

Forschungsbericht

Nr. 104

Infektion und Ausbreitung von *Fusarium* spp. an Weizen in Abhängigkeit der Anbaubedingungen im Rheinland

Verfasser:

Kerstin Lienemann, Erich-Christian Oerke und Heinz-W. Dehne

Institut für Pflanzenkrankheiten

Herausgeber: Lehr- und Forschungsschwerpunkt „Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft“, Landwirtschaftliche Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Endenicher Allee 15, 53115 Bonn
Tel.: 0228 – 73 2297; Fax.: 0228 – 73 1776
www.usl.uni-bonn.de

Forschungsvorhaben im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
Bonn, Mai 2003

ISSN 1610-2460

Projektleitung: Prof. Dr. Heinz-W. Dehne

Projektbearbeiter: Dipl. Agr. Biol. Kerstin Lienemann
Dr. Erich-Christian Oerke

Institut für Pflanzkrankheiten
Nussallee 9
53115 Bonn
Tel.: 0228 - 73 2443

Zitiervorschlag:

LIENEMANN, K., OERKE E.-C. UND H.-W. DEHNE (2003): Infektion und Ausbreitung von *Fusarium* spp. an Weizen in Abhängigkeit der Anbaubedingungen im Rheinland. Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn, Schriftenreihe des Lehr- und Forschungsschwerpunktes USL, 104, 120 Seiten.

Verzeichnis der Abkürzungen

°C	Grad Celsius
a.i.	Wirkstoff (<u>a</u> ctive <u>i</u> ngredient)
Ac-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	Stunde(n)
ha	Hektar
hpi	Stunden nach der Inokulation (<u>h</u> ours <u>p</u> ast <u>i</u> noculation)
kg	Kilogramm
l	Liter
min	Minute(n)
MW	Mittelwert
n	Anzahl Wiederholungen
N	Stickstoff
n.s.	nicht signifikant
NIV	Nivalenol
PDA	Potato-Dextrose-Agar
ppb	parts per billion [$\mu\text{g}/\text{kg}$]
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 der *Fusarium*-Arten

FSPP gesamt	Befall aller <i>Fusarium</i> -Arten 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>

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG.....	1
2	MATERIAL UND METHODEN	9
2.1	ORGANISMEN	9
2.1.1	Mikroorganismen.....	9
2.1.2	Pflanzen	10
2.2	KULTIVIERUNG UND INOKULATION DER <i>FUSARIUM</i> -ARTEN.....	12
2.2.1	Kulturmedien	12
2.2.2	Dauerkulturen	14
2.2.3	Herstellen des Inokulums.....	15
2.2.4	Inokulationsverfahren	16
2.2.4.1	Inokulation mit bewachsenen Körnern	16
2.2.4.2	Sprühinokulation	16
2.3	PFLANZENANZUCHT.....	17
2.3.1	Saatgutbehandlung.....	17
2.3.2	Anzucht unter kontrollierten Bedingungen.....	17
2.3.3	Untersuchungen im Freiland.....	17
2.4	BEFALLSERMITTLUNG.....	18
2.4.1	Erfassung der Befallshäufigkeit an den Pflanzenteilen.....	18
2.4.2	Erfassung des Inokulumpotenzials auf dem Blatt.....	18
2.4.3	Identifizierung der <i>Fusarium</i> -Arten.....	19
2.5	EINSTELLUNG DER INKUBATIONSBEDINGUNGEN	19
2.5.1	Relative Luftfeuchtigkeit und Temperatur.....	19
2.5.2	Niederschlag	19
2.5.3	Infektionszeitpunkt	20
2.6	NACHWEIS VON MYKOTOXINEN	20
2.6.1	Probenahme	20
2.6.2	Hochleistungsflüssigkeits-Chromatographie (HPLC).....	20
2.6.2.1	Probenaufarbeitung.....	20
2.6.2.2	Toxinbestimmung mittels HPLC	21
2.6.3	Kompetitiver Enzym-Immunoassay	22

2.6.3.1	Probenaufarbeitung.....	22
2.6.3.2	Durchführung des ELISA-Tests	23
2.7	VERSUCHSANLAGE IM FREILAND.....	23
2.7.1	Sortenversuche im konventionellen Anbau	23
2.7.1.1	Standorte.....	23
2.7.1.2	Sortenversuche.....	24
2.7.1.3	Versuchsanlage.....	26
2.7.2	Sortenversuche im ökologischen Anbau.....	26
2.7.2.1	Sorten.....	26
2.7.2.2	Versuchsanlage.....	27
2.7.3	Bekämpfungsversuche	31
2.7.3.1	Standorte.....	31
2.7.3.2	Fungizide	31
2.7.3.3	Versuchsanlage.....	32
2.7.4	Erfassung der Ertragsparameter	34
2.7.5	Erfassung der morphologischen Eigenschaften	34
2.8	STATISTISCHE AUSWERTUNG.....	35
3	ERGEBNISSE.....	36
3.1	AUFTRETEN VON <i>FUSARIUM</i> -ARTEN UND <i>MICRODOCHIUM NIVALE</i> AN WEIZEN	36
3.1.1	Befall im konventionellen Anbau	37
3.1.1.1	Versuchsjahr 1998	37
3.1.1.2	Versuchsjahr 1999	38
3.1.1.3	Versuchsjahr 2000	40
3.1.2	Befall im ökologischen Anbau.....	40
3.1.2.1	Winterweizen.....	40
3.1.2.2	Sommerweizen	44
	Vergleich ökologischer und konventioneller Anbau.....	45
3.1.2.3	Artenspektrum im Rheinland.....	46
3.1.3	Einfluss von Standort und Bewirtschaftungsform	50
3.1.3.1	Standorteinfluss	50
3.2	BEFALLSVERLAUF VON <i>FUSARIUM</i> SPP. AN WEIZEN.....	51
3.2.1	Ausbreitung an der Pflanze	51
3.2.1.1	Inokulumpotenzial auf der Blattoberfläche.....	51
3.2.1.2	Infektion des Blattes mit <i>Fusarium</i> -Arten	52
3.2.2	Einfluss der Umweltfaktoren	55
3.2.2.1	Relative Luftfeuchtigkeit und Temperatur.....	56
3.2.2.2	Niederschläge	57
3.2.2.3	Infektionszeitpunkt	60

3.3	EINFLUSS PFLANZENBAULICHER PARAMETER.....	61
3.3.1	Anbauintensität.....	61
3.3.2	Saadichte.....	63
3.3.3	Einfluss des Pflanzenphänotyps.....	64
3.3.3.1	Pflanzenlänge und Abstand Fahnenblatt-Ähre.....	65
3.3.3.2	Ährendichte.....	66
3.3.3.3	Fahnenblattstellung.....	66
3.4	EINFLUSS DES GENOTYPS.....	67
3.4.1	Vergleich unter Praxisbedingungen.....	67
3.4.2	Toxingehalt der Weizenkörner.....	69
3.4.3	Einfluss auf Ertragsparameter.....	72
3.4.3.1	Tausendkorngewicht.....	72
3.4.3.2	Flächenertrag.....	74
3.5	EINFLUSS EINER ÄHRENBEHANDLUNG MIT FUNGIZIDEN.....	74
4	DISKUSSION.....	80
5	ZUSAMMENFASSUNG.....	100
6	LITERATURVERZEICHNIS.....	104
7	ANHANG.....	113
8	LISTE DER PUBLIKATIONEN.....	119

1 Einleitung

Winterweizen ist mit einer Fläche von 2,85 Millionen Hektar in Deutschland die Getreideart mit dem größten Anbauumfang. Der Anbau entspricht 43 Prozent der gesamten Getreidefläche. Daher ist das Auftreten der Ährenfusariosen an Winterweizen, der unter den Getreidearten neben Hafer als besonders anfällig gilt, von großer Bedeutung (LEPSCHY VON GEISSENTHAL 1992). Dabei kommt der Besiedelung der Weizenähre durch diese Pilze eine besondere Bedeutung zu, da sie nicht nur zu Ertragsminderungen sondern auch zur Verschlechterung der Back-, Brau- und Saatgutqualität führen können (MIELKE & MEYER 1990). Darüber hinaus bilden viele *Fusarium*-Arten Mykotoxine, die mit dem Erntegut in die Nahrungskette gelangen können. Pilze der Gattung *Fusarium* besitzen ein breites Wirtsspektrum und können Wurzeln, Halmbasen und Blätter in jedem Stadium der Entwicklung von Getreidepflanzen befallen. Sie verursachen aber vor allem an der Ähre Ertragsverluste durch verminderte Kornzahl und Kümmerkornbildung. Für das Pilzwachstum befallsfördernde Bedingungen wie niederschlagsreiche Frühsommer führten im Weizenanbau in Nordamerika Mitte der 90er-Jahre zu mengenmäßigen Ertragsverlusten von schätzungsweise durchschnittlich 40% (MCMULLEN *et al.* 1997).

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) berichteten aber auch von einer starken Ausbreitung von *F. culmorum* in Deutschland seit Mitte der achtziger Jahre. Untersuchungen von SCHÜTZE (1999) weisen auf ein starkes Auftreten von *F. avenaceum* und *F. poae* im Rheinland hin. Auch in den Niederlanden wird der Ährenbefall an Weizen hauptsächlich durch *F. culmorum* und in einem geringeren Ausmaß von *F. graminearum* verursacht (SNIJDERS & PERKOWSKI 1990). In Dänemark und Norwegen wurde neben *F. avenaceum*, *F. poae* und *F. culmorum* auch häufig *F. tricinctum* von den Körnern isoliert (KOSIAK *et al.* 1997, LANGSETH *et al.* 1997, THRANE 2000). 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 1999, OBST & BECHTEL 2000).

Verschiedene *Fusarium*-Arten sind als Mykotoxinbildner bekannt. Nach PARRY *et al.* (1995) kann der Ährenbefall des Getreides durch mindestens 17 verschiedene *Fusarium*-Arten verursacht werden. 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. avenaceum* produziert die Toxine Moniliformin und Fusarin C (CHELKOWSKI *et al.* 1990, THRANE 1988). *F. culmorum* und *F. graminearum* gehören dagegen zu den Trichothecen-bildenden *Fusarium*-Arten. Bei den Trichothecenen wird zwischen dem Typ A (HT2-Toxin, T2-Toxin, Diacetoxyscirpenol, etc.) und dem B-Typ (Deoxynivalenol, Nivalenol und deren acetylierte Derivate) unterschieden. Beide *Fusarium*-Arten bilden die Toxine des A-Typs. *F. graminearum* wird des Weiteren die Bildung von HT2-Toxin zugeschrieben. Zearalenon und Fusarin C wird wiederum von beiden Arten produziert (MARASAS *et al.* 1984). *F. tricinctum* bildet verschiedene sekundäre Metabolite u.a. das Mykotoxin Fusarin C und Nivalenol (LEE & MIROCHA 1984, THRANE 1988). Zu den wichtigsten Mykotoxinen der gemäßigten Klimazonen gehören die Trichothecene Deoxynivalenol (DON), Nivalenol (NIV) und deren Derivate sowie die Zearalenone (ZEA). Der Nachweis von Trichothecenen erfolgt nach Aufreinigung mittels Gas-, Hochdruckflüssigkeits- oder Dünnschichtchromatografie (GC, HPLC, TLC) photometrisch bzw. mit Massenspektrometern oder in einem kompetitiven Enzym-Immunoassay (ELISA).

In der Bundesrepublik Deutschland existieren zum Schutz von Mensch und Tier bis jetzt nur Orientierungswerte für Höchstmengen von Mykotoxinen. 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 2000 b). 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 für andere Tiere. In den USA existiert ein Grenzwert von 5 mg DON/kg Futtergetreide, welches bei Schweinen jedoch maximal 20 % der Gesamtration ausmachen darf, so dass die Endration nicht stärker als mit 1 mg/kg belastet ist. Bei allen anderen Tieren ist eine Endbelastung von 2 mg/kg zugelassen.

Für ZEA gibt die Europäische Kommission eine tolerierbare tägliche Aufnahmemenge (TDI – tolerable daily intake) 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 von 1 µg DON/kg Körpergewicht festgelegt (EUROPEAN COMMISSION

1999). Getreideproben aus dem konventionellen Anbau waren im Jahr 1998 in 43 % der Fälle so stark mit DON belastet, dass sie diesen TDI-Wert überschritten, wenn der durchschnittliche Getreideverzehr zu Grunde gelegt wird (DOLL *et al.* 2002). Bei Weizenproben aus dem organischen Anbau traf dies in 37 % der Fälle zu.

