. tricinctum* (9% Kornbefall) an diesem Standort zu

erklären. LEE & MIROCHA (1984) berichteten über die *in vitro* Produktion von NIV durch diese *Fusarium*-Art. NIV ist mit einem 17fach geringeren LD 50-Wert an Mäusen sehr viel toxischer für Mensch und Tier als DON (MILLER *et al.* 2001). ELLNER (2001) konnte NIV-Höchstmengen von 3,5 mg/kg in Weizenproben aus dem Jahr 2000 in Deutschland nachweisen. Er führte dies auf NIV-produzierende *F. graminearum*-Stämme zurück (mündliche Mitteilung ELLNER 2002). Diese Begründung kann die hohen NIV-Gehalte in Titz-Spiel jedoch nur teilweise erklären. Welche Rolle *F. tricinctum* möglicherweise für die NIV-Belastung von Getreide in Deutschland hat, bedarf noch weiterer Untersuchungen.

Die Ährenbehandlungen wurden unter Praxisbedingungen im Rheinland ohne zusätzliche Inokulation durchgeführt. Feldversuche, die ebenfalls unter natürlichen Befallsbedingungen in Minnesota (USA) in den Jahren 1994/95 durchgeführt wurden, zeigten, dass eine ein- bzw. zweimalige Tebuconazol- bzw. Benomyl-Behandlung zur Weizenblüte den Ährenbefall (partielle Taubährigkeit) und auch den DON-Gehalt der Körner signifikant reduzierte (JONES 2000). In Terminierungsversuchen (Inokulationsversuchen) wurde eine maximale Befallskontrolle durch Tebuconazol und/oder Prochloraz bei postinfektioneller Behandlung (2 dpi) erreicht (MATTHIES & BUCHENAUER 2000). SIRANIDOU & BUCHENAUER (2001) berichten auch über eine gute protektive Wirkung von Tebuconazol, wenn die Behandlung 2 Tage vor der Inokulation durchgeführt wurde. HOMDORK *et al.* (2000) nennen für Tebuconazol eine optimale Applikation von 3 Tagen vor oder 5 Tagen nach einer Inokulation. Dadurch konnten die DON-Gehalte maximal im Vergleich zur Kontrolle reduziert werden. Die meisten Bekämpfungsversuche wurden mit zusätzlicher Inokulation durchgeführt, um einen starken Befallsdruck zu simulieren und bieten zusätzlich den Vorteil einer optimalen Terminierung. Die *Fusarium*-Arten der Wahl waren dabei nahezu ausschließlich die Trichothecen-Produzenten *F. culmorum* und *F. graminearum*. Bereits von MAULER-MACHNIK & ZAHN (1994) und MCMULLEN *et al.* (1997) ist bekannt, dass die Effektivität der Fungizide, die zur Kontrolle der Ährenfusariosen eingesetzt werden, stark von der Applikationsrate und der Terminierung der Fungizide abhängig ist. Am Standort Bergheim konnte, bedingt durch die unterschiedliche Abreife der Sorten, bei `Greif` eine effektive Befallsreduktion durch eine Ährenbehandlung beobachtet werden, während bei dem später abreifenden `Ritmo` die Ährenbehandlung nicht optimal terminiert war. Das führte zu einer Zunahme des Kornbefalls mit *Fusarium*-Arten. Des Weiteren kann die vorherrschende Witterung – Regen, zusätzlich meist in Verbindung mit Wind - die Infektion fördern, lässt aber gleichzeitig keine Fungizidbehandlung auf dem Feld zu. Eine nicht optimal terminierte Anwendung kann aber den Befallsdruck und das Toxinrisiko erhöhen. Dies war in den vorliegenden Freilanduntersuchungen unter natürlichen Infektionsbedingungen der Fall.

Gegenüber den *Fusarium*-Arten wurde eine selektive Wirkung der Azole festgestellt. Die Wirkung gegenüber *F. avenaceum* war unzufrieden, ebenso wie gegenüber den Arten *F. poae* und *F. tricinctum*. Diese Arten wurden durch eine ein- oder zweimalige Ährenbehandlung mit Tebuconazol und/oder Metconazol nur unzuverlässig kontrolliert. In Versuchen, in denen der Kornbefall mit *Fusarium* spp. durch eine Ährenbehandlung nicht reduziert werden konnte, lag jedoch immerhin noch eine befallsreduzierende Wirkung von 5% bzw. 41% gegenüber *F. graminearum* vor. In Neukirchen-Vluyn konnte der DON-Gehalt der Körner bei einem Wirkungsgrad von 74% bzw. 87% reduziert werden. Dies konnte auf eine erfolgreiche Bekämpfung von *F. graminearum* und *F. culmorum* zurückgeführt werden. Die selektive Wirkung erklärt ebenfalls die teilweise geringen Bekämpfungserfolge der untersuchten Weizenproben. Die *Fusarium*-Arten, die weniger gut bzw. weniger beständig durch die Azole bekämpft wurden, stellen im Rheinland den Großteil aller auftretenden *Fusarium*-Arten dar. JØRGENSEN (2001) konnte dagegen in Inokulationsversuchen keine verminderte Wirkung von Tebuconazol gegenüber *F. avenaceum* im Vergleich zu *F. culmorum* oder *F. graminearum* feststellen. BOSHOFF *et al.* (1999) berichteten jedoch über Sensitivitätsunterschiede von *F. culmorum* und *F. crookwellense* *in vitro*. Demnach stellten sich Isolate von *F. crookwellense* und *F. graminearum* als sehr sensitiv gegenüber Prochloraz und Bromuconazol heraus, *F. graminearum* jedoch zusätzlich auch gegenüber Tebuconazol und Flusilazol. Die unterschiedlichen Wirkungsgrade von Fungiziden einer Wirkstoffgruppe sind durch die Formulierung des Fungizid-Produktes, der Aufnahme des Wirkstoffes durch die Pflanze und der Verteilung von diesem in der Pflanze begründet; auch der Abbau der chemischen Substanz ist möglich (BOSHOFF *et al.* 1999, LYR 1995). Die geringere Wirkung der Azole gegenüber *F. avenaceum* wird durch Untersuchungen von GOLEBNIAK & MUSZYNSKA (1999) und HWANG *et al.* (2000) gestützt. Sie fanden, dass eine Saatgutbehandlung mit Benomyl, Thiram oder Carbendazim eine effektive Kontrollmöglichkeit von *F. avenaceum* darstellt, während Tebuconazol oder Metalaxyl weniger wirksam waren.

Das starke Auftreten von *F. avenaceum* im Rheinland ist, obwohl der Pilz als schwach pathogen gilt, möglicherweise auch aus toxikologischer Sicht als problematisch zu bewerten. Die Isolate dieses Pilzes bilden nachweislich die Mykotoxine Moniliformin, Fusarin C, Clamydosporol und Enniatin (ABBAS *et al.* 1991, BLAIS *et al.* 1992, LANGSETH *et al.* 1999, SAMSON *et al.* 1995). Diese Toxine werden in routinemäßigen Untersuchungen nicht erfasst. So konnten ADLER *et al.* (1990) an 23 von 27 *F. avenaceum*-Stämmen, die sie von Kornproben (Weizen, Hafer, Mais) der Jahre 1995 - 1997 in Österreich isoliert haben, die Bildung von 3 – 460 mg Moniliformin/kg nachweisen. LANGSETH *et al.* (1999) untersuchten *in vitro* die zytotoxischen Eigenschaften von Getreideproben mittels eines MTT-Zellkulturen-

Test und fanden eine relativ hohe Zytotoxizität in Proben, die mit *F. avenaceum* belastet waren. Sie konnten dies jedoch weder durch die Präsenz von Enniatin noch von Moniliformin erklären. Letzteres stellte sich im Zellkulturen-Test als nicht toxisch heraus. Sie vermuteten, dass die Zytotoxizität der *F. avenaceum*-belasteten Proben durch Abbauprodukte der Toxine, die sie nicht detektierten konnten, verursacht wurde. Um das Ausmaß und die Toxizität von *F. avenaceum*-belasteten Getreideproben beurteilen zu können, sind weitergehende Untersuchungen erforderlich.

Obwohl seit 1998 Tebuconazol und Metconazol zur Ährenbehandlung zugelassen sind, bleiben Bedenken gegenüber einer Ährenbehandlung zur *Fusarium*-Bekämpfung bestehen. Neben den zusätzlichen Spritzkosten die dafür aufgebracht werden müssen, liegt eine nicht zu garantierende Wirkungssicherheit vor, wenn nicht optimal terminiert appliziert wird. Ein Kosten-Nutzen-Vergleich ist unter diesen Gesichtspunkten kaum möglich. Zumal liegen in Deutschland bislang nur Richtwerte, jedoch keine Grenzwerte für *Fusarium*-Mykotoxine in Getreideprodukten vor. Jedoch selbst in den USA, wo seit Jahren Grenzwerte für DON-Gehalte in Getreide vorgeschrieben sind, bewertet JONES (2000) unter den oben genannten Gesichtspunkten die Rolle der Fungizide zur Bekämpfung der Ährenfusariosen als gering.

Die Witterung als größter Risikofaktor ist weder vorhersehbar, noch zu beeinflussen. Das Risiko einer Ähreninfektion mit *Fusarium* spp. ist somit stets gegeben. Ein Infektions-Modell, so wie es von OBST & BECHTEL (2000) im Ansatz vorgestellt wurde, beschränkt sich auf das Auftreten von *F. graminearum*. Der zunehmende Anteil von *F. culmorum*, aber auch das starke Auftreten von *F. avenaceum* und *F. poae*, die Situation die im Rheinland vorliegt, wird nicht erfasst. Ein Prognosemodell für *Fusarium* spp. im Rheinland kann auf Grund der heterogenen Bedingungen (Witterung, Fruchtfolge, Standortcharakteristika, *Fusarium*-Spektrum) nur durch umfangreiche mehrjährige Untersuchung erstellt werden. Noch liegt keine ausreichende Datensicherheit über die Ausbreitung der unterschiedlichen *Fusarium*-Arten und Wechselwirkungen dieser untereinander vor. Auch ausreichende Informationen über Witterungseinflüsse auf verschiedene *Fusarium*-Arten wie *F. avenaceum*, *F. poae* oder *F. tricinctum* sind nicht vorhanden. Eine Fungizidbehandlung der Ähre mit Azol-Präparaten zur Reduktion der Ährenfusariosen stellt keine ausreichende und sichere Lösung dar. Viel wichtiger ist es bereits im Vorfeld die Risikofaktoren einer Ähreninfektion möglichst gering zu halten. Dies geschieht durch die Wahl einer wenig anfälligen Sorte und einer wendenden Bodenbearbeitung nach Vorfrucht Mais. So kann im Vorfeld das Inokulumpotential möglichst gering gehalten werden und eine Verbreitung von *Fusarium* spp. im Bestand mit nachfolgender Ähreninfektion gemindert werden.

5 Zusammenfassung

Ährenfusariosen an Winterweizen werden durch einen Komplex unterschiedlicher *Fusarium*-Arten verursacht. Als Erreger der partiellen Taub- und Weißährigkeit führen sie nicht nur zu erheblichen Ertragsverlusten sondern mindern auch die Weizenqualität, da sie artspezifische Mykotoxine von unterschiedlicher toxikologischer Relevanz produzieren. In der vorliegenden Arbeit wurde das Auftreten der Ährenfusariosen, der Befallsverlauf an der Pflanze und die Zusammensetzung des Artenspektrums unter Praxisbedingungen an Winterweizen im Rheinland untersucht. Die Sortenanfälligkeit wurde unter natürlichen Befallsbedingungen ebenso wie in Inokulationsversuchen erfasst und bewertet. Des Weiteren wurden der Einfluss der Anbauintensität und die Wirksamkeit verschiedener Fungizidstrategien auf das Befallsgeschehen ermittelt. Der Ährenbefall wurde visuell und die Befallshäufigkeit der Körner mikrobiologisch erfasst, die Bestimmung der *Fusarium*-Arten erfolgte mikroskopisch. Die Mykotoxinbelastung der Körner wurde mittels Hochleistungsflüssigkeits-Chromatographie mit angeschlossenem Dioden-Array-Detektor (HPLC-DAD) nachgewiesen.