Die höchsten DON-Gehalte wurden in Körnern der Kornfraktion von < 2,5 bzw. 2,2 mm gefunden. Der Gehalt an DON in Körnern > 2,5 mm war dagegen sehr gering (CHELKOWSKI & PERKOWSKI 1992). In den Erntejahren 1988 bis 1994 wurden 3000 norwegische Gersten-, Hafer- und Weizenproben auf ihren DON-, 3-Acetyl-DON (3-Ac-DON)- und Nivalenol-Gehalt untersucht. Dabei wurde in Haferproben signifikant mehr DON nachgewiesen als in Gersten- und Weizenproben (LANGSETH & ELEN 1996). 4 Monate altes Getreide aus Lagerbeständen bayerischer Landwirte wies eine DON-Belastung von 0,3 mg/kg (Median) und eine ZEA-Belastung von 9,5 µg/kg (Median) auf. Untersuchungen in Österreich ergaben, dass 33% der untersuchten Futtermittelproben über dem für Zuchtsauen festgelegten Richtwert von 0,5 mg DON/kg lagen (HOCHSTEINER & SCHUH 2000). Auch berichten diese Autoren, dass von allen untersuchten Futtermittelproben Mais, Maissilage und Sauenalleinfuttermittel die mit den prozentuell höchsten Konzentrationen waren. Fütterungsversuche mit Schweinen zeigten, dass bereits eine DON-Konzentration von 0,01-0,05 mg je kg Körpergewicht Erbrechen auslösen kann (SCHWEIGHARDT 1981). DON-Gehalte von 1 mg/kg in der Ration verminderten die Gewichtszunahme beim Schwein (LEPSCHY VON GEISSENTHAL 1992).

Untersuchungen von MÜLLER *et al.* (1994) zeigten, dass Weizenkörner weniger Ergosterol als Indikator für die Intensität eines Pilzbefalls enthielten als die gewonnene Kleie. Die Anreicherung in der Kleie erklärt sich daraus, dass das Pilzmyzel im Korn in den äußeren Schichten lokalisiert ist. DON und ZEA wurden in Kleie häufiger in höheren Konzentrationen gefunden als in Weizen. Es wurde empfohlen, Weizenkleie in Futterrationen für Schweine und bei der menschlichen Ernährung restriktiv einzusetzen (MÜLLER *et al.* 1994). Auch USLEBER *et al.* (2000) fanden in kommerziellen Weizenkleieprodukten aus dem Jahr 1999 eine mediane DON-Belastung von 0,86 mg/kg vor, während im Vollkornmehl diese Belastung bei 0,31 mg/kg, in Weizenmehl (Typ 405) bei nur 0,2 mg/kg lag.

Die Infektion der *Fusarium*-Pilze verläuft über am Boden vorhandenes Inokulum, welches den Winter über als saprophytisches Myzel oder als dickwandige Dauersporen (Chlamydosporen) auf Pflanzenrückständen wie z.B. Stoppelreste überdauert. Die Ausbreitung im Weizenbestand erfolgt im Frühjahr, wenn bei entsprechender Witterung, genügender Feuchtigkeit und höheren Temperaturen die Reproduktion der Pilze einsetzt. Die Infektion der Weizenpflanzen geht über vegetativ gebildete Konidiosporen bzw. bei

Fusarium-Arten, die auch eine Hauptfruchtform ausbilden wie *Gibberella zeae* (Nebenfruchtform: *F. graminearum*), über sexuell gebildete Ascosporen vonstatten. Für die Ausbreitung an der Pflanze ist Spritzwasser wichtig, dadurch werden die Sporen auf höhere Blattetagen transportiert (JENKINSEN & PARRY 1994). Ascosporen können dagegen aus den an organischer Substanz auf dem Boden gebildeten Perithezien (Fruchtkörper) ausgeschleudert werden und die Ähre direkt infizieren. 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 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).

Der *Fusarium*-Befall von Weizen ist hauptsächlich vom Standort und der dort zum Zeitpunkt der Blüte vorherrschenden Witterung abhängig (LEPSCHY VON GEISSENTHAL 1992). Von hohem Infektionsrisiko ist vor allem dann auszugehen, wenn das anfällige Entwicklungsstadium des Weizens – die Blüte – mit Infektions-begünstigenden Witterungsabschnitten zusammentrifft. Des Weiteren sind die Fruchtfolge und die Bodenbearbeitung von Bedeutung. Probleme mit *Fusarium*-Befall in Weizen, insbesondere mit erhöhten DON-Gehalten, treten vor allem dort auf, wo dieser nach Mais angebaut wird (BECK & LEPSCHY VON GEISSENTHAL 2000, OBST *et al.* 1990). Die Ursache dafür ist die Art *F. graminearum*, ein bedeutender DON-Produzent, der sowohl Weizen als auch Mais befällt. Das Gefährdungspotential von Körnermais ist dabei noch größer als das von Silomais, da dieser später geerntet wird und ein höherer Anteil organischer Substanz auf dem Feld verbleibt. Andere Vorfrüchte wie Kartoffeln, Zuckerrüben und Weizen führten nicht zu erhöhten DON-Gehalten im Weizenanbau (LEPSCHY VON GEISSENTHAL 1992, WEGNER & WOLF 1995). Ein hoher Anteil von Blattfrüchten in der Fruchtfolge sowie 3-jährige Klee-grasvorfrucht können bei geringer Differenzierung den *Fusarium*-Befall ebenfalls verringern (ODÖRFER *et al.* 1996). Bei wendender Bodenbearbeitung (Pflug) tritt vermehrt *F. culmorum* auf. Nicht wendende Bodenbearbeitung fördern dagegen das Auftreten von *F. avenaceum*, *F. graminearum* und *Microdochium nivale* (WEGNER & WOLF 1995) bzw. die Kontamination mit Mykotoxinen (BECK *et al.* 1993). Das Unterpflügen von Pflanzenresten ist somit unbedingt erforderlich, um das Infektionspotential auf der Bodenoberfläche zu minimieren. Als Inokulumquelle für eine Infektion aller Pflanzenteile gelten somit vor allem mit *Fusarium* spp. besiedelte organische Reste von Gräsern, Getreide sowie Mais.

Weitere Inokulumquellen sind Ungräser und dort im Besonderen das Klettenlabkraut (MEIER *et al.* 2001), welches teilweise stärker mit *Fusarium* spp. befallen war als das umgebende Getreide. Auch sind Insekten als mögliche Inokulumquelle bekannt. MONGRAIN *et al.* (2000) stellten fest, dass Weizengallmücken Sporen von *F. graminearum* übertragen und dadurch den Kornbefall mit dieser Art um 30% erhöhen können. STURZ & JOHNSON (1983) brachten Thripse (*Lemothrips denticornis*) mit einer Übertragung der Sporen von *F. poae* an Gerstenähren in Verbindung. 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).

Kann der Pilz ein Ährchen erfolgreich infizieren, so wächst er inter- und intrazellulär in der Deckspelze, dem Korn und in der Spindel (SCHROEDER & CHRISTENSEN 1963, KANG & BUCHENAUER 1999). KANG & BUCHENAUER (1999) dokumentierten in histologischen Studien das Wachstum von *F. culmorum* im parenchymatischen und vaskulären Pflanzengewebe. Dringt das Hyphenwachstum bis in die Leitbündelgefäße der Spindel vor, so führt dies zu einer Reduktion oder vollständigen Unterbindung des Nährstoff- und Wassertransportes in der Ähre. Als Folge davon sind die Ausbildung von Kümmerkörnern und ein Ausbleichen der Ährchen zu beobachten, die sich oberhalb des infizierten Ährchens befinden. Das Symptom der ausgebleichten Ährchen wird als partielle Taubährigkeit beschrieben. Auch können benachbarte Ährchen durch systemisches Wachstum der *Fusarium*-Pilze innerhalb der Ähre infiziert werden. Histologische Studien belegen, dass sowohl *F. culmorum* als auch *F. graminearum*, sind sie erst einmal bis in die Spindel vorgedrungen, sich basi- und akropetal in dieser ausbreiten können (KANG & BUCHENAUER 1999, RIBICHICH *et al.* 2000). Untersuchungen über den Einfluss von Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit auf das Wachstum der verschiedenen *Fusarium*-Arten innerhalb der Ähre liegen nicht vor. Wahrscheinlich sind hier jedoch die Resistenz der Weizensorte sowie die Pathogenität der *Fusarium*-Art von ausschlaggebender Bedeutung (KLECHKOVSKAYA *et al.* 1998, RIBICHICH *et al.* 2000).

In diesem Zusammenhang seien auch die Mykotoxine genannt, welche von den *Fusarium*-Arten im Infektionsverlauf in der Ähre gebildet werden und möglicherweise bedeutend für die Entwicklung der Pilze in der Pflanze sind. MIEDANER *et al.* (2001) schließen aus Untersuchungen von 26 Isolaten von *F. graminearum* in zwei Umwelten, dass unter Feldbedingungen das Mykotoxin DON möglicherweise nicht der wichtigste Faktor für die Aggressivität dieser Art ist. Die Autoren begründen dies damit, dass keine Korrelation zwischen dem Verhältnis von Deoxynivalenol/Ergosterol zu den Aggressivitätsmerkmalen 'Ährenbonitur' und 'relatives Ährengewicht' vorlag. MANKA *et al.* (1985) führten

Inokulationsversuche mit Isolaten verschiedener *Fusarium*-Arten an Weizen und Triticale durch und schlussfolgerten, dass die Fähigkeit der *Fusarium*-Arten zur Mykotoxinbildung kein essentieller Faktor für die Pathogenese sei. MILLER & EWAN (1997) konnten zeigen, dass Trichothecene des B-Typs (DON, 3- und 15-Ac-DON und NIV) die Protein-Biosynthese in den Pflanzenzellen hemmen, indem sie sich an die Ribosomen haften. KANG & BUCHENAUER (1999) führten pathologische Veränderungen der pflanzlichen Zelle wie die Degeneration des Cytoplasmas und der Organellen sowie das Kollabieren parenchymatischer Zellen auf die Sekretion von Mykotoxinen durch *F. culmorum* zurück. Sie stellten die Vermutung auf, dass diese Toxine Abwehrreaktionen der pflanzlichen Zellen unterdrücken, da sie die Proteinsynthese der Pflanze hemmen.

Weizensorten unterscheiden sich in ihrer Anfälligkeit gegenüber Ährenfusariosen. Die Sortenwahl ist somit von großer Bedeutung für das Befallsgeschehen und kann vorbeugend die Wahrscheinlichkeit bzw. die Stärke des *Fusarium*-Befalls reduzieren. Bis heute ist jedoch keine absolut resistente Sorte bekannt, obwohl bereits ARTHUR (1891) bei Weizensorten eine genetische Variation in der Resistenz gegenüber Ährenfusariosen beobachtete. Weltweit wurden Quellen der *Fusarium*-Resistenz gefunden, wie z.B. in der chinesischen Sorte `Sumai #3` oder in der südamerikanischen Sorte `Frontana`. Die Resistenz gegenüber Ährenfusariosen ist polygener Natur, d.h. sie wird durch eine Anzahl von Genen kontrolliert (MENTEWAB 2000, SNIJDERS 1990a, VAN GINKEL *et al.* 1996). Die Anzahl der beteiligten Gene sowie deren Lokalisierung auf den Chromosomen sind jedoch noch unklar bzw. strittig. BAI *et al.* (1989), BUERSTMAYR *et al.* (1997), GRAUSGRUBER *et al.* (1998) und MENTEWAB *et al.* (2000) vermuten, dass drei oder vier Gene die Resistenz bestimmen, SNIJDERS (1990a) und VAN GINKEL *et al.* (1996) schätzten, dass zwei Gene an der Ausprägung der Resistenz beteiligt sind, während YU (1982) sogar über fünf Resistenzgene berichtete. Auch scheint die Ährenfusariosenresistenz nicht artspezifisch zu sein, zumindest was *F. graminearum* und *F. culmorum* betrifft (BÜRSTMEYR *et al.* 1999). Die Züchtung auf *Fusarium*-Resistenz erfolgt durch Selektion gering anfälliger Zuchtlinien (geringe Symptomausbildung), durch *in vitro*-Selektion oder durch Marker-gestützte Selektion. Bei den molekularbiologischen Techniken werden verschiedene DNA-Marker eingesetzt: RFLP (Restrictions-Fragment-Polymorphismen), AFLP (Amplifizierte-Fragment-Längen-Polymorphismen) und SSR (Mikrosatelliten)-Marker.