❖ Unabhängig vom Anbau (konventionell oder ökologisch) war das Auftreten von Ährenfusariosen im Untersuchungszeitraum 1998 – 2000 stark an die jahresbedingte Witterung, aber auch an den Standort und die Weizensorte gebunden. Ein direkter Vergleich der beiden Anbauformen war somit nicht möglich. Der durchschnittliche Kornbefall mit *Fusarium* spp. war im Jahr 1999 und 2000 mit 18 – 20 % dreimal so hoch wie im Jahr 1998. *M. nivale* trat dagegen im Jahr 1998 sehr stark im ökologischen (Ø 26%) und auch im konventionellen (Ø 10%) Anbau auf. In den Jahren 1999 und 2000 war dieser Erreger jedoch kaum von Bedeutung. Antagonistische Wechselwirkungen zwischen *Fusarium* spp. und *M. nivale* scheinen möglich.

❖ Trotz gleicher Bodenbearbeitung und Vorfrucht variierte die Höhe des Kornbefalls mit *Fusarium* spp. (7 - 54%) und die Zusammensetzung des Artenspektrums standortbedingt. Der im Rheinland auftretende *Fusarium*-Komplex setzt sich anteilig zusammen aus *F. avenaceum* (43%), *F. culmorum* (21%), *F. graminearum* (11%), *F. poae* (10%), *F. tricinctum* (7%), *F. cerealis* (4%), *F. equiseti*, *F. sporotrichioides* und *Fusarium* spp. (letztere insgesamt 4%). Neben dem vorhandenen *Fusarium*-Befall waren nahezu alle Körner aus dem Freiland mit *Epicoccum* spp., *Alternaria* spp. und/oder *Cladosporium* spp. befallen. Die Variationen erklären sich aus den Witterungseinflüssen und auch aus der Aktivität der Bodenmikroflora, die von verschiedenen Faktoren abhängig ist und antagonistisch aktiv sein kann (ALABOUVETTE 1990, DAMM 1998, ROBERTI *et al.* 2000, STEINBRENNER 1996) Es ist davon auszugehen, dass der Aufbau eines artspezifischen Inokulumpotentials und die Verbreitung bestimmter Arten dadurch beeinflusst wird.

- ❖ Winterweizen als Vorfrucht förderte das Auftreten von *F. avenaceum* und *F. tricinctum*, Zuckerrübe das Auftreten von *F. avenaceum* und *F. culmorum* und Winterraps das Auftreten von *M. nivale*. Keine der genannten Feldfrüchte hatte einen signifikanten Einfluss auf das Auftreten von *F. graminearum* oder *F. poae*. Die nicht wendende Bodenbearbeitung hatte bei diesen Vorfrüchten keine befallsfördernde Wirkung auf das Auftreten von *F. avenaceum*. Kontinuierlicher Niederschlag (2,4 mm/Nacht) förderte den Kornbefall mit *F. avenaceum* deutlich, nicht aber den mit anderen Arten. Die schwach pathogene Art *F. avenaceum* kann sich unter den im Rheinland vorherrschenden Bedingungen gut etablieren.
- ❖ Die Stärke des Auftretens von *F. culmorum* stand im Zusammenhang mit dem von *F. graminearum*, *F. avenaceum*, *F. cerealis* und *F. equiseti*; das Auftreten war positiv miteinander korreliert. Ähnliche Temperatur- und Feuchtigkeitsansprüche der jeweiligen Arten oder ein verstärktes Auftreten nach bestimmten Vorfrüchten auf Grund sich ähnelnden saprophytischen Lebensweisen mögen dies erklären. *F. culmorum* kann unter diesen Voraussetzungen wohl als die am weitesten angepasste Art im Rheinland angesehen werden. Auch bei *F. avenaceum* und *F. tricinctum* ist offensichtlich von sich ähnelnden Wachstumsansprüchen auszugehen, da beide Arten kühlere Klimate bevorzugen und verstärkt nach Vorfrucht Winterweizen auftraten.
- ❖ Mais in der Fruchtfolge, auch wenn er nicht unmittelbar als Vorfrucht auftritt, stellt ein potentiell Risiko für eine Ähreninfektion dar. Schläge ohne Mais in der Fruchtfolge, die in Mais-Anbaugebieten lagen, waren dem Zuflug von *F. graminearum*-Sporen ausgesetzt. Dadurch infizierte Weizenpflanzen wiesen einen Kornbefall mit *F. graminearum* von 12% auf, die DON-Gehalte der Körner stiegen bis auf 2,5 µg/g.
- ❖ Die sukzessive Infektion von *Fusarium* spp., ausgehend von am Boden vorhandenem Inokulum über die Blattetagen bis hin zur Weizenähre, war für alle *Fusarium*-Arten mit Ausnahme von *F. poae* von Bedeutung. Dessen Ausbreitung beruhte vorrangig auf einer windbürtigen Infektion der Ähren, ausgehend entweder von Inokulum am Boden oder anderen infizierten Wirtspflanzen. Bereits zu BBCH 39 waren Blätter aller Etagen außer dem Fahnenblatt besiedelt und die Befallshäufigkeit nahm bis zur Abreife (Ø 98% Befallshäufigkeit) stetig zu. Die befallenen Blätter waren frei von Symptomen. Ab BBCH 61 kann von einer Sporulation verschiedener *Fusarium*-Arten auf den Blättern, von *F. poae* besonders auf der Ähre und dem Fahnenblatt, ausgegangen werden. Die Gefahr einer Sekundärinfektion weiterer Ährchen ist dadurch gegeben. *F. culmorum* besiedelte die Blätter später als *F. avenaceum*, erreichte aber bis zur Abreife eine Besiedlungsrate von 71%, *F. avenaceum* dagegen nur eine von 23%. Antagonistische Wechselwirkungen zwischen

diesen Arten, wie sie bereits von FISCHER (1977) beschrieben wurden, waren hier anzunehmen.

❖ Nach Anwendung eines Wachstumsregulators oder einer erhöhten Stickstoffgabe von 40 kg/ha bzw. 60 kg/ha in Form einer Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung nahm der Ährenbefall nur geringfügig zu. Witterungsbedingtes Lager führte jedoch an einigen Standorten im Jahr 2000 zu einer starken Befallszunahme um bis zu einem Drittel an Pflanzen, die nicht mit einem Wachstumsregulator behandelt worden waren. Ein dichter Pflanzenbestand scheint das Auftreten von *M. nivale* und *Fusarium spp.* zu fördern. Begründet werden kann dies durch ein sich änderndes Mikroklima im Bestand, was zu einer länger anhaltenden Feuchtigkeit in diesem führt.

❖ Die Stärke des Ährenbefalls war signifikant mit der Pflanzenlänge ($r = -0,66$) korreliert, nicht jedoch mit dem Abstand Fahnenblatt – Ähre. Eine erektophile Fahnenblattstellung erwies sich dagegen bei einem kurzen Abstand Fahnenblatt - Ähre als befallsfördernd. Ein kürzerer Infektionsweg vom Fahnenblatt zur Ähre sowie eine gleichzeitig höhere Feuchtigkeit in dem dichteren Bestand in Ährenhöhe begünstigte eine Ähreninfektion. Die Dichte einer Ähre stand nicht im Zusammenhang mit der Zunahme des *Fusarium*-Befalls.

❖ Die Sorten `Charger`, `Bandit`, `Rialto` und `Haven` waren im dreijährigen Vergleich am anfälligsten gegenüber Ährenfusariosen, `Hybnos`, `Convent` und `Residence` erwiesen sich als am wenigsten anfällig. Die Einstufung der Sorten auf *Fusarium*-Anfälligkeit wichen teilweise von denen ab, die durch das Bundessortenamt getroffen wurde. Dies war auf die unterschiedlichen Prüfbedingungen (Sprühinokulation, natürlicher Befallsdruck) zurückzuführen. In Inokulationsversuchen stellte sich heraus, dass die kurzstrohigen Sorten `Bandit` und `Hanseat` und die Züchterlinie `FR 444/06` besonders anfällig gegenüber Ährenfusariosen waren, eine starke Weißährigkeit ausbildeten und relativ stark Trichothecen-belastet waren. Sie zeigten wenig Resistenz gegenüber einer Erstinfektion (Typ I) und einer Ausbreitung des Pilzes in der Pflanze (Typ II). Die Züchterlinie `FR 444/06` brachte trotz starkem Kornbefall aber noch einen relativ guten Ertrag ein (Resistenztyp IV). Die langstrohigen Sorten `Atlantis`, `Ludwig` und `Kanzler` profitierten unter natürlichen Befallsbedingungen von ihrem hohen Wuchs. Nach Sprühinokulation erwiesen sich `Ludwig` und `Kanzler` aber als weniger resistent gegenüber einer Erstinfektion, zeigten eine stärkere Symptomausprägung und waren stärker mit Trichothecenen belastet als `Atlantis`. Das Potential einer Sorte, bei gleichzeitigem *Fusarium*-Befall ertragsstark zu sein, kann folgendermaßen eingestuft werden: `Fr 444/06` > `Atlantis` > `Kanzler` und `Ludwig` >> `Bandit` und `Hanseat`.

❖ Es traten sortenabhängig Korrelationen von $-0,82$ bzw. $-0,75$ zwischen dem Kornbefall und den Ertragsparametern ‚Tausendkorngewicht‘ und ‚Flächenertrag‘ auf. Sortenspezifisch lagen sehr hohe NIV-Belastungen der Körner und gleichzeitig ein hohes Tausendkorngewicht vor. Dies wurde durch ein Nivalenol-produzierendes *F. culmorum*-Isolat verursacht. Diese Körner stellen in der Praxis eine potentielle Gefährdung dar, da sie stark toxinbelastet sein können, aber weder durch Mähdrusch noch durch Aufreinigung aussortiert werden.

❖ Eine zwei oder viermalige Blattbehandlung führte in ca. 40% der Versuche zu einer Befallszunahme der Körner mit *Fusarium*-Arten. In diesen Fällen war der Befall um durchschnittlich 58% relativ zu den nicht behandelten Pflanzen erhöht. Dabei wurde bei anfälligen Sorten ein höherer Kornbefall jedoch nicht eine stärkere Befallszunahme beobachtet als bei wenig anfälligen Sorten. In einem von fünf Versuchen lag auch ein doppelt so hoher Deoxynivalenolgehalt (\varnothing 2,45 $\mu\text{g/g}$) in Folge einer Blattbehandlung vor, in einem andern stieg der Nivalenolgehalt von 0 $\mu\text{g/g}$ auf 0,70 $\mu\text{g/g}$ an. Eine präinfektionelle Fungizidapplikation mit Azolen kann die Verbreitung von Mikroorganismen auf der Ähre hemmen und dadurch eine nachfolgende *Fusarium*-Infektion fördern (LIGGITT *et al.* 1997, WAINWRIGHT *et al.* 1992). Eine ein- oder zweimalige Ährenbehandlung mit Metconazol oder Metconazol und Tebuconazol reduzierte den Kornbefall mit *Fusarium* spp. in jeweils 4 von 14 Versuchen signifikant. In einem bzw. zwei Versuchen war der Befall nach einer Ährenbehandlung dagegen signifikant erhöht. Erfolgt die Fungizidbehandlung in dem nur kurzen Zeitraum der Ähreninfektion zu einem zu frühen oder zu späten Termin, z.B. durch eine witterungsbedingte nicht optimal terminierte Ährenbehandlung, kann sich dieses befalls- und toxfördernd auswirken. Eine zweimalige Behandlung war im Mittel nicht effektiver als eine einmalige Behandlung. Unter den im Rheinland vorherrschenden Bedingungen wurde eine selektive Wirkung von Metconazol und Tebuconazol gegenüber den *Fusarium*-Arten beobachtet. Gegen *F. culmorum*, besonders aber gegen *F. graminearum*, lag eine gute Wirkung vor. Das Auftreten von *F. avenaceum*, *F. poae* und *F. tricinctum* wurde dagegen nicht ausreichend bekämpft.

❖ Konnte das Auftreten von *F. graminearum* und *F. culmorum* reduziert werden, war auch der Gehalt an Deoxynivalenol, dessen acetylierte Derivate und Nivalenol reduziert. Der Wirkungsgrad einer ein- bzw. zweimalige Ährenbehandlung gegenüber Deoxynivalenol lag bei 74% bzw. 87%. Die Befallhäufigkeit der *Fusarium*-Arten korrelierte positiv mit den Gehalten an Mykotoxinen, die durch diese Arten gebildet werden. Hohe Nivalenolgehalte der Körner gingen einher mit einem starken Auftreten von *F. tricinctum*. Offensichtlich ist diese Art ein bis jetzt noch unterschätzter Nivalenol-Produzent.

6 Literaturverzeichnis

- Abbas H K, Mirocha C J, Berdal B P, Sundheim L, Gunther R, Johnsen B (1987): Isolation and toxigenicity of *Fusarium* species from various areas of Norway. *Acta Agric. Scand.* **37**(4), 427-435.
- Abbas HK, Mirocha CJ, Gunther R (1991): Production of zearalenone, nivalenol, moniliformin, and wortmannin from toxigenic cultures of *Fusarium* obtained from pasture soil samples collected in New Zealand. *Mycotoxin Research* **7**(2), 53-60.
- Abildgren MP, Lund F, Thrane U, Elmholt S (1987): Czapek-Dox agar containing iprodione and dicloran as a selective medium for the isolation of *Fusarium* species. *Letters in Applied Microbiology* **5**, 9-15.
- Adler A, Lew H, Edinger W (1990): Vorkommen und Toxigenität von Fusarien auf Getreide und Mais aus Österreich. *Die Bodenkultur* **41**(2), 145-152.
- Adolf B (1998): Epidemiologie und Nachweis von Getreidefusariosen: Untersuchungen an Weizen und Gerste. Herbert Utz Verlag, Wissenschaft, München.
- Ahrens W, Fehrmann H (1984): Attack of wheat by *Septoria nodorum* and *Fusarium* ear blight. 1. Crop loss analysis. *J. Plant Disease and Protection* **91**(1), 42-58.
- Alabouvette C (1990): Biological control of *Fusarium* wilt pathogens in suppressive soils. In: *Biological control of soil-borne plant pathogens*, ed. by Hornby D. CAB International Wallingford (UK), 27-43.
- Andersen A (1948): The development of *Gibberella zeae* head blight of wheat. *Phytopathology* **38**, 595-611.
- Anonym (1998): Beschreibende Sortenliste 1998 - Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen, Hackfrüchte. Herausgegeben vom Bundessortenamt, Landbuch Verlagsgesellschaft mbH, Hannover.
- Anonym (1999): Beschreibende Sortenliste 1999 - Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen, Hackfrüchte. Herausgegeben vom Bundessortenamt, Landbuch Verlagsgesellschaft mbH, Hannover.
- Anonym (2000a): Orientierungswerte für Konzentrationen von DON und ZEA im Futter von Schwein, Rind und Huhn, bei deren Unterschreitungen die Gesundheit und Leistungsfähigkeit nicht beeinträchtigt wird. http://www.mykotoxin.de/orien01_d.html.

- Anonym (2000b): Beschreibende Sortenliste 2000 - Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen, Hackfrüchte. Herausgegeben vom Bundessortenamt, Landbuch Verlagsgesellschaft mbH, Hannover.
- Arthur JC (1891): Wheat scab. Ind. Agric. Exp. Stn. Bull. **36**, 129-132.
- Aufhammer W, Kübler E, Kaul HP, Hermann W, Höhn D, Yi C (2000): Ährenbefall mit Fusarien (*F. graminearum*, *F. culmorum*) und Deoxynivalenolgehalt im Korngut von Winterweizen in Abhängigkeit von der N-Düngung. Pflanzenbauwissenschaften **4**(2), 72-78.
- Backhouse D, Burgess LW, Summerell BA (2001): Biogeography of *Fusarium*. *Fusarium* - Paul E. Nelson Memorial Symposium, ed. by Summerell BA, Leslie JF, Backhouse D, Bryden WL, Burgess LW. APS Press, St. Paul, Minnesota 2001, 122-137.
- 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**, 220-225.
- Bai GH, Xiao QP, Mei JF (1989): Studies on the inheritance of scab resistance in six wheat varieties. Acta Agriculturae Shanghai **5**(4), 17-23.
- Bai GH, Shaner G (1995): Epidemiology, inheritance of resistance and molecular markers linked to cultivar resistance. Ph.D. thesis. Purdue University, West Lafayette, IN 1995.
- Bai GH, Shaner G (1996): Variation in *Fusarium graminearum* and cultivar resistance to wheat scab. Plant Disease **80**(9), 975-979.
- Bai GH, Kolb FL, Shaner G, Domier LL (1999): Amplified fragment length polymorphism markers linked to a major quantitative trait locus controlling scab resistance in wheat. Phytopathology **89**(4), 343-347.
- Bailey KL, Lafond GP, Domitruk D (1998): Effects of row spacing, seeding rate and seed-placed phosphorus on root diseases of spring wheat and barley under zero tillage. Canadian J. Plant Science **78**(1), 145-150.
- Bechtel DB, Kaleiku LA, Gaines RL, Seitz LM (1985): The effects of *Fusarium graminearum* infection on wheat kernels. Cereals Chem. **62**, 191-197.

- Beck R, Lepschy J (2000): Ergebnisse aus dem *Fusarium*-Monitoring 1989-1999 - Einfluss der produktionstechnischen Faktoren Fruchtfolge und Bodenbearbeitung. *Bodenkultur und Pflanzenbau* **4**(3), 39-49.
- Blais LA, ApSimon JW, Blackwell BA, Greenhalgh R, Miller D (1992): Isolation and characterization of enniatins from *Fusarium avenaceum* DAOM 196490. *Canadian J. Chemistry* **70**, 1281-1287.
- Boshoff WHP, Pretorius ZA, Swart WJ (1999): *In vitro* differences in fungicide sensitivity between *Fusarium graminearum* and *Fusarium crookwellense*. *African Plant Protection* **5**(1), 65-71.
- Buerstmayr H, Lemmens M, Grausgruber H, Ruckenbauer P (1996): Scab Resistance of international wheat germplasm. *Cereal Res. Comm.* **24**(2), 195-202.
- Buerstmayr H, Lemmens M, Berlakovich S, Ruckenbauer P (1997): Combining ability of resistance to head blight caused by *Fusarium culmorum* (W.G. Smith) in the F1 of a seven parent diallel of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica* **110**(3), 199-206.
- Buerstmayr H, Lemmens M, Fedak G, Ruckenbauer P (1999): Back-cross reciprocal monosomic analysis of *Fusarium* head blight resistance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor. Appl. Genet.* **98**, 76-85.
- Buerstmayr H, Steiner B, Lemmens M, Ruckenbauer P (2000): Resistance to *Fusarium* head blight in winter wheat: heritability and trait associations. *Crop-Science* **40**(4), 1012-1018.
- Burgess LW, Nelson PE, Tousson PE, Forbes GA (1988): Distribution of *Fusarium* species in sections *Roseum*, *Arthrosporiella*, *Gibbosum* and *Discolor* recovered from grassland, pasture and pine nursery soils of eastern Australia. *Mycologia* **80**(6), 815-824.
- Campell KAG, Lipps PE (1998): Allocation of resources: sources of variation in *Fusarium* head blight screening nurseries. *Phytopathology* **88**(10), 1078-1086.
- Caron D (1995): Les fongicides contre la fusariose des épis. Pourquoi leur efficacité est elle seulement moyenne? *Perspectives Agricoles* **198**, 80-82.
- Chelkowski J, Zawadzki M, Zajkowski P, Logrieco A, Bottalico A (1990): Moniliformin production by *Fusarium* species. *Mycotoxin Research* **6**(1), 41-45.

- Chelkowski J and Perkowski J (1992): Mycotoxins in cereal grain (part 15). Distribution of deoxynivalenol in naturally contaminated kernels. *Mycotoxin Research* **8**, 27-30.
- Cook RJ (1981): *Fusarium* diseases of wheat and other small grains in North America. In: *Fusarium Diseases, Biology and Control*, ed. by Nelson PE, Tousson TA and Cook RJ. Pennsylvania State Univ. Press, University Park, 39-52.
- Crute IR, de Wit PJGM, Wade M (1985): Mechanisms by which genetically controlled resistance and virulence influence host colonisation by fungal and bacterial parasites. In: *Mechanism of resistance to plant diseases*, ed. by Fraser RSS. Nijhoff & Punk Publishers, Dordrecht, 197-309.
- D´Mello JP, MacDonald AMC, Postel D, Dijkma WTP, Dujardin A, Placinta CM (1998): Pesticide use and mycotoxin production in *Fusarium* and *Aspergillus* phytopathogens. *European J. of Plant Pathology* **104**(8), 741-751.
- Dalcero A, Torres A, Etcheverry M, Chulze S, Varsavsky E (1997): Occurrence of deoxynivalenol and *Fusarium graminearum* in Argentinian wheat. *Food Additives and Contaminants* **14**(1), 11-14.
- Damm U (1998): Pilzbesiedlung von Pflanzen und Boden in zwei unterschiedlich bewirtschafteten Weizenbeständen unter besonderer Berücksichtigung der *Fusarium*-Arten. Diss. Humboldt-Universität Berlin 1998. Verlag für Wissenschaft und Forschung GmbH, Berlin.
- Dardis J, Walsh EJ (2000): Studies on the effectiveness of metconazole in controlling *Fusarium* head blight caused by *Fusarium culmorum* in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Cereal Res. Comm.* **28**(3), 443-450.
- Desjardins AE, Proctor RH, Bai GH, McCormick SP, Shaner G, Buechley G, Hohn TM and Bai GH (1996): Reduced virulence of trichothecene-nonproducing mutants of *Gibberella zeae* in wheat field tests. *Molecular Plant Microbe Interactions* **9**(9), 775-781.
- Deutscher Wetterdienst (1998a): Monatlicher Witterungsbericht **46**(5). Verlag Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main.
- Deutscher Wetterdienst (1998b): Monatlicher Witterungsbericht **46**(1). Verlag Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main.

- Deutscher Wetterdienst (2000): Monatlicher Witterungsbericht **46(5/6)**. Verlag Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main.
- Dexter JE, Clear RM, Preston KR (1996): *Fusarium* head blight: Effect on the milling and baking of some canadian wheats. *Cereal Chem.* **73**, 695-701.
- Dickson R, Johann H, Wineland G (1921): Second progress report on the *Fusarium* blight (scab) of wheat. *Phytopathology* **11**, 35.
- Diehl T (1984): Weizenfusariosen - zur Symptomentwicklung und Schadensanalyse bei Blatt- und Ährenbefall. Diss. Universität Göttingen 1984.
- Diehl T, Fehrmann H (1989): Wheat fusarioses - influence of infection date, tissue injury and aphids on leaf and ear attack. *J. Plant Disease and Protection* **96(4)**, 393-407.
- Dornbusch CH, Schauder A, Piorr HP, Köpke U (1993): Qualitätsbeeinflussende Parameter von Saatgutpartien aus dem Organischen Landbau. *VDLUFA-Schriftenreihe* **36**, Kongreßband 199, Darmstadt.
- Duben J, Fehrmann H (1980): Vorkommen und Pathogenität von *Fusarium*-Arten an Winterweizen in der Bundesrepublik Deutschland - III. Zusammenhang zwischen dem Befall der Halmbasis und der Ähre. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* **87(1)**, 1-12.
- Ellen J, Langerak CJ (1987): Effects of plant density and nitrogen fertilization in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). 2. Incidence of *Gerlachia nivalis* and *Fusarium* spp. related to yield losses. *Netherlands J. Agricultural Science* **35(2)**, 155-162.
- Ellner FM (2000): Occurrence of *Fusarium* toxins in the 1999`s harvest. Proceedings of the 22nd Mykotoxin-Workshop Bonn 2000, *Mycotoxin Research*, **16A(1)**, 21-26.
- Ellner FM (2001): *Fusarium* toxins in cereals – results form eight German Federal States in 2000. Proceedings of the 23rd Mykotoxin-Workshop Wien 2001, *Mycotoxin Research*, **17A(1)**, 41-45.
- European Commission (1999): Opinion in *Fusarium* toxins, Part 1: Deoxynivalenol (DON). http://www.europa.eu.int/comm/dg24/health/sc/scf/index_en.html.