Zur direkten Bekämpfung eines *Fusarium*-Befalls der 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). Metconazol und Tebuconazol gehören zu der Gruppe der systemisch wirkenden Triazol-Fungizide. In der BRD erhielten erstmals 1998 die Präparate Folicur[®] (Tebuconazol) und Pronto PLUS[®] (Tebuconazol + Fenpropidin) sowie Caramba[®] (Metconazol) die Zulassung für die Indikation Ährenfusariosen. Der Wirkmechanismus der Triazole ist gekennzeichnet durch ein Eingreifen in den pilzlichen Stoffwechsel und dort in die Ergosterol-Biosynthese. Durch die Hemmung eines Demethylierungsschrittes wird das Hyphenwachstum des Pilzes unterbunden, was ihn letztlich abtötet (TAKANO 1986). Die Triazole können ins pflanzliche Gewebe diffundieren und auch dort noch nach erfolgter Infektion auf die Pilze einwirken. Untersuchungen über die systemische Verlagerung dieser Fungizide in der Ähre liegen jedoch nicht vor. *In vitro*-Untersuchungen an *F. culmorum* weisen darauf hin, dass Tebuconazol die DON-Produktion des Pilzes reduziert (KANG *et al.* 2001). Die Effektivität der Fungizide, die zur Kontrolle der Ährenfusariosen eingesetzt werden, ist stark von der Applikationsrate und der Terminierung der Fungizide abhängig (MAULER-MACHNIK & ZAHN 1994, MCMULLEN *et al.* 1997). Die Triazole können nur in einem engen Zeitfenster um den Infektionstermin auf die Ähren appliziert werden, um dort eine hohe Wirksamkeit (DON-Reduktion) zu erzielen. Die Wirkung von Strobilurin-haltigen Fungiziden hat zu sehr widersprüchlichen Untersuchungsergebnissen geführt, da in einigen 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).

Ziele des Forschungsvorhabens

Grundlage für gezielte Maßnahmen gegen den Ährenbefall mit *Fusarium*-Arten bzw. die Mykotoxinbelastung von Lebensmitteln sind genaue Kenntnisse über die Primärbesiedlung der Pflanzen, die Ausbreitung der Pathogene an und in der Pflanze sowie die Bedingungen für die Mykotoxinbildung. Diese Kenntnisse sollen in dem geplanten Vorhaben erarbeitet werden, um darauf aufbauend pflanzenbauliche und phytomedizinische Maßnahmen zur Verhinderung des *Fusarium*-Befalls der Ähren zu entwickeln bzw. vorhandene gezielt bzw. integriert einsetzen zu können.

Die Zusammensetzung der auftretenden *Fusarium*-Arten scheint neben der Witterung von vielen Standort-bedingten Faktoren abhängig zu sein. Es ist somit wichtig, Daten über potentielle Inokulumquellen wie auch über die weitere Epidemiologie der Erregerpopulationen für die unterschiedlichen Anbausituationen im Rheinland zu erfassen.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, den Ährenbefall unter Praxisbedingungen des rheinischen Getreideanbaus unter Berücksichtigung der Standortfaktoren Witterung, Anbauintensität und Sortenwahl zu untersuchen. Dabei wurde eine differenzierte Betrachtung des Auftretens und der Entwicklung von verschiedenen *Fusarium*-Arten, welche den Gesamtkomplex `Ährenfusariosen` verursachen, durchgeführt. In mikrobiologischen und mikroskopisch-histologischen Untersuchungen wurde die Ausbreitung und der Zeitpunkt der höchsten Infektionsgefahr in der Vegetationsperiode von *Fusarium culmorum*, *F. graminearum*, *F. avenaceum*, *F. poae* sowie anderer Arten an und im Pflanzengewebe erfasst. In Inokulationsversuchen mit den Erregern sollte die Anfälligkeit des Weizens in Abhängigkeit des Entwicklungsstadiums und der Sorte charakterisiert werden. Der Einfluss von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit auf die Besiedelung der Ähre wurde ebenfalls untersucht.

Die Wahl der Weizensorte stellt eine wichtige Möglichkeit dar, das Auftreten von Ährenfusariosen und die damit verbundene Mykotoxinbelastung des Erntegutes zu reduzieren. In Sortenversuchen wurde die Anfälligkeit unterschiedlicher Sorten, die auch im rheinischen Anbau von Bedeutung sind, in Abhängigkeit von genotypischen und phänotypischen Sortenmerkmalen untersucht.

Die chemische Bekämpfung mit Azol-Präparaten wird als weiteres Werkzeug zur *Fusarium*-Kontrolle diskutiert. Der Wirkungsgrad von zwei Azol-Fungiziden wurde an sieben Standorten an der *Fusarium*-anfälligen Sorte `Ritmo` untersucht. Um die Praxisnähe zu gewährleisten, wurden die Versuche unter denen im Rheinland vorherrschenden Befallssituationen bzw. in Kooperation mit der Landwirtschaftskammer Rheinland durchgeführt.

2 Material und Methoden

2.1 Organismen

2.1.1 Mikroorganismen

In den Jahren 1998 – 2000 wurden von Weizenkörnern und anderen Sprosssteilen aus Freilandversuchen verschiedene *Fusarium*-Arten sowie *Microdochium nivale* isoliert (Tab. 1). Zur gezielten Inokulation der Weizenpflanzen wurden Isolate aus einer Sammlung des Instituts für Pflanzenkrankheiten der Universität Bonn eingesetzt (Tab. 2). Diese Isolate wurden in einer dreijährigen Studie (1995 - 1997) im Rheinland von Weizenkörnern isoliert und charakterisiert (SCHÜTZE 1999). Nach MUTHOMI *et al.* (2000) ist das Isolat C 20 von *F. culmorum* hochvirulent und bildet *in vivo* das Mykotoxin Deoxynivalenol, während das Isolat C 8 als mittel-virulent eingestuft wurde und *in vivo* ausschließlich Nivalenol produziert. Das Isolat D 5 von *F. avenaceum* wurde nach einem Blattpathogenitätstest als moderat virulent eingestuft (SCHÜTZE 1999).

Tab. 1: 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. 2: Herkunft der *Fusarium*-Isolate, die in Inokulationsversuchen unter kontrollierten Bedingungen bzw. im Freiland verwendet wurden.

<i>Fusarium</i> -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) 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. Sommerweizen-Sorten 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 2000a) und nach WEINERT (pers. Mitteilung).

Sorte	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

(Fortsetzung Tab. 4)

Sorte	Qualitäts- gruppe	Pflanzen- länge	Lager	Ähren- <i>Fusarium</i>	Kornzahl/ Ähre	TKM	Kornertrag
Motiv	B	4	4	5	6	4	6
Optimus ²	-	-	-	-	-	-	-
Ornica	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	-	-	-	-	-	-	-
Soisson	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 keine Daten vorhanden ² in Österreich zugelassen

2.2 Kultivierung und Inokulation der *Fusarium*-Arten

2.2.1 Kulturmedien

Die aufgeführten Medien wurden bei $121 \pm 1^\circ\text{C}$ und 1 bar für 20 min autoklaviert und anschließend in Petrischalen mit einem Durchmesser von 9 cm ausgegossen (20 ml/Platte).

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

Sorte	Qualitätsgruppe	Pflanzenlänge	Lager	Ähren- <i>Fusarium</i>	Kornzahl/ Ähre	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 keine Daten vorhanden

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)

KH₂PO₄ 1 g
KNO₃ 1 g
MgSO₄ x 7 H₂O 0,5 g
KCl 0,5 g
Glucose 0,2 g
Saccharose 0,2 g
Agar-Agar (Sigma) 20 g
Aqua demin. 1000 ml

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 handwarmem, sterilem Aqua demin. gelöst und anschließend dem Agar zugegeben.

Penicillin	50 mg
Tetracyclin	50 mg
Streptomycin	50 mg
Rovral [®] (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 in diesem autoklaviert.

2.2.2 Dauerkulturen

Für die Dauerkulturen wurden autoklavierte Schraubdeckelröhrchen zur Hälfte mit PDA gefüllt und in schräger Lage abgekühlt. Um die Pathogenität 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 $121 \pm 1^\circ\text{C}$ 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 Pathogene 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 Dichte der Konidien suspension wurde mit Hilfe einer Fuchs-Rosenthal-Kammer auf 10^5 Konidien/ml eingestellt. In den Jahren 2000 und 2001 wurde der Sporensuspension 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. Isolatahän gig wurden die Kulturen für 2 – 4 Wochen auf einem Magnetrührer bei mittlerer Stufe inkubiert, um die Sauerstoffzufuhr zu gewährleisten und die Konidienproduktion anzuregen. Das Flüssigmedium wurde anschließend über vierfaches Mulltuch abfiltriert und mit Tween 80 auf eine Endkonzentration von 0,01 % gebracht. Da es sortenspezifisch zu unterschiedlichen Inokulationsterminen der Weizenähren kam, wurde das MB-Medium bei -80°C bis zu seiner Verwendung tiefgefroren. Ein Pathogenitätstest an Blattsegmenten in Feuchteschalen bestätigte die gleich bleibende Aggressivität der Isolate.

Anzucht auf Potato-Dextrose-Agar (PDA)

100 μl einer Konidien suspension wurde 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. Isolatahän gig 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 Myzel-bewachsenen Körner zu verhindern. Die Konidien wurden mit einer 0,01%igen Tween 80-Lösung von den Körnern abgeschwemmt.

2.2.4 Inokulationsverfahren

2.2.4.1 Inokulation mit bewachsenen Körnern

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

2.2.4.2 Sprühinokulation

Sprühinokulation unter kontrollierten Bedingungen

Falls nicht anders beschrieben, wurden die Ähren der Weizenpflanzen in den Gefäßen zum Zeitpunkt der Vollblüte (BBCH 65) mit Hilfe eines Pumpsprühgerätes inokuliert. Je Gefäß standen ca. 10 Ähren zur Verfügung, die sich im gewünschten Wachstumsstadium befanden. Diese wurden markiert und gegen Abend mit 25 ml Konidiensuspension besprüht. Anschließend wurden die inokulierten Pflanzen einmalig für 12 – 14 h mit Folie abgedeckt, um mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von 100 % optimale Inkubationsbedingungen zu gewährleisten.

Sprühinokulation im Freiland

Im Freiland wurden die Weizenähren zur Vollblüte (BBCH 65) mit einem Pumpsprühgerät mit 800 l/ha inokuliert. In Hennef erfolgte die Inokulation des Sortenversuchs am 02.06.99. Da die Weizensorten zu unterschiedlichen Zeitpunkten blühten fand im Jahr 2000 die Inokulation parzellenabhängig je nach Reife der Weizenpflanze zwischen dem 25.05.00 und dem 02.06.00 statt. Die Inokulation erfolgte gegen Abend bei mäßigen Temperaturen. Um die relative Luftfeuchtigkeit zu erhalten und so 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 Fludioxonil/l, Syngenta) gebeizt. Für den ökologischen Anbau wurde zertifiziertes Saatgut verwendet, das unbehandelt ausgesät wurde.

2.3.2 Anzucht unter kontrollierten Bedingungen

Die Anzucht des Wechselweizens `Ralle` erfolgte in einem Erdgemisch mit 120 l Klassmann Einheitserde, 60 l C-Horizont und 40 l Sand in 20 l-Mitscherlich-Töpfen. In jedem Gefäß wurden 20 Körner ausgesät und im Freiland in windgeschützter Lage angezogen. Nach der Inokulation standen die Pflanzen bis zur Ernte unter einem windgeschützten Offenstand mit einem lichtdurchlässigen Dach. Sie wurden täglich bewässert.

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, Bayer AG und Syngenta) bzw. mit Juwel[®] (1 l/ha, Epoxiconazol 125 g/l und Kresoxim-methyl 125 g/l, BASF AG) besprüht.

2.3.3 Untersuchungen im Freiland

Der Winterweizen wurde je nach Witterung und Standort im Oktober oder November mit einer Parzellen-Drillmaschine ausgesät. Die Stickstoffdüngung wurde schlagabhängig durchgeführt und während der Vegetationsperiode wurden Schadinsekten und -kräuter praxisüblich bekämpft. Ausführliche Beschreibungen der einzelnen Versuche sind unter 2.7 (Versuche im Freiland) aufgeführt.

2.4 Befallsermittlung

2.4.1 Erfassung der Befallshäufigkeit an den Pflanzenteilen

Blätter und ganze Ähren wurden während der Vegetationsperiode, Weizenkörner nach der Ernte mit 1,3 %igen Natriumhypochlorit 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 dem Selektivmedium 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. waren 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 stufigwachsendes Myzel mit typischen Randstrukturen, welche ihrer Form nach an Schneekristalle erinnern.

2.4.2 Erfassung des Inokulumpotenzials 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. Nach 30 min bei 150 U/min auf einem Schüttler wurden die Pflanzenteile 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 dekantiert und der Bodensatz jeweils auf 40, 12,5 bzw. 6 ml wieder mit Aqua demin. in den Zentrifugengläsern aufgefüllt. 4 x 100 µl der konzentrierten Suspension wurden auf CZID-Agar ausplattiert. Die Inkubation erfolgte wie unter 2.2.3 beschrieben.