- Evans CK, Xie W, Dill-Macky R, Mirocha CJ (2000): Biosynthesis of deoxynivalenol in spikelets of barley inoculated with Macroconidia of *Fusarium graminearum*. *Plant Disease* **84**(6), 654-660.
- Faure A, Declercq J (1999): Fusarioses de épis de blé. *Phytoma* **517**(6), 12-16.
- Fauzi MT, Paulitz TC (1994): The effect of plant growth regulators and nitrogen on *Fusarium* head blight of the spring wheat cultivar Max. *Plant Disease* **78**(3), 289-292.
- Fernando WGD, Paulitz TC, Seaman WL, Dutileul P, Miller JD (1997): Head blight gradients caused by *Gibberella zeae* from area sources of inoculum in wheat field plots *Phytopathology* **87**(4), 414-421.
- Fischer H (1977): Untersuchungen über Fußkrankheiten an Weizen unter besonderer Berücksichtigung von *Fusarium* spp. - als Fußkrankheitserreger. Diss. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn 1999.
- Forrer HR, Hecker A, Kulling C, Kessler P, Jenny E, Krebs H (2000): Fusarienbekämpfung mit Fungiziden? *Agrarforschung* **7**(6), 258-263.
- Gareis M, Ceynowa J (1994): Einfluss des Fungizids Matador (Tebuconazol/Triadimenol) auf die Mykotoxinbildung durch *Fusarium culmorum*. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung* **198**, 244-248.
- Geisler G (1988): Pflanzenbau. Biologische Grundlagen des Pflanzenbaus. Verlag Paul Parey, Hamburg, 191.
- Gilbert J, Tekauz A (1995): Effects of *Fusarium* head blight and seed treatment on germination, emergence, and seedling vigour of spring wheat. *Can. J. Plant Pathol.* **17**(3), 252-259.
- Gilbert J, Tekauz A (2000): Review: Recent developments in research on *Fusarium* head blight of wheat in Canada. *Canadian J. Plant Pathology* **22**(1), 1-8.
- Golebniak B, Muszynska I (1999): Efficacy of selected seed dressings in protection of pasture grasses against *Fusarium avenaceum* (Fr.) Sacc. *J. Plant Protection-Research* **39**(2), 132-136.

- Gordon WL (1959): The occurrence of *Fusarium* species in Canada. VI. Taxonomy and geographic distribution of *Fusarium* species on plants, insects and fungi. Canadian J. Botany **37**, 257-290.
- Hall R, Sutton JC (1998): Relation of weather, crop, and soil variables to the prevalence, incidence, and severity of basal infections of winter wheat in Ontario. Canadian J. Plant Pathology **20**(1), 69-80.
- Hilton AJ, Penkinson P, Hollins TW, Parry DW (1999): Relationship between cultivar height and severity of *Fusarium* ear blight in wheat. Plant Pathology **48**(2), 202-208.
- Hoffmann GM, Nienhaus F, Poehling HM, Schönbeck F, Weltzien HC, Wilbert H (1994): Lehrbuch der Phytomedizin. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin.
- Homdork S, Fehrmann H, Beck R (2000): Effects of field application of tebuconazole on yield, yield components and the mycotoxin content of *Fusarium*-infected wheat grain. J. Phytopathology **148**(1), 1-6.
- Hwang SF, Gossen BD, Turnbull GD, Chang KF, Howard RJ, Thomas AG (2000): Effect of temperature, seeding date, fungicide seed treatment and inoculation with *Fusarium avenaceum* on seedling survival, root rot severity and yield of lentil. Canadian J. Plant Science **80**(4), 899-907.
- Jenkinson P, Parry DW (1994): Splash dispersal of conidia of *Fusarium culmorum* and *Fusarium avenaceum*. Mycological Research **98**(5), 506-510.
- Joffe AZ (1971): Alimentary toxic Aleukia. In: Microbial toxins **7**, ed. by Kadis S, Ciegler A and Ajil SJ. Academic Press, London, 139-189.
- Joffe AZ (1986): *Fusarium* species: their biology and toxicology. Wiley & Sons, New York.
- Jones RK (2000): Assessments of *Fusarium* head blight of wheat and barley in response to fungicide treatment. Plant Disease **84**(9), 1021-1030.
- Jørgensen LN (2001): Control of *Fusarium* ear blight in winter wheat. Proceedings of the 17th Danish Plant Protection Conference II, DJF-rapport **24**, 197-210.
- Jugnet MP, Baurrault G, Caron D, Albertini L (1983): Épidémiologie de *Fusarium culmorum* (W. G. Smith) Sacc. sur blé dans le sud ouest de la France. Mécanismes et agents de dissémination des conidies. Cryptogamie Mycol. **14**(2), 95-108.

- Jugnet MP, Marquet D (1988): Fusariose de épis. *Perspectives Agricoles* **31**, 131.
- Kang Z, Buchenauer H (1999): Immunocytochemical localization of *Fusarium* toxins in infected wheat spikes by *Fusarium culmorum*. *Physiological and Molecular Plant Pathology* **55**, 275-288.
- Kang Z, Huang L, Krieg U, Mauler-Machnik A, Buchenauer H (2001): Effects of tebuconazole on morphology, structure, cell wall components and trichothecene production of *Fusarium culmorum* *in vitro*. *Pest Management Science* **57**(6), 491-500.
- Klechkovskaya EA, Adamovskaya VG, Wolf GA, Vovchuk SV (1998): The role of hydrolasen and trypsin inhibitor in development of winter wheat resistance to *Fusarium* infection. *Russian J. Plant Physiology* **45**(6), 728-735.
- Koch G (1991): Pilzliche Schaderreger an Winterweizen im Vergleich zweier konventioneller Betriebe und eines biologisch-dynamischen Betriebes in Hessen (BRD) 1986/87. *Zeitschrift Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* **98**(2), 125-136.
- Koch E, Leadbeater AJ (1992): Phenylpyrroles - New class of fungicides for seed treatment. Brighton Crop Protection Conference - Pests and Diseases - 1992, 1137-1146.
- Kommedahl T, Abbas HK, Burnes PM, Mirocha CJ (1988): Prevalence and cytotoxicity of *Fusarium* species from soils of Norway near the Arctic circle. *Mycologia* **80**(6), 790-794.
- Lacey J, Bateman GL, Mirocha CJ (1999): Effects of infection time and moisture on development of ear blight and deoxynivalenol production by *Fusarium* spp. in wheat. *Ann. of Applied Biology* **134**(3), 277-283.
- Langseth W, Hoie R, Gullord M (1995): The influence of cultivars, location and climate on deoxynivalenol contamination in Norwegian oats 1985-1990. *Acta Agric. Scand. Section B, Soil and Plant Science* **45**(1), 63-67.
- Langseth W, Kosiak B, Clasen PE, Torp M, Gareis M (1997): Toxicity and occurrence of *Fusarium* species and mycotoxins in late harvested and overwintered grain from Norway, 1993. *J. Phytopathology* **145**, 409-416.
- Langseth W, Bernhoft A, Rundberget T, Kosiak B and Gareis M (1999): Mycotoxin production and cytotoxicity of *Fusarium* strains isolated from Norwegian cereals. *Mycopathologia* **144**(2), 103-113.

- Lee YW, Mirocha CJ (1984): Production of Nivalenol and Fusarenone-X by *Fusarium tricinctum* Fn-2B on a rice substrate. *Applied and Environmental Microbiology* **48**(4), 857-858.
- Lepschy v. Geissenthal J, Dietrich R, Martlbauer E, Schuster M, Süss A, Terplan G (1989): A survey on the occurrence of *Fusarium* mycotoxins in Bavarian cereals from the 1987 harvest. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung* **188**(6), 521-526.
- Lepschy v. Geissenthal J (1992): Fusarientoxine in Getreide - ihre Entstehung und Vorbeugungsmaßnahmen. *Gesunde Pflanze* **44**(2), 35-39.
- Liggitt J, Jenkinson P, Parry DW (1997): The role of saprophytic microflora in the development of *Fusarium* ear blight of winter wheat caused by *Fusarium culmorum*. *Crop Protection* **16**(7), 679-685.
- Lyr H (1995): Selectivity in modern fungicides and its basis. In: *Modern selective fungicide: properties applications, mechanisms of action*, 2nd edition, ed. by Lyr H. Gustav-Fischer-Verlag, Stuttgart, 13-22.
- Madhosingh C (1992): Interspecific hybrids between *Fusarium oxysporum lycopersici* and *Fusarium graminearum* by mycelial anastomoses. *J. Phytopathol.* **136**(2), 113-123.
- Manka M, Visconti A, Chelkowski J, Bottalico A (1985): Pathogenicity of *Fusarium* isolates from wheat, rye and triticale toward seedlings and their ability to produce trichothecenes and zearalenone. *Phytopath. Zeitung* **113**(1), 24-29.
- Marasas WFO, Nelson PE, Toussoun TA (1984): *Toxigenic Fusarium species identity and mycotoxicology*. Pennsylvania State University Press, University Park, 216-252.
- Martin RA, MacLeod JA (1991): Influences of production inputs on incidence of infection by *Fusarium* species on cereal seed. *Plant Disease* **75**(8), 784-788.
- Matthiaschk G, Spott HJ, Weber R (1999): Fumonisine in Lebensmitteln des deutschen Marktes. *Bundesgesundheitsbl.-Gesundheitsforsch.-Gesundheitsschutz* **42**, 161-164.
- Matthies A (1998): Untersuchungen zur Hemmung der Trichothecenbiosynthese bei *Fusarium graminearum* *in vitro* und zur Reduzierung des Ährenbefalls und der Mykotoxinproduktion durch Fusarien an Getreide. Diss. Universität Hohenheim 1998.

- Matthies A, Buchenauer H (2000): Effect of tebuconazole (Folicur®) and prochloraz (Sportak®) treatments of *Fusarium* head scab development, yield and deoxynivalenol content in grains of wheat following artificial inoculation with *Fusarium culmorum*. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, **107**(1), 35-52.
- Matthies A, Flatter A, Semar M, Bleiholder H, Oppitz K (2000): *Fusarium* in wheat: importance and toxin production in the field - possibilities and limits of fungicide treatments. Proceedings of the 22rd Mykotoxin-Workshop Bonn 2000, Mycotoxin Research **16A**(1), 6-10.
- Mauler-Machnik A, Zahn K (1994): Ährenfusariosen an Weizen - neue Erkenntnisse zur Epidemiologie und zur Bekämpfung mit Folicur (Tebuconazol). Pflanzenschutz Nachrichten Bayer **47**(2), 133-160.
- Mauler-Machnik A, Suty A (1997): New findings on the epidemiology, importance and control of *Fusarium* ear blight on wheat. Fifth European *Fusarium* Seminar, Szeged, Hungary, **25**(3/2), 707-709.
- McKendry A, Salzman KS, Liu S (1999): Evaluation of asian, italian and brazilian winter wheat germplasm for types II and III resistance to *Fusarium* head blight. 1999 National *Fusarium* Head Blight Forum, Proceedings Section 5, <http://www.scabusa.org/Forum99.html>, 129-132.
- McMullen M, Jones R, Gallenberg D (1997): Scab of wheat and barley: A re-emerging disease of devastating impact. Plant Disease **81**(12), 1340-1348.
- Meier A, Birzele B, Oerke EC, Dehne HW (2000): Impact of growth conditions on the occurrence of *Fusarium* spp. and the mycotoxin content of wheat. Proceedings of the 22rd Mykotoxin-Workshop Bonn 2000, Mycotoxin Research, **16A**(1), 12-15.
- Meier A, Birzele B, Oerke EC, Steiner U, Krämer J, Dehne HW (2001): Significance of different inoculum sources for the *Fusarium* infection of wheat ears. Proceedings of the 23rd Mykotoxin-Workshop Wien 2001, Mycotoxin Research, **17A**(1), 71-75.
- Mentewab A, Rezanoor HN, Gosman N, Worland AJ, Nicholson P (2000): Chromosomal location of *Fusarium* head blight resistance genes and analysis of the relationship between resistance to head blight and brown foot rot. Plant Breeding **119**(1), 15-20.
- Mesterházy Á (1973): The morphology of an undescribed form of anastomosis in *Fusarium*. Mycologia **65**, 916-919.