2.4.3 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 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ unter langwelligem UV-Licht inkubiert. Die Differenzierung der *Fusarium*-Arten erfolgte lichtmikroskopisch 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 Einstellung der Inkubationsbedingungen

2.5.1 Relative Luftfeuchtigkeit und Temperatur

Unter kontrollierten Bedingungen wurde der Einfluss der relativen Luftfeuchtigkeit (rel. LF) und der Temperatur auf den Ährenbefall untersucht. Zur Blüte wurden Ähren der Weizensorte `Ralle` in Pflanztöpfen getrennt voneinander mit *F. avenaceum*, *F. poae*, *F. graminearum* oder *F. culmorum* inokuliert. Nach 14 Tagen wurden die Pflanzen für eine Woche in einer Klimakammer bei 80% oder 100% rel. LF und bei 15°C oder 25°C inkubiert. Im Anschluss daran wurden sie bis zur Ernte unter kontrollierten Bedingungen gehalten. Der Versuch wurde in vierfacher Wiederholung angelegt.

2.5.2 Niederschlag

Unter Freilandbedingungen wurden im Jahr 2000 in Meckenheim sechs verschiedene Winterweizensorten mit einer Über-Kopf-Beregnung vom Zeitpunkt der Blüte (29.05.00) bis zum Beginn der Abreife Anfang Juli täglich zwischen 22 – 6 Uhr in sechs Intervallen mit 2,4 mm/Nacht beregnet. Die Regner wurden zentral in einer Großparzelle aufgestellt und deckten mit ihrer Bewässerungsweite diese gesamt ab. Es wurden vier Großparzelle angelegt, die zum einen dem natürlichen Befallsdruck ausgesetzt waren (mit / ohne Beregnung) und zum anderen mit einer Konidiensuspension von *F. culmorum* (Isolat C 20) zu BBCH 65 sprühinokuliert wurden, ebenfalls einmal mit und einmal ohne Beregnung. Die beregneten Parzellen wurden so gelegt, dass bei Hauptwindrichtung keine Regenabdrift auf die unberegneten Parzellen erfolgte. Die Größe der nicht inokulierten Parzellen betrug $14,4 \text{ m}^2$, die der inokulierten Parzellen $7,1 \text{ m}^2$.

2.5.3 Infektionszeitpunkt

Der Versuch zum Infektionszeitpunkt der Ährenfusariosen wurde in einfacher Blockanlage ohne Wiederholung unter kontrollierten Bedingungen angelegt. Pro Gefäß wurden ca. 10 Weizenähren der Sorte `Ralle` zu BBCH 49 mit einer Konidien suspension der Isolate D 5 (*F. avenaceum*), C 20 (*F. culmorum*), G 8 (*F. graminearum*) oder B 1 (*F. poae*) besprüht. Dies wurde zu den BBCH-Stadien 65, 69 und 75 an anderen Pflanzen wiederholt. Die Kontrollpflanzen wurden nicht inokuliert. Um die Inkubationsbedingungen zu optimieren fand nach der Inokulation bis zur Ernte durchgängig eine Sprühnebelung der Ähren für 2 x 5 min pro Tag statt. Die Pflanzen wurden bis zur Ernte unter kontrollierten Bedingungen gehalten.

2.6 Nachweis von Mykotoxinen

2.6.1 Probenahme

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

2.6.2 Hochleistungsflüssigkeits-Chromatographie (HPLC)

Der Mykotoxinnachweis erfolgte modifiziert nach einer Methode von WALKER & MEIER (1998) und MUTHOMI *et al.* (2000). 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.

2.6.2.1 Probenaufarbeitung

Aus den vier Wiederholungen einer Variante wurde eine Mischprobe 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 Mehprobe mit bekanntem Mykotoxingehalt mit.

Je Probe wurden 200 g Körner mit einer Getreidemühle zu feinem Mehl gemahlen. Aus vier Wiederholungen einer Variante wurde eine homogene Mischprobe hergestellt. 10 g dieser Mischung wurde mit 50 ml Extraktionslösung (Acetonitril : Aqua demin. 86 : 14) (Acetonitril „HPLC Analyzed“, J.T. Baker, Deventer, NL) für 90 min auf einen Schüttler 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 (Mycosep™, Coring System Diagnostix GmbH, Gernsheim). 8 ml des Probenextrakts wurde 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.

2.6.2.2 Toxinbestimmung mittels HPLC

Die quantitative Erfassung der Trichothecen-Mykotoxine DON, 3-Ac-DON, 15-Ac-DON und NIV wurde mit einem Hochleistungsflüssigkeits-Chromatografen „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 5 aufgeführt.

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]

VG₁ - Volumengewicht der Extraktionslösung [g]

VG₂ - 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]

Tab. 5: 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

2.6.3 Kompetitiver Enzym-Immunoassay

Als eine weitere Methode der Toxinbestimmung wurde ein kompetitiver Enzym-Immunoassay der Firma R-Biopharm GmbH (Ridascreen[®] DON, Art.-Nr.: 2910) zur quantitativen Bestimmung von DON in Weizenkörnern verwendet. Durch diesen Test können auch 3-Ac-DON und 15-Ac-DON nachgewiesen werden. Die Nachweisgrenze wird vom Hersteller mit 1,25 ppb angegeben.

2.6.3.1 Probenaufarbeitung

50 g einer homogenisierten Kornprobe wurden mit einer Getreidemühle feingemahlen und 2 g dieser Mischung wurde mit 10 ml Extraktionslösung (Acetonitril : Aqua demin., 86 : 14) für 2 h auf einen Schüttler extrahiert. Nach Filtration des Probenansatzes durch einen Papierfilter wurde 1 ml des Extrakts im Rotationsverdampfer bei einer Temperatur von ca. 45 °C bis zur Trockene eingeengt. Für die Acetylierung wurden jeweils 0,1 ml der Reagenzien 1 und 2 des Testkits zum trockenen Rückstand hinzugegeben und vermischt. Die Inkubation

erfolgte für 1 h bei Raumtemperatur. Anschließend wurde der Ansatz mit 0,8 ml Aqua demin. aufgefüllt und 20 µl entnommen, die mit 180 µl Puffer vermischt wurden. Je nach erwarteter DON-Konzentration wurden Verdünnungen von 1 : 10 bzw. 1 : 100 eingesetzt.

2.6.3.2 Durchführung des ELISA-Tests

Das vorliegende Ac-DON-Enzymkonjugat und der Ac-DON-Antikörper (Konzentrat) wurden jeweils 1 : 11 mit dem Puffer verdünnt. Nach Einsetzen der Mikrotiter-Streifen in den Halterahmen wurden 50 µl Enzymkonjugat und 50 µl der Probe bzw. Standardlösung, die in verschiedenen Konzentrationen im Testkit vorliegt, in die Kavitäten pipettiert und diese mit je 50 µl der Ac-DON-Antikörper aufgefüllt und durchmischt. Die Inkubation erfolgte für 2 h bei Raumtemperatur. Anschließend wurden die Kavitäten geleert und dreimal mit 200 µl Aqua demin. gewaschen sowie die restliche Feuchtigkeit durch Ausklopfen der Mikrotiter-Streifen auf Labortüchern entfernt. Im folgenden Schritt wurden in die Kavitäten zunächst 50 µl Substrat und unmittelbar danach 50 µl des Chromogens¹ pipettiert, durchmischt und erneut bei Raumtemperatur 30 min inkubiert. Abschließend wurde 100 µl Stopp-Lösung in die Kavitäten pipettiert, durchmischt und die Extinktion bei 450 nm photometrisch gemessen. Der DON-Gehalt wurde nach Angaben des Herstellers unter Berücksichtigung des Nullstandards berechnet.

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. Darüber hinaus wurde im Jahr 2000 ein Versuch in die Versuchsflächen der Landwirtschaftskammer Rheinland in Kerpen-Buir integriert. Von der Landwirtschaftskammer Rheinland wurden Ernteproben aus den Landessortenversuchen in Kerpen-Buir (1998 – 2000) und in Neukirchen-Vluyn (2000) für Untersuchungen zur Verfügung gestellt. In Tabelle 6 sind die Versuchsstandorte beschrieben.

¹ beide Komponenten sind Bestandteile des Testkits Ridascreen® DON, Art. Nr. 2910

2.7.1.2 Sortenversuche

In den Jahren 1998 – 2000 wurde das Auftreten von *Fusarium* spp. und *M. nivale* an einem Spektrum von Winterweizensorten untersucht; dabei variierte in den drei Jahren das Sortiment der zu prüfenden Sorten. In den Jahren 1998 und 1999 wurden in den Landessortenversuchen der Landwirtschaftskammer Rheinland in Kerpen-Buir 37 Sorten bzw. 29 Sorten untersucht, im Jahr 2000 in Neukirchen-Vluyn 28 Sorten.

Auf den Versuchsflächen der Universität Bonn in Hennef wurden 1999 12 Winterweizensorten sowie drei Zuchtlinien angebaut. Aus diesem Sortiment wurden unter dem Gesichtspunkt der *Fusarium*-Anfälligkeit 6 Sorten (3 stark und 3 gering anfällige Sorten) ausgewählt und im nachfolgenden Jahr 2000 in Freilandversuchen in Meckenheim und Kerpen erneut untersucht. In Tabelle 7 sind die Weizensorten aufgeführt, die in den verschiedenen Jahren bzw. an unterschiedlichen Standorten untersucht worden sind.

Tab. 6: Standortbeschreibung der Versuchsflächen im konventionellen Anbau in den Jahren 1998 – 2000 (nach LICHTENBERG, NAUMANN und WEINERT, pers. Mitteilungen).

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. 7: Liste der Winterweizensorten von Versuchsflächen mit konventioneller Bewirtschaftung, an denen das Auftreten von *Fusarium* spp. und *M. nivale* 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		•			•	

(Fortsetzung Tab. 7)

Sorte	Kerpen–Buir			Hennef	Neukirchen- Vluyn	Meckenheim
	1998	1999	2000	1999	2000	2000
Flair					•	
Glockner				•		
Greif	•	•			•	
Habicht	•	•				
Hanseat	•		• ¹	•		•
Haven	•	•			•	
Hybnos	•	•	•		•	
Kanzler			• ¹	•		•
Ludwig		•	• ¹	•		•
Mewa		•		•		
Motiv				•		
Optimus				•		
Ornica	•	•	•			
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 in einem separat angelegten Versuch geprüft

2.7.1.3 Versuchsanlage

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 Stickstoffgaben, dem Einsatz eines Wachstumsregulators und den Fungizidbehandlungen (Tab. 8 und 9).

2.7.2 Sortenversuche im ökologischen Anbau

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 Untersuchungen mit einbezogen. Tabelle 10 beschreibt die Versuchsstandorte.

2.7.2.1 Sorten

Die bereitgestellten Weizenproben stammten aus einem Versuch, in dem die Sorten auf ihre Pflanzengesundheit, ihren Ertrag und ihre Qualität unter den Bedingungen des ökologischen

Landbaus geprüft wurden. Die in den Jahren 1998 und 1999 auf Befall mit Ährenfusariosen untersuchten Sorten und die jeweiligen Standorte sind in Tabelle 11 aufgeführt.

2.7.2.2 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 12 sind die Daten zur Bestandesführung aufgeführt.

Tab. 8: Beschreibung der Landessortenversuche mit Winterweizen im konventionellen Anbau der Jahre 1998 – 2000 (in Zusammenarbeit mit LK Rheinland).

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:	22.10.1997 / 330 Körner/m ²	24.10.1998 / 330 Körner/m ²	27.10.1999 / 330 Körner/m ²	20.10.99 / 360 Körner/m ²
Erntetermin:	08.08.1998	29.07.1999	01.08.2000	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. Cycocel [®] + 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. 9: Beschreibung der Sortenversuche mit Winterweizen im konventionellen Anbau auf Standorten der Universität Bonn in den Jahren 1999 und 2000.

Versuchsjahr:	1999		2000			
Standort:	Hennef		Meckenheim			
Vorfrucht:	Kartoffel		Zuckerrübe			
Bodenbearbeitung:	Grubber		Pflug			
Aussaattermin / - stärke:	01.12.98 / 400 Körner/m ²		27.10.99 / 330 Körner/m ²			
Erntetermin:	30.07.1999		08.08.2000			
Versuchsanlage:	randomisierte Blockanlage					
Wiederholungen:	4					
Parzellengröße:	12 m ²		14,4 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.	NPK 14+10+20	60	22.03.
	KAS 27 %	40	04.05.	NPK 15+15+15	30	27.04.
	KAS 27 %	50	26.05.	KAS 27 %	50	16.05.
Versuchsfaktoren:	Sorte und Anbauintensität		Sorte, Beregnung und Inokulation			
1. Faktor:	15 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.	mit Beregnung	29.05. – 02.07.		
	Juwel Top [®] 1 l/ha	14.05.				
	a) ohne Inokulation					
	b) Körnerinokulation	28.04.				
	c) Sprühinokulation	02.06.				
3. Faktor:						
1. Stufe	-		ohne Inokulation	-		
2. Stufe	-		Sprühinokulation	25.05 – 02.06.		

Tab. 10: Standortbeschreibung der Versuchsflächen im ökologischen Anbau in den Jahren 1998 und 1999 (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. 11: Liste der Weizensorten der Leitbetriebe des ökologischen Landbaus in Nordrhein-Westfalen, die 1998 und 1999 auf Befall 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. 12: Beschreibung der Sortenversuche mit Winter- bzw. Sommerweizen im ökologischen Anbau in Zusammenarbeit mit den Landwirtschaftskammern Rheinland und Westfalen in den Jahren 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:	29.10.1997	30.09.1997	20.10.1997	30.09.1997	28.03.1997	- ¹
Saatstärke (Körner/m ²):	400	410	420	400	450	400
Untersaat:	-	-	-	-	25.04.1998	-
Erntetermin:	12.08.1998	11.08.1998	10.08.1998	10.08.1998	09.08.1998	03.08.1998
Versuchsanlage:	randomisierte Blockanlage					
Wiederholungen:	4					
Parzellengröße:	12,6 m ²					

¹ keine Daten vorhanden

2.7.3 Bekämpfungsversuche

Im Jahr 2000 wurden in einem Projekt zur regionalen Schaderregerüberwachung von Weizenpathogenen im Rheinland Behandlungen mit unterschiedlichen Fungizidstrategien getestet. 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 Pflanze. In diese Versuchsreihe wurden zwei Varianten mit einer Behandlung gegen Ährenfusariosen integriert. In diese Versuchsreihe wurden zwei Varianten mit einer ein- bzw. zweimaligen Behandlungen gegen Ährenfusariosen integriert. Der Einfluss der Ährenbehandlungen auf das Auftreten von *Fusarium* spp. sollte erfasst und bewertet werden.

2.7.3.1 Standorte

Die Befallsuntersuchungen wurden an sieben Standorten durchgeführt. Angebaut wurde jeweils die Sorte `Ritmo`. In Tabelle 13 sind die Schlagdaten der Standorte aufgeführt.

2.7.3.2 Fungizide

Die in den Bekämpfungsversuchen eingesetzten Fungizide sind in Tabelle 14 aufgeführt. Die durchgeführten Blatt- und Ährenbehandlungen der einzelnen Varianten sind in Tabelle 15 zusammengefasst. An allen Standorten erfolgten zwei Fungizidbehandlungen gegen blattpathogene Pilze, behandelt wurde standortspezifisch nach Schadschwellenüberschreitung. Die Ährenbehandlungen erfolgten mit Fungiziden, die der Wirkstoffklasse der Triazole angehören.

Tab. 13: Schlagdaten der Versuchsflächen zur Bewertung unterschiedlicher Fungizidstrategien auf das Auftreten von Ährenfusariosen 2000.

Standort	Bodentyp	Bodenart	Ackerzahl	Fruchtfolge
Beckrath	Parabraunerde	UL	85	WW – Triticale – ZR
Bergheim	Neuland	Löß ¹	ca. 75	WW – WG – WR – ZR
Erfstadt	Parabraunerde	Lößlehm	90	WW – WW – ZR
Kerpen-Buir	Braunerde	SL	86	WW – Kartoffel – ZR
Mettmann	Parabraunerde	uL/Löß	76\78	WW – WG – Wraps
Neukirchen-Vluyn	Parabraunerde	SL	65	WW – Triticale – ZR
Titz-Spiel	Parabraunerde	UL	86	WW - Triticale - ZR

¹ Rekultivierungsboden aus Löß

WW – Winterweizen, WG – Wintergerste, ZR – Zuckerrübe

Tab. 14: Wirkstoffe der Fungizidpräparate, die in den Bekämpfungsversuchen eingesetzt wurden.

Wirkstoff	Konzentration [g a.i. l ⁻¹]	Präparat	Hersteller
Azoxystrobin	250	Amistar®	Syngenta
Fenpropimorph + Epoconazol	250 + 84	Opus Top®	BASF AG und Dow AgroSciences
Metconazol	60	Caramba®	BASF AG
Quinoxifen	500	Fortress®	BASF AG
Tebuconazol	250	Folicur®	Bayer AG
Tebuconazol + Propico- nazol + Fenpropidin	125 + 125 + 375	Gladio®	Syngenta

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. Alle Pflanzen waren mit Wachstumsregulatoren behandelt. Der Wirkungsgrad der Fungizide wurde nach Abbott berechnet.

Berechnung des Wirkungsgrades nach Abbott:

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

¹ BHK – Befallshäufigkeit

2.7.3.3 Versuchsanlage

Die Versuche wurden als vollständig randomisierte Anlagen mit vier Wiederholungen in bestehende Weizenbestände integriert. Der zu untersuchende Faktor war die Pflanzenschutzmaßnahme (Ährenbehandlung). Tabelle 15 gibt die Daten zur Bestandesführung an. Weitere pflanzenbauliche Maßnahmen wie der Einsatz eines Wachstumsregulators und die Unkraut- und Blattlausbekämpfung wurden nach ortsüblicher landwirtschaftlicher Praxis an den Standorten durchgeführt.

Tab. 15: Bestandesführung auf Versuchsflächen zur Bewertung unterschiedlicher Fungizidstrategien auf das Auftreten von Ährenfusariosen im Jahr 2000.

Standort:	Beckrath	Bergheim	Kerpen-Buir	Erfstadt	Mettmann	Neukirchen-Vluyn	Titz-Spiel
Sorte:	Ritmo						
Vorfrucht:	Zuckerrübe	Zuckerrübe	Zuckerrübe	Zuckerrübe	W-Raps	Zuckerrübe	Winterweizen
Bodenbearbeitung	1x Grubber – Pflug - Rüttelegge	Pflug - Kreiselegge	Pflug - Kreiselegge	Pflug - Kreiselegge	3x Grubber, 1x Schwergrubber - Rüttelegge	Pflug - Kreiselegge	Grubber – Pflug - Kreiselegge
Aussaattermin	28.10.1999	08.11.1999	25.10.1999	15.11.1999	21.10.1999	20.10.1999	21.10.1999
Saatstärke (Körner/m ²)	330	330	350	320	340	360	350
Erntetermin	10.08.2000	01.08.2000	04.08.2000	08.08.2000	09.08.2000	03.08.2000	01.08.2000
Versuchsanlage Parzellengröße	randomisierte Blockanlage 12,6 m ²						
Stickstoffmenge / Anzahl Teilgaben	170 kg/ha / 3	227,5 kg/ha / 5	210 kg/ha / 3	191 kg/ha / 3	192 kg/ha / 4	210 kg/ha / 3	200 kg/ha / 3
Fungizide [l/ha] 1. Behandlung	Opus Top [®] 1,2 + Fortress [®] 0,15	Opus Top [®] 1,2 + Fortress [®] 0,15	Opus Top [®] 1,5	Opus Top [®] 1,2 + Fortress [®] 0,15	Opus Top [®] 1,2 + Fortress [®] 0,15	Opus Top [®] 1,5	Opus Top [®] 1,2 + Fortress [®] 0,15
2. Behandlung	Amistar [®] 0,8 + Gladio [®] 0,6	Amistar [®] 0,8 + Gladio [®] 0,6	Amistar [®] 0,4 + Gladio [®] 0,4	Amistar [®] 0,6 + Gladio [®] 0,4	Amistar [®] 0,8 + Gladio [®] 0,6	Amistar [®] 0,8 + Gladio [®] 0,6	Amistar [®] 0,8 + Gladio [®] 0,6
Versuchsfaktor	Ährenbehandlung						
1. Stufe	Caramba [®] 1,5 zu BBCH 65						
2. Stufe	Caramba [®] 1,5 zu BBCH 65 + Folicur [®] 1 zu BBCH 71						

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 sowie des Kornbefalls mit *Fusarium* spp. und *M. nivale* 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:

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

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 Fahnenblatt – Ähre wurde 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 Wachstumsregulatoren oder Fungiziden behandelt worden.

Pflanzenlänge

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

Abstand Fahnenblatt – Ähre

Jeweils 20 Pflanzen einer Sorte wurden vom Ansatz des Fahnenblattes bis zum Ansatz der Ähre vermessen und je Sorte die Durchschnittslänge bestimmt.

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 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 unterschieden 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

Das Auftreten von *Fusarium*-Arten und *Microdochium nivale* wurde in den Jahren 1998 - 2000 an Winterweizen untersucht. Der Kornbefall mit diesen Pathogenen wurde sowohl in Freilandversuchen auf Flächen der Landwirtschaftskammer Rheinland und der Universität Bonn als auch in Versuchen unter kontrollierten Bedingungen am Institut für Pflanzenkrankheiten in Bonn ermittelt. Ein Schwerpunkt wurde auf Untersuchungen über die Anfälligkeit der Weizensorten gegenüber Ährenfusariosen gelegt. Dazu wurden Daten über Befallshäufigkeiten mit *Fusarium* spp. und *M. nivale* an den geernteten Körnern erhoben. Zusätzlich wurden Untersuchungen zur Infektion und Ausbreitung von *Fusarium* spp. an der Pflanze durchgeführt und der Einfluss verschiedener Umweltbedingungen 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 zwischen den Jahren und Standorten und ist im Überblick in Abbildung 1 dargestellt.

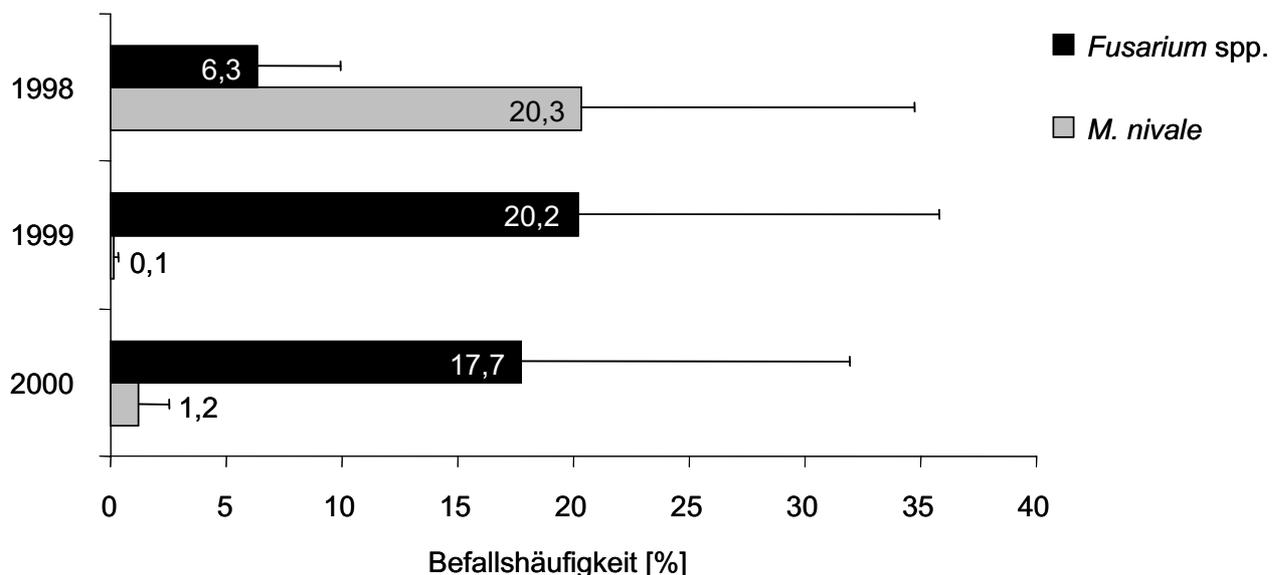


Abb. 1: Befall von Weizenkörnern mit *Fusarium* spp. und *Microdochium nivale* in den Jahren 1998 – 2000 gemittelt über unterschiedliche Standorte und Weizensorten im konventionellen und ökologischen Anbau. Es wurden 7 (1998), 8 (1999) bzw. 9 (2000) Standorte untersucht, die Balken stellen einseitig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

Im Vergleich zu den nachfolgenden Jahren war der Befall der Weizenkörner mit *Fusarium* spp. im Jahr 1998 auf den untersuchten Flächen relativ gering (6,2%). 1999 und 2000 lag ein deutlich höherer Befall von durchschnittlich 20,2% bzw. 17,2% vor. Der Ährenbefall mit *M. nivale* erreichte im Jahr 1998 durchschnittlich 20,3%, während in den darauf folgenden Jahren die Befallshäufigkeit der Körner mit diesen Pathogen 0,1% (1999) bzw. 1,2% (2000) betrug. Diese Durchschnittswerte beruhten in Abhängigkeit von Standort und Sorte jedoch auf stark variierenden Einzelwerten, welche die großen Standardabweichungen erklären.