- 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 Breeding* **114**(5), 377-386.
- Mesterházy Á, Bartok T (1996): Control of *Fusarium* head blight of wheat by fungicides and its effect on the toxin contamination of the grains. *Pflanzenschutz Nachrichten Bayer English (ed.)* **49**(2), 181-198.
- Miedaner T, Schilling AG, Geiger HH (2001): Molecular genetic diversity and variation for aggressiveness in populations of *Fusarium graminearum* and *Fusarium culmorum* sampled from wheat fields in different countries. *J. Phytopathology* **149**(11), 641-648.
- Mielke H, Meyer D (1990): Neuere Untersuchungen zur Bekämpfung der Auswirkungen des Fungizideinsatzes auf Ertragsleistung und Backqualität beim Weizen. *Nachrichtenbl. Dtsch. Pflanzenschutzdienst* **42**(11), 161-170.
- Miller JD, Young JC, Sampson DR (1985): Deoxynivalenol and *Fusarium* head blight resistance in spring cereals. *Phytopathologische Zeitschrift* **113**(4), 359-367.
- Miller JD, Arnison PG (1986): Degradation of deoxynivalenol by suspension cultures of the *Fusarium* head blight resistant wheat cultivar Frontana. *Canadian J. Plant Pathology* **8**(2), 147-150.
- Miller JD, Greenhalgh R, Wang YZ, Lu M (1991): Trichothecene chemotypes of 3 *Fusarium* species. *Mycologia* **83**, 121-130.
- Miller JD, Ewen MA (1997): Toxic effects of deoxynivalenol on ribosomes and tissues of the spring wheat cultivar Frontana and Casavant. *Natural Toxins* **5**, 234-237.
- Miller JD, ApSimon JW, Blackwell BA, Greenhalgh R, Taylor A (2001): Deoxynivalenol: a 25 year perspective on a trichothecene of agricultural importance. *Fusarium - Paul E. Nelson Memorial Symposium*, ed. by Summerell BA, Leslie JF, Backhouse D, Bryden WL, Burgess LW. APS Press, St. Paul, Minnesota 2001, 310-320.
- Mirocha CJ, Pathre SV, Christensen CM (1977): Zearalenone. In: *Mycotoxins in human and animal health*, ed. by Rodricks-JV, Hesseltine-CW and Mehlman-AM. Pathotox Publishers Inc., Park Forest South, Ill.

- Mongrain D, Couture L, Comeau A (2000): Natural occurrence of *Fusarium graminearum* on adult wheat midge and transmission to wheat spikes. *Cereal Res. Comm.* **28**(1-2), 173-180.
- Müller HM, Reiman J, Schumacher U, Schwadorf K (1997): *Fusarium* toxins in wheat harvested during six years in an area of southwest Germany. *Natural Toxins* **5**(1), 24-30.
- Müller HM, Reiman J, Schumacher U, Schwadorf K (1998): Natural occurrence of *Fusarium* toxins in oats harvested during five years in an area of southwest Germany. *Food Additives and Contaminants* **15**(7), 801-806.
- Muthomi JW, Schütze A, Dehne HW, Mutitu EW, Oerke EC (2000): Characterization of *Fusarium culmorum* isolates by mycotoxin production and aggressiveness to winter wheat. *J. Plant Disease and Protection* **107**(2), 113-123.
- Muthomi JW (2001): Comparative studies on virulence, genetic variability and mycotoxin production among isolates of *Fusarium* species infecting wheat. Ph.D. thesis. University of Nairobi, Kenya 2001.
- Nelson PE, Poussoun TA, Marasas WFO (1983): *Fusarium* species: An illustrated manual for identification. Pennsylvania State University Press. University Park, London.
- Nielsen GH, Jørgensen LN (2001): Which factors influence the content of toxins from *Fusarium* species in wheat? Proceedings of the 17th Danish Plant Protection Conference II, DJF-rapport **40**, 131-148.
- Nightingale MJ, Marchylo BA, Clear RM, Dexter JE, Preston KR (1999): *Fusarium* head blight: Effect of fungal proteases on wheat storage proteins. *Cereal Chem.* **76**(1), 150-158.
- Nirenberg HI (1976): Untersuchungen über die morphologische und biologische Differenzierung in der *Fusarium*-Sektion *Liseola*. Mitt. der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem **169**, 1-117.
- Nirenberg HI, Schmitz-Elsherif H, Kling CI (1994): Auftreten von Fusarien und Schwärzepilzen an Durumweizen in Deutschland. - I. Befall mit *Fusarium*-Arten. *Z. Pfl. Krankh. Pfl. Schutz* **101**(5), 449-459.
- Obst A (1994): Untersuchungen zur Epidemiologie und Bekämpfung des Ährenparasiten *Fusarium graminearum* an Weizen. Mitt. der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem **301**, 73.

- Obst A, Obst L, Streckert G (1990): Natürliche Gifte im Getreide - eine Gefahr für unsere Lebensmittel? Fördergemeinschaft Integrierter Pflanzenbau **6**, Bonn.
- Obst A, Lepschy J, Beck R (1997): Ährenfusariosen nicht unterschätzen! Top agrar **5**, 48-54.
- Obst A, Bechtel A (2000): Witterungsvoraussetzungen für den Ährenbefall des Weizens mit *Fusarium graminearum*. Bodenkultur und Pflanzenbau **4**(3), 81-88.
- Obst A, Fuchs H (2000): Der *Fusarium*-Besatz bei Winter- und Sommergetreide – Untersuchungsergebnisse von Saatgetreidestichproben aus Bayern 1987-1999. Bodenkultur und Pflanzenbau **4**(3), 21-26.
- Obst A, Gammel P (2000): Fungizide gegen den Ährenparasiten *Fusarium graminearum*. Bodenkultur und Pflanzenbau **4**(3), 89-98.
- Obst A, Obst L, Streckert G (2000): Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse des LBP-Forschungsverbundes *Fusarium*. Bodenkultur und Pflanzenbau **4**(3), 105-107.
- Odörfer A (1996): Auswirkung einer Extensivierung des Weizenanbaus auf das Auftreten und die Schadrelevanz von Fuß-, Blatt- und Ährenkrankheiten. Diss. TU München 1996.
- Oldenburg E, Weinert J, Wolf AG (2001): Effects of strobilurin containing fungicides on the deoxynivalenol content in winter wheat. Proceedings of the 23rd Mykotoxin-Workshop Wien 2001, Mycotoxin Research **17A**(1), 10-14.
- Palmgren MS, Lee LS, Delucca AJ, Ciegler A (1983): Preliminary study of mycoflora and mycotoxins in grain dust from New Orleans area grain elevators. American Industrial Hygiene Association **44**(7), 485-488.
- Parry DW (1990): The incidence of *Fusarium* spp. In stem bases of selected crops of winter wheat in the Midlands, UK. Plant Pathology, **39**(4), 619-622.
- Parry DW, Jenkinson P, McLeod L (1995): *Fusarium* ear blight (scab) in small grain cereals - A review. Plant Pathology **44**(2), 207-238.
- Pestka JJ, Bondy GS (1994): Immunotoxic effect of mykotoxins. In: Mycotoxins in grain. Compounds other than aflatoxin, ed. by Miller JD and Trenholm HL. Eagan Press, St. Paul, Minnesota, 339-358.

- Pieters MN, Fiolet DCM, Baars AJ (1999): Deoxynivalenol: Derivation of concentration limits in wheat containing food products. Report of the National Institute of Public Health and the Environment in preparation, RIVM-report 388802008, Bilthoven, NL.
- Polley RW, Turner JA, Cockerell V, Robb J, Scudamore KA, Sanders MF, Magan N (1991): Survey of *Fusarium* species infecting winter wheat in England, Wales and Scotland, 1989-1990. Home Grown Cereals Authority Project Report **39**, in: Home Grown Cereals Authority Publication, London.
- Pritsch C, Muehlbauer GJ, Bushnell WR, Somers DA, Vance CP (2000): Fungal Development and induction of defense response genes during early infection of wheat spikes by *Fusarium graminearum*. *Molecular Plant-Microbe Interactions* **13**(2), 159-169.
- Pugh W, Johann H, Dickson JG (1933): Factors affecting infection of wheat heads by *Gibberella saubinetii*. *J. Agricultural Reserach* **46**, 771-797.
- Ribichich KF, Lopez SE, Vegetti AC (2000): Histopathological spikelet changes produced by *Fusarium graminearum* in susceptible and resistant wheat cultivars. *Plant Disease* **84**(7), 794-802.
- Riley RT, Voss KA, Norred WP, Sharma RP, Wang E, Merrill AH (1998): Fumonisine: mechanism of mycotoxicity. *Revue Méd. Vét.* **149**, 617-626.
- Rintelen J (1967): Die Häufigkeit von Fusarien in Ackerböden mit Mais-starken und Mais-armen Fruchtfolgen. *Bayer. Landw. Jahrbuch* **62**, 1019-1024.
- Rintelen J (1995): Zum Infektionszeitpunkt von Fusarien an Weizenkörnern. *Gesunde Pflanze* **47**(8), 315-317.
- Rintelen J (2000): Ist das starke Auftreten von *Gibberella zeae* (*Fusarium graminearum*) an Getreideähren auf die Zunahme des Maisanbaus zurückzuführen? *Bodenkultur und Pflanzenbau* **4**(3), 11-15.
- Roberti R, Flori P, Pisi A, Brunelli A, Cesari A (2000): Evaluation of biological seed treatment of wheat for the control of seed-borne *Fusarium culmorum*. *J. Plant Disease and Protection* **107**(5), 484-493.
- Rodemann B, Mielke H, Bartels G (2001): Einfluss der Sortenwahl auf den Befall mit Ährenfusariosen. *Getreide Magazin* **3**, 152-155.

- Rossi V, Patteri E, Languasco L, Giosuè S (2000): Dispersal of *Fusarium* species causing head blight of wheat under field conditions. Mitt. der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem **377**, 45-46.
- Roth L, Frank H, Kormann K (1990): Giftpilze - Pilzgifte. Ecomed Verlagsgesellschaft mbH, Landberg/Lech.
- Samson A, Hoekstra ES, Frisvad JC, Filtenborg O (1995): Introduction to food-borne fungi. 4th Edition Centraalbureau voor Schimmelcultures, Baarn, Wageningen 1995.
- Samuels GJ, Nirenberg HI, Seifert KA (2001): Perithecial species of *Fusarium*. *Fusarium* - Paul E. Nelson Memorial Symposium, ed. by Summerell BA, Leslie JF, Backhouse D, Bryden WL, Burgess LW. APS Press, St. Paul, Minnesota 2001, 1-15.
- Santos MNS (1995): Uma Fusariose do Choupo em Portugal. *Silva Lusitana* **3**(1), 17-22.
- Schilling AG, Miedaner T and Geiger HH (1997): Molecular variation and genetic structure in field populations of *Fusarium* species causing head blight in wheat. *Cereal Res. Comm.* **25**, 549-554.
- Schroeder HW, Christensen JJ (1963): Factors affecting resistance of wheat to scab caused by *Gibberella zeae*. *Phytopathology* **53**, 831-838.
- Schütze A (1999): Auftreten und biologische Charakterisierung von *Fusarium*-Arten im Weizenbau. Diss. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn 1999.
- Scott PR, Benedikz PW, Jones HG, Ford MA (1985): Some effect of canopy structure and microclimate on infection of tall and short wheats by *Septoria nodorum*. *Plant Pathology* **34**(4), 578-593.
- Singh RP, Ma H, Rajaram S (1995): Genetic analysis of resistance to scab in spring wheat cultivar Frontana. *Plant Disease* **79**, 238-240.
- Siranidou E, Buchenauer H (2001): Chemical control of head blight on wheat. *J. Plant Disease and Protection* **108**(3), 231-243.
- Snijders CHA (1990a): Systemic fungal growth of *Fusarium culmorum* in stems of winter wheat. *J. Phytopathology* **129**(2), 133-140.
- Snijders CHA (1990b): Genetic variation for resistance to *Fusarium* head blight in bread wheat. *Euphytica* **50**, 171-179.

- Snijders CHA (1990c): Response to selection in F2 generations of winter wheat for resistance to head blight caused by *Fusarium culmorum*. *Euphytica* **50**, 163-169.
- Snijders CHA, Perkowski J (1990): Effect of head blight caused by *Fusarium culmorum* on toxin content and weight of wheat kernels. *Phytopathology* **80**(6), 566-570.
- Snijders CHA, Krechting CH (1992): Inhibition of deoxynivalenol translocation and fungal colonization in *Fusarium* head blight resistant wheat. *Canadian J. Botany* **70**(8), 1570-1576.
- Snijders CHA (1994): Breeding for resistance to *Fusarium* in wheat and maize. In: *Mycotoxins in grain: compounds other than aflatoxin*, ed. by Miller JD and Trenholm HL. Eagan Press, St. Paul, Minnesota, 37-58.
- Stack RW, Horst RK and Langhans RW (1986): Effects of nitrogen and potassium fertilization on infection of florists carnations by *Gibberella zeae*. *Plant Disease* **70**(1), 29-31.
- Steinbrenner K (1996): Über die Wirkung ackerbaulicher Maßnahmen auf das Bodenleben. Habilitationsschrift der Landw.-Gärtn. Fakultät der Humboldt-Univ. Berlin 1996.
- Strange RN, Smith H (1971): A fungul growth stimulant in anthers which predisposes wheat to attack by *Fusarium graminearum*. *Physiological Plant Pathology* **1**, 141-150.
- Sturz AV, Johnson HW (1983): Early colonisation of wheat and barley by *Fusarium poae*. *J. Plant Pathology* **5**, 30-34.
- Sutton JC (1982): Epidemiology of wheat head blight and maize ear rot caused by *Fusarium graminearum*. *Canadian J. Plant Pathology* **4**, 195-209.
- Sydenham EW, Thiel PG, Marasas WFO, Shephard GS, van Schalkwyk DJ, Koch KR (1990): Natural occurrence of some *Fusarium* mycotoxins in corn from low and high esophageal cancer prevalence areas of the Transkei, Southern Africa. *J. Agricultural and Food Chemistry* **38**(10), 1900-1903.
- Teich AH, Nelson K (1984): Survey of *Fusarium* head blight and possible effects of cultural practices in wheat fields in Lambton County in 1983. *Can. Plant Dis. Surv.* **64**(1), 11-13.
- Teich AH, Hamilton JR (1985): Effect of cultural practice, soil phosphorus, potassium and pH on the incidence of *Fusarium* head blight and deoxynivalenol levels in wheat. *Applied and Environmental Microbiology* **49**(6), 1429-1431.

- Thalmann A (1986): *Fusarium*-Toxine in Futtermitteln und Lebensmittelrohstoffen. Agrar- und Umweltforschung in Baden-Württemberg **14**, Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Thrane U (1988): Screening for fusarin C production by european isolates of *Fusarium* species. Mycotoxin Research **4**(1), 2-10.
- Thrane U (2000): Mykotxin producing *Fusarium* species occurring in Danish cereals. Proceedings of the 17th Danish Plant Protection Conference II, DJF-rapport **24**, 165-169.
- Thrane U (2001): Development in the taxonomy of *Fusarium* species based on secondary metabolites. In: *Fusarium* - Paul E. Nelson Memorial Symposium, ed. by Summell BA, Leslie JF, Backhouse D, Bryden WL and Burgess LW. The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, USA, 29-49.
- Torp M, Langseth W (2000): Production of T-2 toxin by a *Fusarium* resembling *Fusarium poae*. Mycopathology **147**(2), 89-96.
- Ueda S, Yoshizawa T (1988): Effect of thiophanate methyl on the incidence of scab and the mycotoxin contamination in wheat and barley. Annals of the Phytopathological Society of Japan **54**(4), 476-482.
- Ueno Y (1985): The toxicology of mycotoxins. Critical Reviews in Toxicology **14**(2), 99-132.
- Van Ginkel M, Van der Schaar W, Zhuping Y, Rajaram S (1996): Inheritance of resistance to scab in two wheat cultivars from Brazil and China. Plant Disease **80**(8), 863-867.
- Voss KA (1990): Toxins from *Fusarium moniliforme*, a common fungus in corn. Veterinary and Human Toxicology **32**(Supplement), 57-63.
- Wainwright A, Jeitner J, Cazin-Bourguignon P (1992): Reduction in the wheat ear disease complex with tebuconazole sprays. Proceedings of the 1992 Brighton Crop Protection Conference. BCPC Publication, Farnham, UK, **2**, 621-626.
- Waldron BL, Moreno-Sevilla B, Anderson JA, Stack RW, Froberg RC (1999): RFLP mapping of QTL for *Fusarium* head blight resistance in wheat. Crop Science **39**, 805-811.
- Walker F, Meier B (1998): Determination of the *Fusarium* mycotoxins nivalenol, deoxynivalenol, 3-acetyldeoxynivalenol, and 15-O-acetyl-4-deoxynivalenol in contaminated whole wheat flour by liquid chromatography with diode array detection and gas chromatography with electron capture. J. AOAC International **81**(4), 741-748.

- Wang YZ, Miller JD (1988): Effects of *Fusarium graminearum* metabolites on wheat tissue in relation to *Fusarium* head blight resistance. J. Phytopathology **122**(2), 118-125.
- Weaver GA, Kurtz HT, Behrens JC, Robin TS, Seguin BE, Bates FY, Mirocha CJ (1986): Effect of zearalenone on dairy cows. Amer. J. Vet. Res. **47**, 1826-1828.
- Wiese MV (1985): Compendium of Wheat Diseases. Amer. Phytopath. Society, St. Paul.
- Windels CE, Windels MB, Kommedahl T (1976): Association of *Fusarium* species with picnic beetles on corn ears. Phytopathology **66**, 328-331.
- Winter W, Bänziger I, Krebs H, Rügger A (1997): Warm- und Heißwasserbehandlung gegen Auflaufkrankheiten. Agrarforschung **4**(11-12), 467-470.
- Wosnitza A (2000): Verbesserung der *Fusarium*-Resistenzbewertung bei Weizen. Bodenkultur und Pflanzenbau **4**(3), 59-75.
- Yi C, Kaul HP, Kübler E, Aufhammer W (2000): Methodological problems in field investigations on *Fusarium graminearum* infection of wheat. J. Plant Disease and Protection **107**(6), 583-593.
- Yli-Mattila T, Paavanen-Huhtala SM, Bulat SA, Alekhina IA, Nirenberg HI (2000): Molecular and phylogenetic analysis of the *Fusarium avenaceum* / *F. arthrosporioides* / *F. tricinctum* species complex. Mitt. der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem **377**, 20.
- Yu YJ (1982): Monosomic analysis for scab resistance and yield components in the wheat cultivar Soo-moo-3. Cereal Res. Comm. **10**, 185-190.
- Yu YJ (1991): Genetic analysis of scab resistance in wheat cultivars Pinghujianzimai, Honghudataibao, Chongyangmai, Yangangfangzhou and Wannian 2. Acta Agron Sinica **1**, 248-254.
- Zimmermann G (2000): Pilze noch lange nicht im Griff. DLG-Mitteilung **6**, 13-15.

7 Anhang

Tab. 1A: Einfluss eines Wachstumsregulators und einer Fungizidbehandlung auf die Befallshäufigkeit der Körner verschiedener Weizensorten mit *M. nivale* (MNIV) und *Fusarium* spp. (FSPP) ebenso wie auf das TKG und den Flächenertrag. Zusätzlich wurden von behandelten Pflanzen morphologische Daten wie Pflanzenlänge, Abstand Fahnenblatt – Ähre und D-Wert (Maß für die Dichte der Ähre) erfasst, Hennef 1999.

Beh.	unbehandelt				
Sorte	MNIV [%]	FSPP [%]	TKG [g]	Ertrag [dt/ha]	Länge [cm]
Asketis	2,5	6,0	58,7	88,0	90,5
Aspirant	1,0	2,5	49,8	79,7	84,6
Atlantis	2,0	10,5	47,0	73,3	79,4
Dream	0	6,5	42,4	78,2	90,9
FR 438/14	0,5	20,0	51,2	79,6	74,5
FR 444/06	0,5	23,5	53,7	73,5	74,2
Glockner	0,5	11,5	52,3	71,7	87,8
Hanseat	0	24,0	52,5	69,6	71,4
Kanzler	1,5	2,5	49,4	75,9	90,6
Ludwig	1,5	2,5	56,2	78,7	98,3
Mewa	1,5	5,5	55,8	93,5	86,1
Motiv	1,0	4,0	51,3	86,1	80,5
Optimus	0,4	4,0	54,2	83,2	89,8
Renan	0,5	7,5	58,7	70,0	76,4
WW 2628	2,5	5,0	54,3	76,6	82,3

Beh.	Wachstumsregulator, 1 x Fungizidbehandlung						
Sorte	MNIV [%]	FSPP [%]	TKG [g]	Ertrag [dt/ha]	Länge [cm]	Abstand F- Ähre [cm]	D-Wert
Asketis	2,0	9,0	57,2	89,9	83,3	10,9	22,4
Aspirant	0	6,0	52,6	94,3	82,2	10,9	24,3
Atlantis	0	6,0	48,8	98,7	79,4	9,9	21,0
Dream	0	8,5	42,0	71,3	82,9	16,8	27,4
FR 438/14	0	21,0	52,2	92,6	69,9	8,2	27,1
FR 444/06	0,5	43,0	55,0	81,5	69,3	9,0	23,3
Glockner	0,4	7,2	49,5	71,5	86,1	10,0	21,5
Hanseat	1,5	18,0	53,8	67,7	65,4	5,3	29,2
Kanzler	0	7,0	49,1	80,3	80,0	12,2	22,8
Ludwig	1,0	5,0	54,5	83,1	87,3	13,8	23,5
Mewa	0,5	12,0	53,5	92,9	78,6	7,9	22,7
Motiv	0	7,5	51,0	83,7	78,1	10,3	22,0
Optimus	1,5	7,0	53,5	77,0	81,7	10,6	24,5
Renan	1,0	14,0	54,1	71,2	72,0	5,1	22,6
WW 2628	1,0	6,0	56,0	85,5	76,9	7,6	22,3

Tab. 2A: Einfluss einer Körnerinokulation (BBCH 39) und einer Sprühinokulation (BBCH 65) mit einem Gemisch aus vier *Fusarium*-Arten auf die Befallshäufigkeit der Körner verschiedener Weizensorten mit *M. nivale* (MNIV) und *Fusarium* spp. (FSPP) sowie auf das TKG, den Flächenertrag, die Stärke des Ährenbefalls (%Weißährigkeit) und den Nivalenolgehalt der Körner, Hennef 1999.