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 standortspezifischen, natürlichen Befallsdruck ausgesetzt.

3.1.1.1 Versuchsjahr 1998

Im Jahr 1998 wurden in Kerpen-Buir 37 Weizensorten auf Kornbefall mit *Fusarium* spp. untersucht (Tab. 16). Die Sorteneinstufung erfolgte in niedrige (< Mittelwert – Standardabweichung), mittlere ($MW \pm s$) und hohe Befallshäufigkeit ($> MW + s$). Im Sortenmittel wurde ein Kornbefall von 7,4% festgestellt, wobei 26 Sorten einer mittleren Befallshäufigkeit und 6 Sorten einer niedrigen Befallsintensität zugeordnet werden konnten. Trotz Kornbefällen zwischen 0,8% und 11,2% konnten Befallsunterschiede zwischen den niedrig 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 stärker befallen als alle anderen Sorten. Der Standort Kerpen-Buir zeichnete sich 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 starken *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. 16: Befallshäufigkeit von Weizenkörnern unterschiedlicher Winterweizensorten mit *Fusarium* spp. gruppiert nach der Befallsstärke (niedrig < MW - s, mittel = MW ± s und hoch > MW + s) aus dem Landessortenversuch 1998 in Kerpen-Buir (LIENEMANN unveröffentl.).

Befallshäufigkeit [%]		
niedrig	mittel	hoch
Caesar 0,8 a	Previa 2,4 a	Complet 14,4 b
Haven 0,8 a	Soisson 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	Tremile 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 Körner der 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. 17). 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. 17: 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 (LIENEMANN unveröffentl.).

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 im Jahr 2000 am höchsten. Dabei waren in Kerpen-Buir die Sorten `Ornica` und `Hybnos` mit 4% bzw. 3,3% signifikant geringer mit *Fusarium* spp. befallen als die Sorte `Tilburi` mit 12% (Tab. 17). Im Sortenmittel wurde an diesem Standort eine Befallshäufigkeit der Körner von 7,1% festgestellt. In Neukirchen-Vluyn lag der Kornbefall im Jahr 2000 durchschnittlich bei 8,0%. 80% der Sorten wiesen eine mittlere Befallshäufigkeit mit *Fusarium* spp. auf, welche zwischen 2% und 13% variierte. Keine Sorte 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` wurden mit 16% bzw. 14,5% den stark befallenen Sorten zugeordnet.

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 zur Verfügung gestellte Winter- und Sommerweizenproben aus den ökologischen Leitbetrieben wurden 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

In den Jahren 1998 und 1999 wurde Winterweizen auf Befall mit *Fusarium* spp. und *M. nivale* untersucht (Tab. 18 und 19). 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. 19). Kornproben vom Standort Minden waren im Sortenmittel mit 1,8% deutlich geringer 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`,

Tab. 18: 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 (LIENEMANN unveröffentl.).

	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 ± s		8,0 ± 6,6			

¹ Mittelwert ± Standardabweichung

‘Tambor’ und ‘Zentos’ 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 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

Tab. 19: Einfluss von Genotyp und Standort auf das Auftreten von Ährenfusariosen an Winterweizen auf Flächen der ökologischen Leitbetriebe der Landwirtschaftskammer Rheinland 1998 und 1999 (LIENEMANN unveröffentl.).

Jahr Standort	Befallshäufigkeit <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 ± 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. ³					3,3 ± 7,6
MW ± s¹	9,2 ± 2,5	6,5 ± 2,1	2,4 ± 2,8	7,3 ± 1,9	3,6 ± 2,3
P-Wert²	0,207 n.s.	0,215 n.s.	0,089 n.s.	0,131 n.s.	0,078 n.s.

¹ Mittelwert ± Standardabweichung

² P-Werte < 0,05 weisen auf signifikante Unterschiede zwischen den Sorten hin

³ ZI Schw. = Zuchtlinie der Firma Schweiger

sogar bei durchschnittlich 38,6% und 39,4% lag (Tab. 20). 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 Köln-Auweiler untersucht. Während 1998 über alle Sorten

Tab. 20: Einfluss von Genotyp und Standort auf das Auftreten von *Microdochium nivale* an Winterweizen auf Flächen der ökologischen Leitbetriebe der Landwirtschaftskammer Rheinland 1998 und 1999 (LIENEMANN unveröffentl.).

Jahr Standort	Befallshäufigkeit <i>M. nivale</i> [%]				
	1998				1999
	Kleve	Lichtenau	Minden	Soest	Köln-Auweiler
Aristos		14,4 ± 14,7 ab	23,2 ± 22,9 a	41,6 ± 24,4 ab	0
Astron	40 ± 24,5 b	13,6 ± 16 ab	13,6 ± 15 a	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 ± 23,1 ab	0
Contra	43,2 ± 28,7 ab				
Dream					0
Flair	14,4 ± 16,9 d				0
Glockner			10,4 ± 13,1 a		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 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. ³					0
MW ± s¹	38,6 ± 12,1	11,2 ± 6,9	15,7 ± 6,7	39,4 ± 7,4	0
P-Wert²	< 0,001	< 0,001	0,059	0,039	1,0 n.s.

¹ Mittelwert ± Standardabweichung

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

³ ZI Schw. = Zuchtlinie der Firma Schweiger

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. 21). 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. 21: Auftreten von *Fusarium* spp. und *Microdochium nivale* an Körnern von Sommerweizen im ökologischen Landbau am Standort Neuss 1998 (LIENEMANN unveröffentl.).

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

Vergleich ökologischer und konventioneller Anbau

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

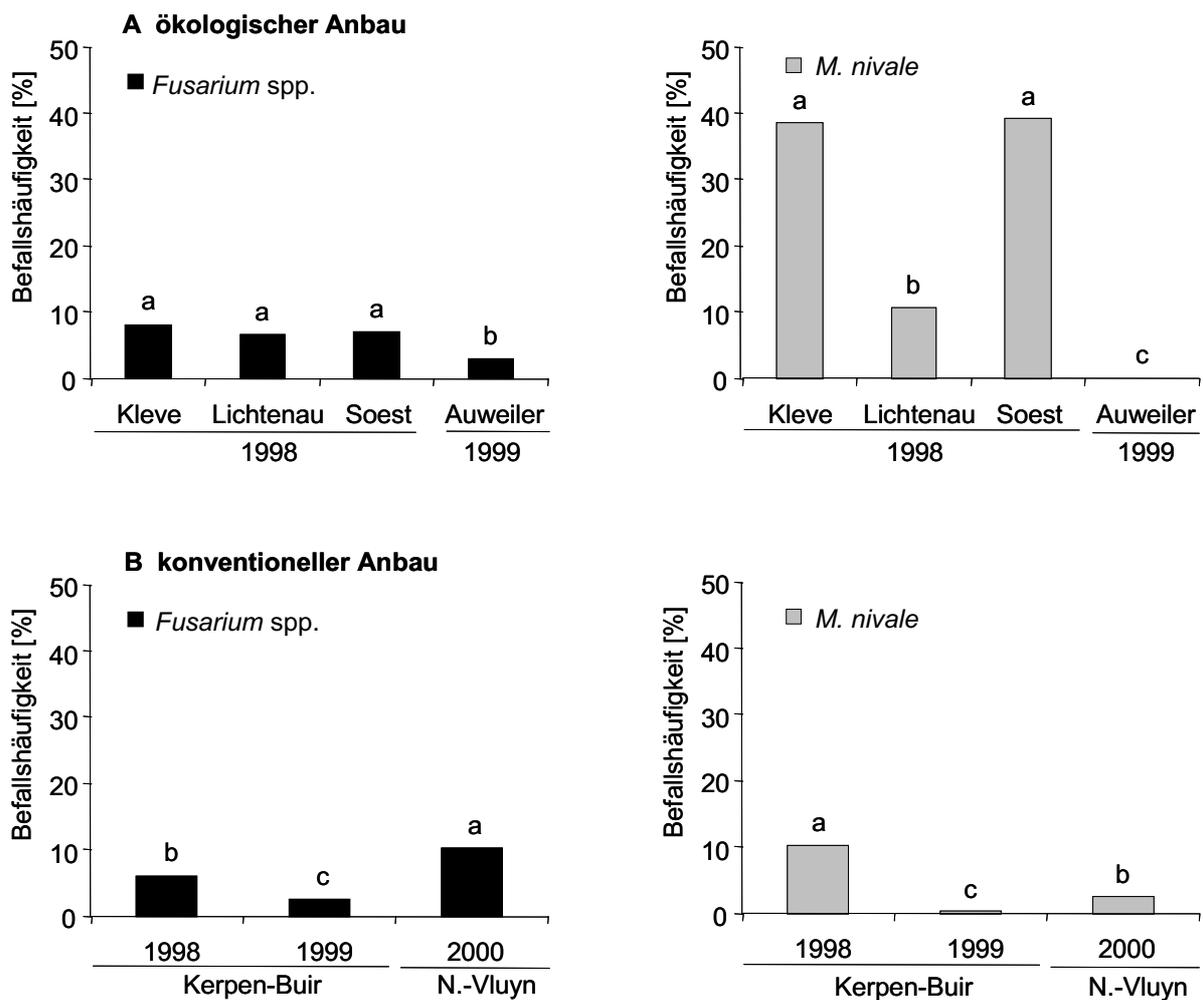


Abb. 2: Standort- und Jahresvergleich der Befallshäufigkeit von *Fusarium* spp. und *Microdochium nivale* an Weizenkörnern gemittelt über 6 Sorten im ökologischen Landbau (A) und 16 Sorten im konventionellen Anbau (B), SNK-Test ($\alpha = 0,05$) (LIENEMANN unveröffentl.).

Im organischen Landbau (A) unterschieden sich im Jahr 1998 die Standorte Kleve, Lichtenau und Soest im Auftreten der Ährenfusariosen nicht bedeutend voneinander. Das Befallsniveau variierte zwischen 6,7% und 8,1%. In Köln-Auweiler, einziger Versuchsstandort im Jahr 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 konventionellen Anbau (B) war am Standort Kerpen-Buir im Jahr 1998 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 *Fusarium*-Arten 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% im Vergleich der drei Jahre am höchsten. Der *M. nivale*-Befall war mit 2,6% dagegen bedeutend niedriger als im Kerpen-Buir im Jahr 1998, aber etwas 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 im Vergleich zum konventionellen Anbau. Auch ein Vergleich über alle Sorten ist nur bedingt möglich. Im ökologischen Anbau wurden sechs Weizensorten untersucht, die nach BSA-Einstufung eine mittlere Anfälligkeit gegenüber Ährenfusariosen besitzen (Note: 4,0). Die im konventionellen Anbau betrachteten 16 Weizensorten wurden dagegen mit einer durchschnittlichen Note von 5,3 höher eingestuft und waren somit stärker anfällig gegenüber Ährenfusariosen (vergl. Tab. 4).

3.1.2.3 Artenspektrum im Rheinland

In den Jahren 1998 bis 2000 wurden alle *Fusarium*-Arten, die von Weizenkörnern aus dem konventionellen Anbau isoliert wurden, identifiziert (Abb. 3). Im Mittel aller untersuchten Standorte und Sorten erwies sich *F. avenaceum* als dominierende Art mit einem durchschnittlichen Anteil von 37,5% (je nach Standort und Sorte 33,7 – 46,6%) aller *Fusarium*-Arten. Zusammen mit *F. culmorum* (\emptyset 19,9%) stellten diese beiden *Fusarium*-Arten in allen drei Jahren über 55% des Gesamtbefalls dar. Daneben traten *F. graminearum*,

F.

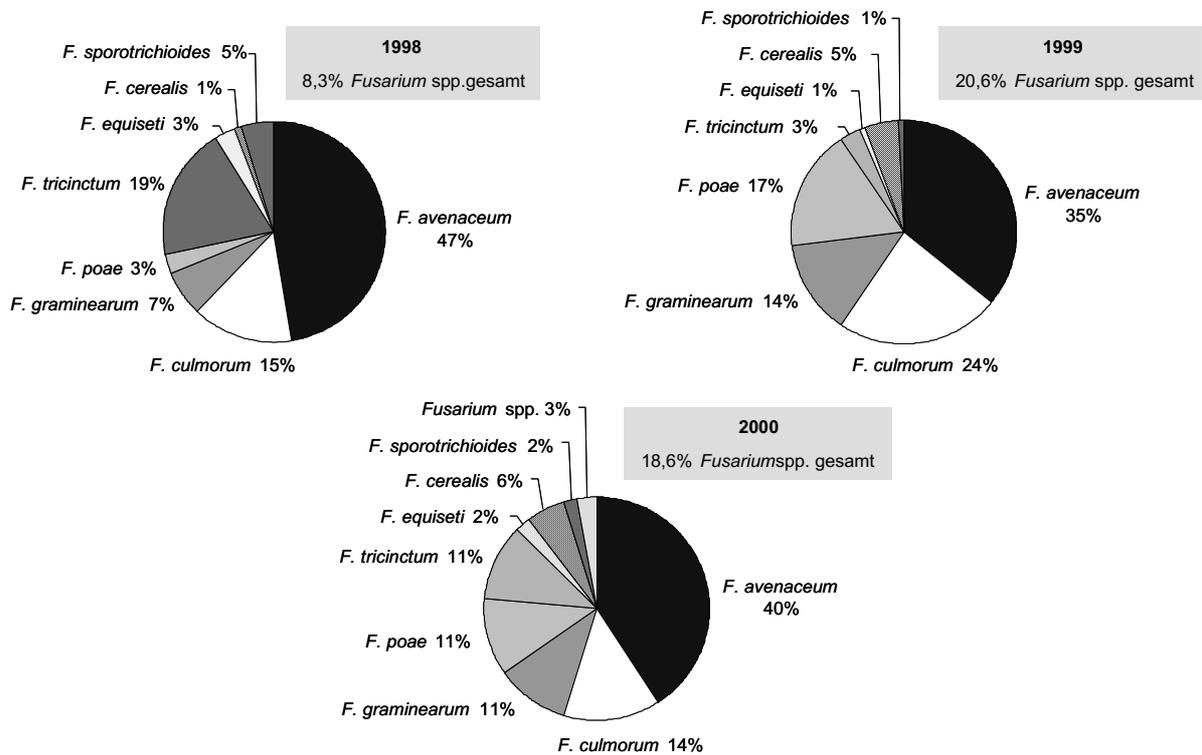
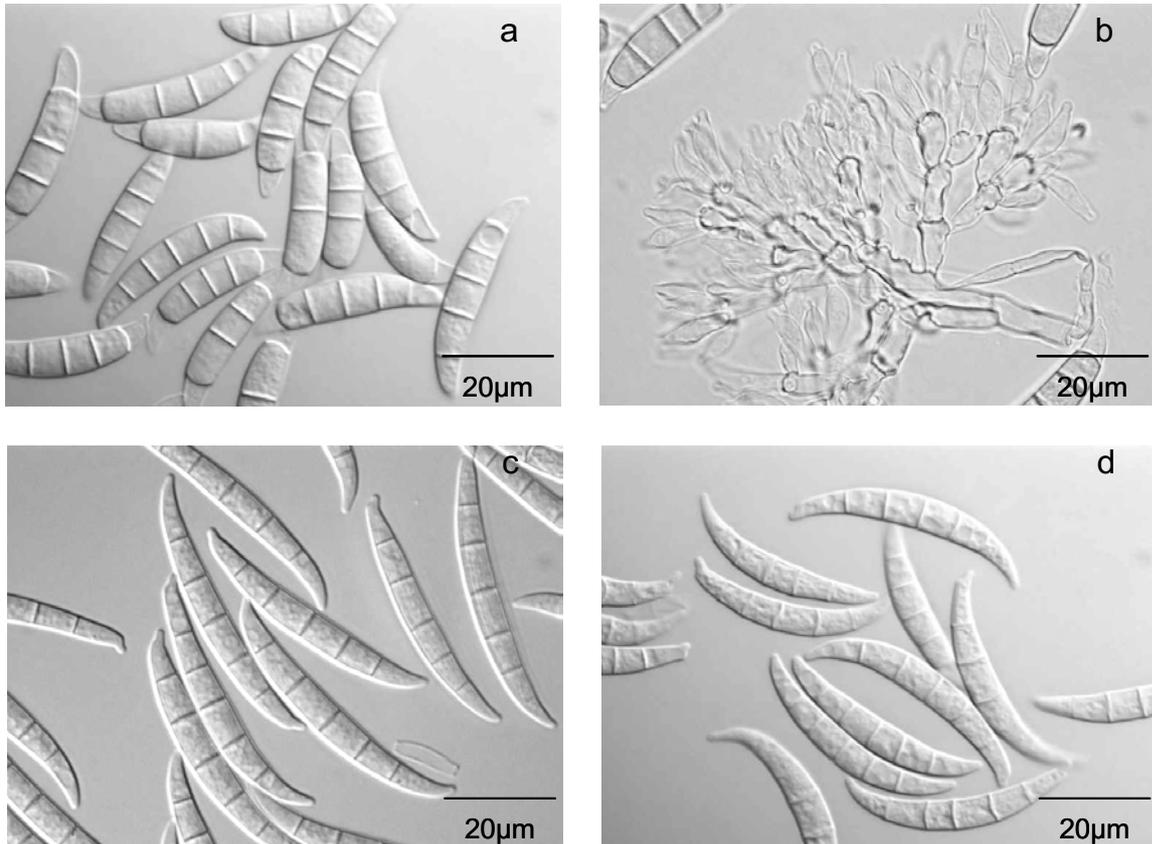


Abb. 3: Zusammensetzung des Artenspektrums der *Fusarium*-Arten an Weizenkörnern aus dem konventionellen Anbau in den Jahren 1998 – 2000 gemittelt über alle Standorte und Sorten. Einige Sorten wurden mehrmals auf verschiedenen Standorten untersucht. 1998: 1/14 (Anzahl Standorte/Anzahl Sorten), 1999: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

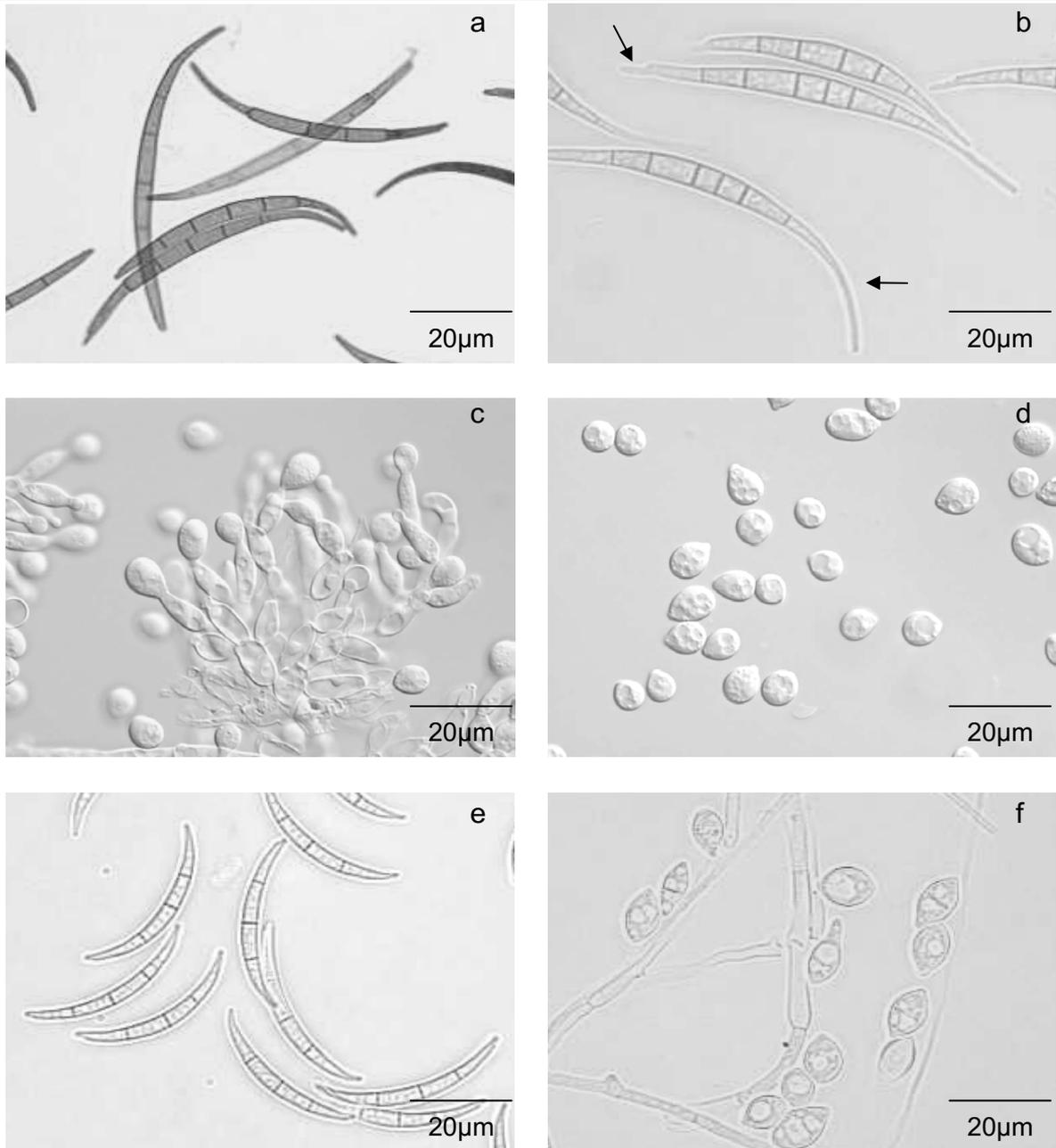
poae, *F. tricinatum* und *F. cerealis* mit Befallshäufigkeiten von durchschnittlich 11,3%, 9,5%, 6,9% bzw. 3,8% auf. Das Befallsniveau lag im konventionellen Anbau im Jahr 1998 um 55 – 60% niedriger als in den folgenden Jahren, wobei 1998 aber auch nur an einem Standort die *Fusarium*-Arten identifiziert worden sind. In den Jahre 1999 und 2000 wurde im Gesamtmittel eine Befallshäufigkeit der Körner von 20,6% bzw. 18,6% festgestellt. Die Zusammensetzung des Artenspektrums unterlag jahresbedingten Variationen. Trat z.B. in dem Jahr 1998 und 2000 *F. tricinatum* als zweithäufigste Art auf, so spielte diese Art im Jahr 1999 eine eher untergeordnete Rolle. Gegenläufig war das Auftreten von *F. poae*. Diese *Fusarium*-Art wurde im Jahr 1998 nur an 3% der Körner gefunden, während sie im Jahr 1999 und 2000 als dritthäufigste Art von diesen isoliert wurde. Auch der Anteil von *F. culmorum* war in den Jahren 1998 und 2000 um 40% geringer als im Jahr 1999.

Lichtmikroskopisch waren die Arten u.a. 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 (Bildtafeln 1 und 2).



Bildtafel 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*)



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

- a) 4 - 6-fach septierte Makrosporen von *F. avenaceum*, Sektion *Roseum*
- b) 5 – 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*

3.1.3 Einfluss von Standort und Bewirtschaftungsform

3.1.3.1 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 war die Vorfrucht Zuckerrübe, nur in Titz-Spiel folgte Winterweizen auf Winterweizen. Der Ährenbefall ist in Abhängigkeit vom Standort in Abbildung 4 aufgezeigt. Über alle Standorte gemittelt betrug die Befallshäufigkeit der Körner 18,9%; sie 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 der 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 und Beckrath. Hier trat *F. culmorum* als häufigste *Fusarium*-Art auf, am Standort Neukirchen-Vluyn zusätzlich auch *F. graminearum*. In Mettmann dominierte *F. poae*. *F. tricinctum* besaß einen ausgesprochen hohen Anteil an den Standorten Titz-Spiel und Erfstadt.

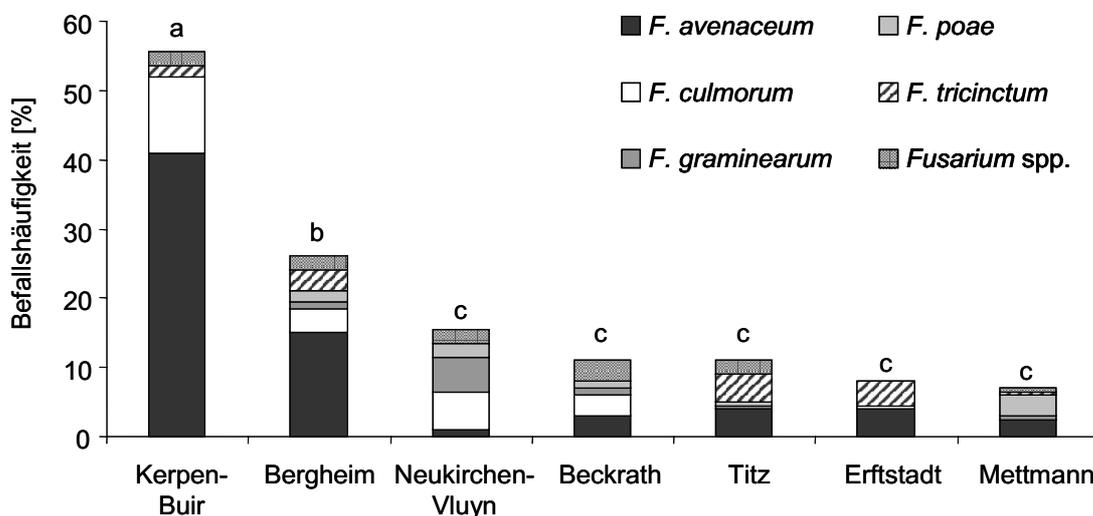


Abb. 4: Vergleich der Befallshäufigkeit und der auftretenden *Fusarium*-Arten an unbehandelten Weizenpflanzen der Sorte `Ritmo` an sieben Standorten im Rheinland im Jahr 2000 (LIENEMANN unveröffentl.).