Beh. Wachstumsregulator, 1 x Fungizidbehandlung, Körnerinokulation BBCH 30								
Sorte	MNIV [%]	FSPP [%]	TKG [g]	Ertrag [dt/ha]	TKG rel. zu nicht inok.	Ertrag rel. zu nicht inok.	Weißährigkeit [%]	NIV [µg/g]
Asketis	1,0	8,0	57,6	75,1	101	83	0	- ¹
Aspirant	0	5,0	59,5	72,5	113	77	0	-
Atlantis	1,3	6,7	58,0	51,5	119	52	0	0
Dream	0	1,3	59,3	66,8	141	94	0	-
FR 438/14	0	10,0	51,8	70,0	99	76	0,5	-
FR 444/06	0	4,0	56,2	68,6	102	84	0,5	0
Glockner	0	10,0	57,6	66,6	116	93	0,5	0
Hanseat	0	10,0	49,0	66,9	91	99	3,0	0,230
Kanzler	0	41,0	56,9	67,7	116	84	0	0
Ludwig	2,0	24,0	52,8	42,9	97	52	0	0,600
Mewa	0	25,0	52,3	74,4	98	80	0	-
Motiv	0	23,0	50,6	64,8	99	77	0	-
Optimus	0	18,0	47,0	55,0	88	71	3,0	-
Renan	0	3,3	57,0	76,1	105	107	0	-
WW 2628	0	10,0	56,4	60,6	101	71	0	-

Beh. Wachstumsregulator, 1 x Fungizidbehandlung, Sprühinokulation BBCH 65								
Sorte	MNIV [%]	FSPP [%]	TKG [g]	Ertrag [dt/ha]	TKG rel. zu nicht inok.	Ertrag rel. zu nicht inok.	Weißährigkeit [%]	NIV [µg/g]
Asketis	0	81,0	53,9	72,5	94	81	17,5	-
Aspirant	0	73,0	48,0	38,4	91	41	12,5	-
Atlantis	0	56,0	46,3	64,6	95	66	0,5	1,516
Dream	0	31,3	37,4	58,0	89	81	0	-
FR 438/14	0	88,0	47,0	41,6	90	45	62,5	-
FR 444/06	0	85,0	52,2	39,7	95	49	17,5	5,439
Glockner	1,0	47,0	49,2	45,3	99	63	5,3	-
Hanseat	0	91,0	49,1	39,5	91	58	87,5	12,955
Kanzler	0	75,0	43,9	50,0	89	62	3,0	5,682
Ludwig	0	89,0	48,2	47,1	88	57	7,5	6,369
Mewa	0	79,0	51,9	56,2	97	60	3,0	-
Motiv	1,0	76,0	48,9	42,2	96	50	3,0	-
Optimus	0	83,0	43,2	51,7	81	67	87,5	-
Renan	1,0	68,0	47,0	41,9	87	59	3,0	-
WW 2628	0	75,0	40,4	44,6	72	52	7,5	-

¹ nicht untersucht

Tab. 3A: Einfluss einer Beregnung und einer Sprühinokulation (BBCH 65) mit *F. culmorum* auf die Befallshäufigkeit der Körner verschiedener Weizensorten mit *M. nivale* (MNIV) und *Fusarium* spp. (FSPP) sowie auf das TKG, den Flächenertrag und die Stärke des Ährenbefalls (%Weißährigkeit). Bei nicht-beregneten Pflanzen wurden auch der Toxingehalte der Körner bestimmt, Meckenheim 2000.

Beh. ohne Inokulation, Beregnung BBCH 65 - 85					
Sorte	MNIV [%]	FSPP [%]	Weißährigkeit [%]	TKG [g]	Ertrag [dt/ha]
Atlantis	3,0	19,0	0	49,9	77,0
Bandit	1,0	50,0	0,5	47,3	86,4
FR 444/06	3,5	45,0	0,5	51,7	86,3
Hanseat	4,0	47,5	0,3	51,0	83,2
Kanzler	0,5	30,5	0,3	49,3	78,5
Ludwig	0,5	12,5	0,3	55,2	81,8

Beh. ohne Inokulation, ohne Beregnung								
Sorte	MNIV [%]	FSPP [%]	Weißährigkeit [%]	TKG [g]	Ertrag [dt/ha]	DON [µg/g]	3-Ac-DON [µg/g]	Länge [cm]
Atlantis	0,5	10,5	0	48,8	72,3	0	0	87,7
Bandit	0	33,0	< 0,5	50,6	79,5	0	0	72,7
FR 444/06	0	48,5	< 0,5	50,2	81,0	0	1,179	76,5
Hanseat	0	41,0	< 0,1	50,6	75,2	0	1,292	74,8
Kanzler	0,5	23,5	< 0,5	50,4	70,9	0	0	95,7
Ludwig	0	13,5	< 0,1	55,9	77,4	0	0	101,7

Beh. mit Inokulation B77 zu BBCH 65, mit Beregnung					
Sorte	MNIV [%]	FSPP [%]	Weißährigkeit [%]	TKG [g]	Ertrag [dt/ha]
Atlantis	0	95,0	5,0	30,1	52,4
Bandit	0	97,0	80,0	24,4	13,8
FR 444/06	0	94,5	30,0	42,6	62,3
Hanseat	0	97,0	25,0	19,4	8,1
Kanzler	0	94,5	90,0	31,1	41,7
Ludwig	0	95,5	25,0	38,9	52,5

Beh. mit Inokulation zu BBCH 65, ohne Beregnung							
Sorte	MNIV [%]	FSPP [%]	Weißährigkeit [%]	TKG rel. zu nicht inok.	Ertrag rel. zu nicht inok.	DON [µg/g]	3-Ac-DON [µg/g]
Atlantis	0	94,5	5,0	67,2	74,4	56,736	0,902
Bandit	0	98,0	50,0	54,3	41,7	85,537	4,349
FR 444/06	0	80,0	25,0	76,1	81,2	97,984	4,491
Hanseat	0	96,0	20,0	51,3	36,6	65,971	5,393
Kanzler	0	95,0	75,0	63,9	68,6	51,759	0,000
Ludwig	0	94,5	25,0	67,6	70,8	77,262	6,387

Tab. 4A: Befallshäufigkeit der Körner verschiedener Weizensorten mit *M. nivale* (MNIV) und *Fusarium* spp. (FSPP). An den unbehandelten Pflanzen wurden das TKG, der Flächenertrag und die Stärke des Ährenbefalls (%Weißährigkeit) ermittelt, Kerpen-Buir 2000.

Beh.	ohne CCC, ohne Fungizide				
Sorte	MNIV [%]	FSPP [%]	Weißährigkeit (%)	TKG [g]	Ertrag [dt/ha]
Atlantis	0	45,5	0,0	44,3	80,5
Bandit	0	90,5	0,9	40,6	65,3
FR 444/06	0	87,0	2,5	43,7	78,7
Hanseat	0	91,0	0,9	41,5	72,4
Kanzler	0	54,5	<0,5	42,1	65,3
Ludwig	0	39,5	<0,5	59,2	96,3

Tab 5A: Einfluss einer Ährenbehandlung auf die Befallshäufigkeit der Körner mit *M. nivale* (MNIV) und *Fusarium* spp. (FSPP) in Abhängigkeit von der Weizensorte und dem Standort. Die durchgeführten Behandlungen waren: 1 – unbehandelt, 2 – 2x Azol- und Strobilurin-haltige Blattfungizide schadschwellenorientiert appliziert + Metconazol zu BBCH 65, 3 – Behandlung 2 + Tebuconazol zu BBCH 71. Der Wirkungsgrad nach Abbott wurde in Relation zu den unbehandelten Pflanzen berechnet.

Jahr		1999			
Standort	Sorte	Beh.	MNIV [%]	FSPP [%]	Wirkungsgrad nach Abbott [%]
Nörvenich	Ritmo	1	0,5	38,5	
		4	0	14,5	38
		5	0	6,5	17
Titz	Ritmo	1	0	21,0	
		4	0	28,0	133
		5	0	20,0	95
Bergheim	Rialto	1	0	22,5	
		4	1,0	14,0	62
		5	0	14,0	62
Bergheim	Bandit	1	0	13,5	
		4	0	8,0	59
		5	0,5	3,5	26
Vluyn	Charger	1	0	46,5	
		4	0,5	28,0	60
		5	0	0,0	0
Gymnich	Soisson	1	0,5	13,0	
		4	0	3,5	27
		5	0,5	3,5	27

Tab 6A: Einfluss einer Fungizidbehandlung auf die Befallshäufigkeit der Körner mit *M. nivale* (MNIV) und *Fusarium* spp. (FSPP) in Abhängigkeit von der Weizensorte und dem Standort. Die durchgeführten Behandlungen waren: 1 – unbehandelt, 2 – 4x Azol- und Strobilurin-haltige Blattfungizide stadienorientiert appliziert, 3 – 2x Azol- und Strobilurin-haltige Blattfungizide schadschwellenorientiert appliziert, 4 – Behandlung 3 + Metconazol zu BBCH 65, 5 – Behandlung 4 + Tebuconazol zu BBCH 71. Der Wirkungsgrad nach Abbott wurde in Relation zu den Pflanzen der Behandlung 3 berechnet.

Jahr		2000			
Standort	Sorte	Beh.	MNIV [%]	FSPP [%]	Wirkungsgrad nach Abbott [%]
Bergheim	Ritmo	1	0,5	26,0 b	
		2	0	31,5 b	
		3	0,5	28,0 b	
		4	0,5	36,0 b	-14
		5	1,0	43,0 a	-37
Bergheim	Greif	1	0	12,0 b	
		2	0,5	16,5 a	
		3	0	3,5 c	
		4	0	7,0 c	58
		5	0,5	6,0 c	64
Kerpen	Ritmo	1	1,5	54,0 b	
		2	0	69,5 a	
		3	0	55,5 a	
		4	0	51,5 a	26
		5	0	48,0 a	31
Kerpen	Flair	1	0	40,0 d	
		2	2,5	45,0 c	
		3	0,5	53,5 b	
		4	0	55,5 b	-23
		5	0	65,0 a	-44
Vluyn	Ritmo	1	0	15,5 d	
		2	1,0	31,5 b	
		3	0,5	37,5 a	
		4	0	25,5 c	19
		5	0	11,0 e	65
Vluyn	Flair	1	2,5	3,0 a	
		2	0	7,0 a	
		3	0,5	8,0 a	
		4	0,5	3,5 a	50
		5	1,0	3,0 a	57
Beckrath	Ritmo	1	1,5	11,0 a	
		2	1,0	15,0 a	
		3	1,5	16,5 a	
		4	0,0	8,5 a	43
		5	3,5	15,0 a	0

Fortführung Tab. 6A:

Jahr		2000			
Standort	Sorte	Beh.	MNIV [%]	FSPP [%]	Wirkungsgrad nach Abbott [%]
Beckrath	Hybnos	1	2,0	4,5 a	
		2	1,5	5,5 a	
		3	1,0	5,5 a	
		4	2,0	6,5 a	-18
		5	0,5	8,5 a	-55
Erfstadt	Ritmo	1	4,5	8,0 a	
		2	3,0	13,5 a	
		3	2,5	12,5 a	
		4	7,0	14,0 a	-4
		5	6,5	9,5 a	30
Erfstadt	Monopol	1	0,5	30,5 c	
		2	0	47,5 a	
		3	1,0	39,0 b	
		4	5,5	27,5 c	42
		5	5,5	10,0 d	79
Mettmann	Ritmo	1	3,5	7,0 a	
		2	4,0	5,0 a	
		3	1,5	5,0 a	
		4	1,5	3,0 a	40
		5	3,0	4,0 a	20
Mettmann	Greif	1	0,5	5,5 a	
		2	1,5	7,0 a	
		3	2,5	6,5 a	
		4	2,0	2,0 a	71
		5	2,5	6,0 a	14
Titz	Ritmo	1	0,5	11,0 c	
		2	0	26,5 b	
		3	0,5	45,0 a	
		4	0	30,0 b	-13
		5	0	29,5 b	-11
Titz	Hybnos	1	0,5	4,5 a	
		2	0	6,5 a	
		3	0	8,5 a	
		4	0	13,0 a	-100
		5	0	12,5 a	-92

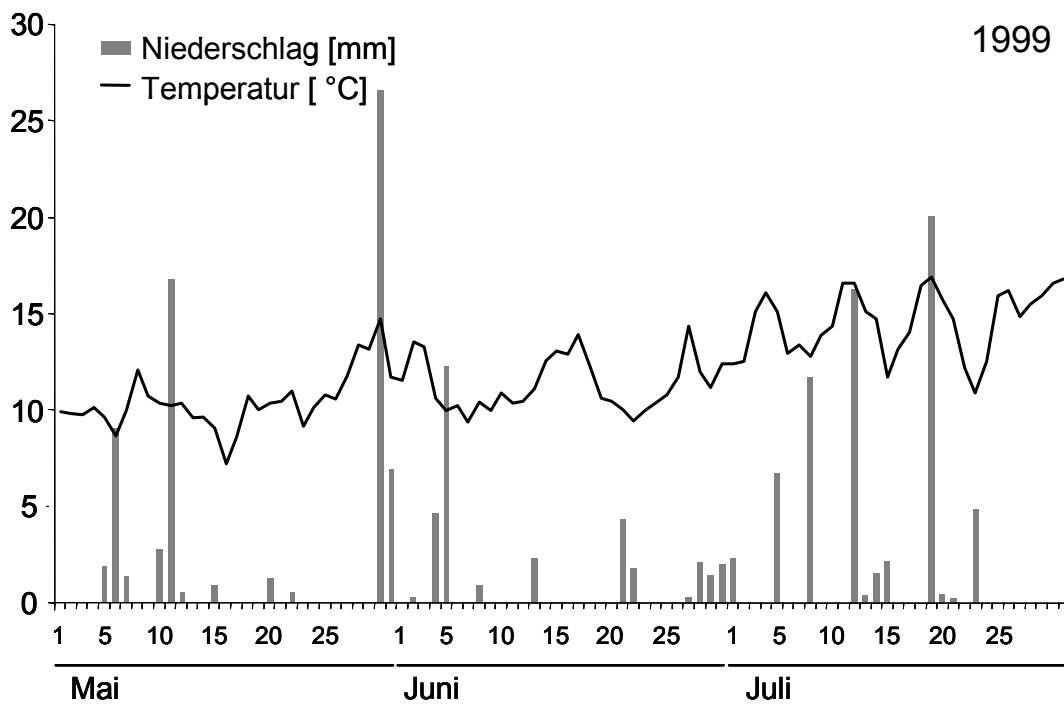
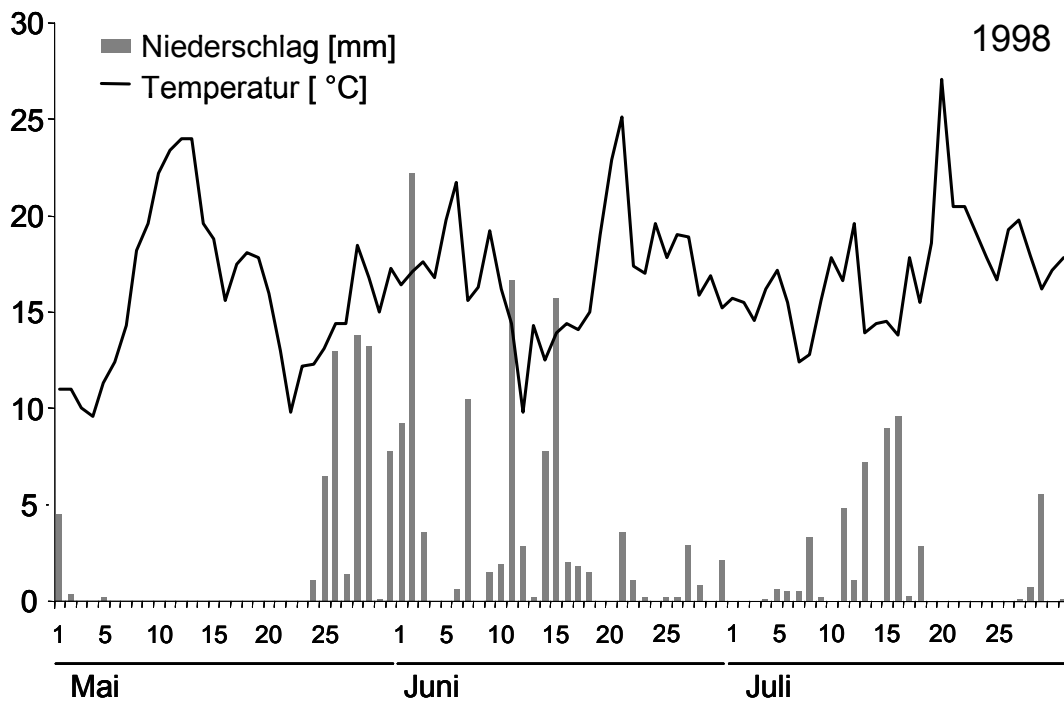


Abb. 1A: Niederschlag und durchschnittliche Tagestemperatur von Mai bis Juli in Kerpen-Buir in den Jahren 1998 und 1999.

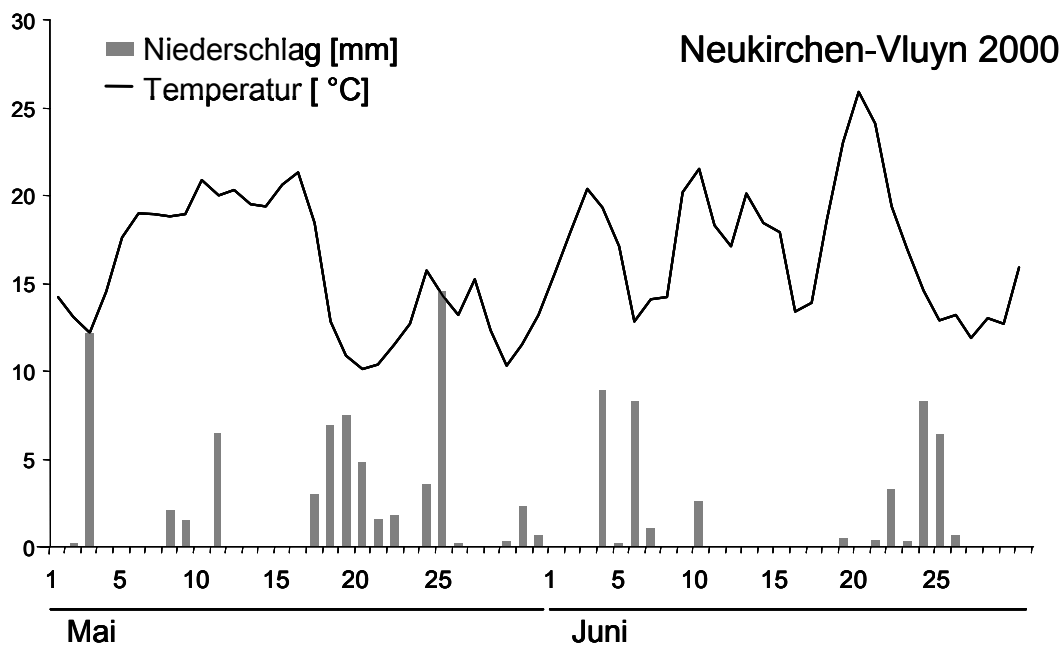
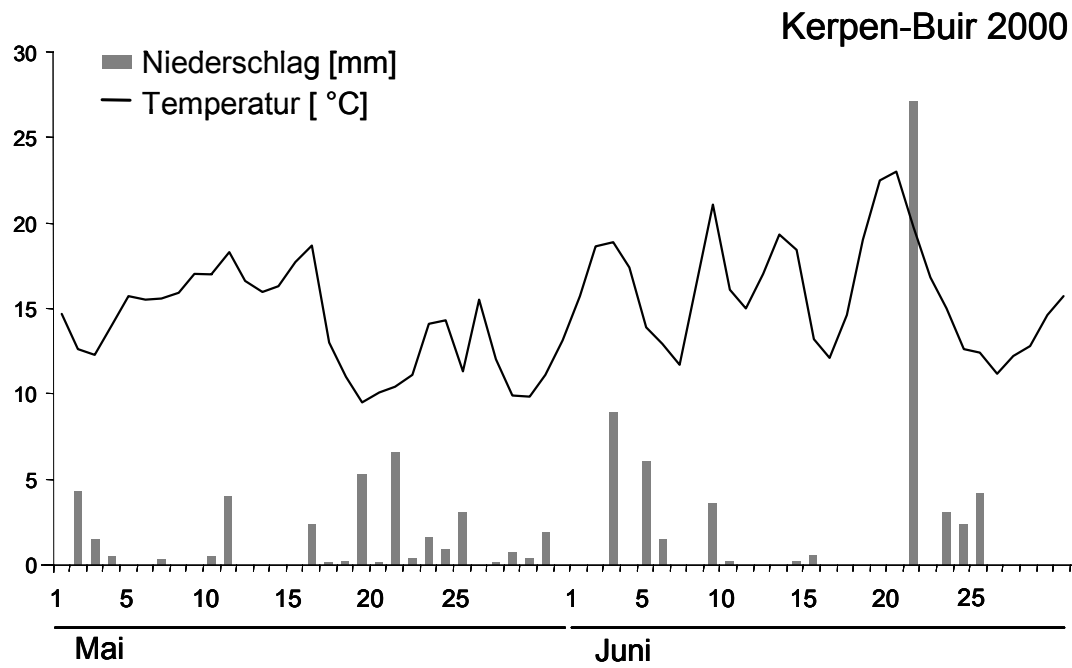


Abb. 2A: Niederschlag und durchschnittliche Tagestemperatur von Mai und Juni in Kerpen-Buir und Neukirchen-Vluyn im Jahr 2000.

An dieser Stelle möchte ich allen denen meinen herzlichen Dank aussprechen, die mir zum Gelingen der vorliegenden Arbeit beigetragen haben.

Herrn Prof. Dr. H.-W. Dehne für die Überlassung des Themas und das ständige Interesse an dieser Arbeit sowie das mir entgegengebrachte Vertrauen und die vielen anregenden Diskussionen.

Herrn Prof. Dr. J. Léon vom Institut für Pflanzenbau der Universität Bonn danke ich für das Interesse an meiner Arbeit und die Übernahme des Korreferates.

Ebenso gilt mein Dank Frau Prof. Dr. B. Petersen vom Institut für Anatomie, Physiologie und Hygiene der Tiere der Universität Bonn für die Bereitschaft zum Prüfungsvorsitz.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. E.-C. Oerke für die zahlreichen anregenden und auch kritischen Diskussionen, die wir in den letzten Jahren geführt haben und dafür, dass er bei Fragen und Problemen stets ein offenes Ohr hatte.

Den studentischen Hilfskräften, besonders Carmen Mühlenborn, die mich bei den Routinearbeiten im Labor tatkräftig unterstützt haben möchte ich Danke sagen.

Ich bedanke mich des weiteren bei der Landwirtschaftskammer Bonn für die Bereitstellung von Probenmaterial und für die unterstützende Hilfe bei der Durchführung von Feldversuchen.

Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts für Pflanzenkrankheiten danke ich für die angenehme und kollegiale Arbeitsatmosphäre, besonders denen, die mir während der Freilandsaison bei den kleinen oder auch großen Aktionen zur Hilfe standen. Martin Heger danke ich ebenfalls für die Überlassung von Probenmaterial aus den IPS-Versuchen.

Anne Faupel und Claudia Metz danke ich für das Korrekturlesen dieser Arbeit.

Die Arbeit wurde mit finanzieller Unterstützung des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz in Düsseldorf durchgeführt.