3.2 Befallsverlauf von *Fusarium* spp. an Weizen

3.2.1 Ausbreitung an der Pflanze

Zu vier Entwicklungsstadien der Weizenpflanzen wurden die Befallshäufigkeit der Blätter sowie die Sporendichte der Blattoberflächen und der Ähren untersucht. Die Probenahme erfolgte im Jahr 2000 in Meckenheim. Nach dem Zufallsprinzip wurden aus einem Weizenbestand der Sorte `Ritmo` zu den BBCH-Stadien 51, 61, 75 und 85 (Bestimmung des Inokulumpotenzials) bzw. BBCH 39, 51, 75 und 85 (Bestimmung der Befallshäufigkeit) 4 x 10 Pflanzen für die Untersuchungen entnommen.

3.2.1.1 Inokulumpotenzial 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. Zum ersten Probetermin Mitte Mai (BBCH 51) konnten auf allen Blattetagen, ausgenommen dem Fahnenblatt, *Fusarium*-Sporen 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

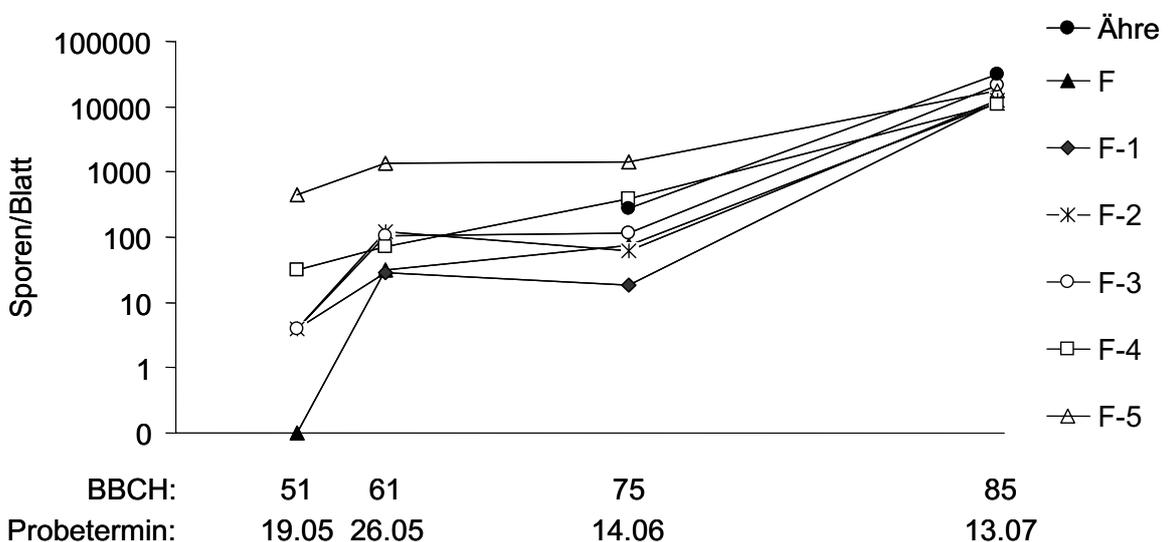


Abb. 5: Auftreten von *Fusarium*-Sporen auf den Blattetagen von Winterweizen der Sorte `Ritmo` zu vier Terminen in der Vegetationsperiode 2000 (Meckenheim, LIENEMANN unveröffentl.).

Sporen/Blatt vorlag. Zum folgenden 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 durchschnittlich 1320 Sporen/Blatt. Im Zeitraum von Ende Mai (BBCH 61) bis Anfang Juni (BBCH 75) blieb die Sporendichte annähernd konstant. Nur auf dem Fahnenblatt und F-4 wurde eine erhöhte Anzahl abgeschwemmter Sporen verzeichnet, die um das zwei- bzw. fünffache höher war als zum Wachstumsstadium BBCH 61. Zu BBCH 75 wurde mit zunehmender Blattinsertion eine abnehmende Sporendichte verzeichnet. An der Ähre waren zu diesem Zeitpunkt durchschnittlich 117 *Fusarium*-Sporen vorhanden. Auf allen Blattetagen wurde zu BBCH 85 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 stärksten besiedelt. Dies war unter anderem auch auf die größere Oberfläche der Ähre im Vergleich zu der Blattoberfläche zurückzuführen. Das zur Abreife an den Pflanzen vorhandene *Fusarium*-Spektrum deckte sich weitgehend mit dem an den Körnern z.Zt. der Ernte auftretendem Artenspektrum. Eine Sonderstellung nahm *F. poae* ein. Erst zu BBCH 75 waren Sporen dieser Art mit einem Anteil von 62% aller vorkommenden *Fusarium*-Arten und ausschließlich an der Ähre vorzufinden. Zu BBCH 85 wurden sie zusätzlich auch vom Fahnenblatt isoliert.

3.2.1.2 Infektion des Blattes mit *Fusarium*-Arten

Um Blattinfektionen mit *Fusarium* spp. nachweisen zu können, wurden die Blätter zunächst oberflächlich desinfiziert 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*-Arten, auch das zuvor vollständig entfaltete Fahnenblatt blieb unbesiedelt. Dafür waren aber zu diesem Zeitpunkt bereits 100% der Blätter der bodennahen Blattetage F-5 befallen. Zur Milchreife (BBCH 75) wurde auf allen Blattetagen ein verstärktes Auftreten der *Fusarium*-Arten 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 eine Befallshäufigkeit von durchschnittlich 98% (90 – 100%) mit *Fusarium* spp. 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 *F. sporotrichioides* konnten auch zu den weiteren Probe-

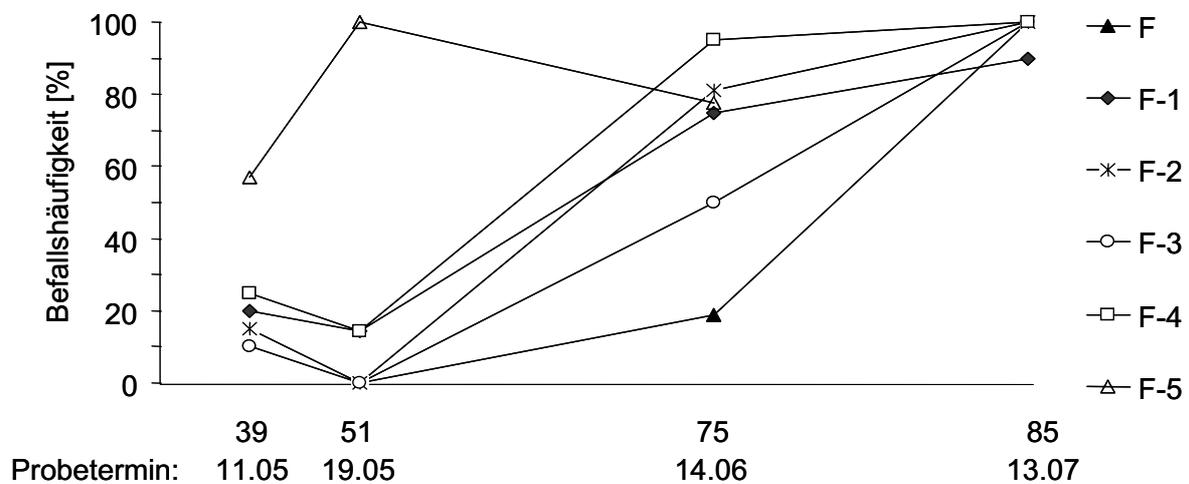


Abb. 6: Auftreten von *Fusarium* spp. an Blättern der Blatttagen F bis F-5 der Weizensorte 'Ritmo' im Verlauf der Vegetationsperiode 2000 in Meckenheim nach Desinfektion der Blattoberflächen (LIENEMANN unveröffentl.).

terminen von den Blättern isoliert werden. Ab BBCH 51 konnte zusätzlich eine Blattbesiedlung durch die Arten *F. tricinctum*, *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 Entwicklungsstadien BBCH 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 98% befallenen Blätter.

Abbildung 8 dokumentiert exemplarisch für die auftretenden *Fusarium*-Arten die Ausbreitung von *F. avenaceum* und *F. culmorum* an den Weizenpflanzen. Aufgezeigt wird der Befallsverlauf an den einzelnen Blatttagen zwischen den Wachstumsstadien BBCH 39 und BBCH 85 an der Sorte 'Ritmo'. Zu den ersten beiden Probeterminen wurden auf der unteren

Blatttage F-5 Blattinfektionen mit *F. avenaceum* bei einer Befallshäufigkeit von durchschnittlich 20% festgestellt. *F. culmorum* besiedelte diese Blatttage erst zu BBCH 51 mit einer Befalls-

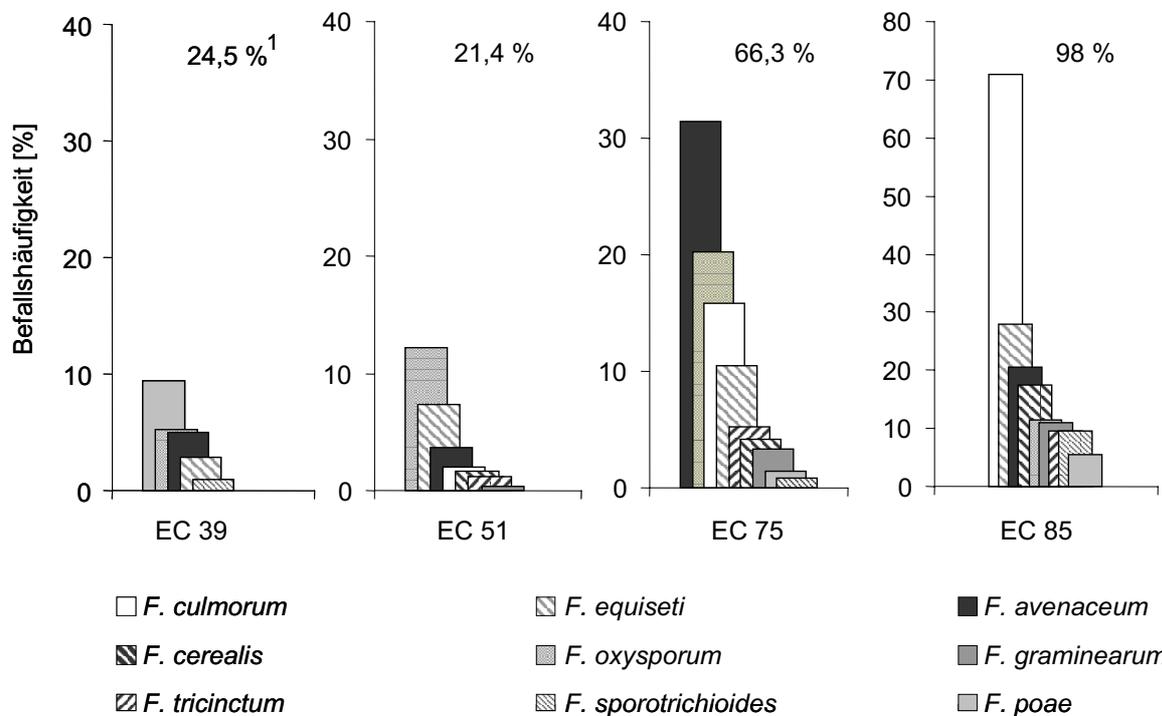


Abb. 7: Spektrum der im Verlauf der Vegetationsperiode isolierten *Fusarium*-Arten und Befallshäufigkeiten der oberflächlich desinfizierten Weizenblättern der Sorte `Ritmo` (n = 10, Meckenheim 2000), ¹ Ø Gesamtbefall der Blätter aller Blatttage (LIENEMANN unveröffentl.).

häufigkeit von 8,6%. Höhere Blatttagen waren bis zu diesem Zeitpunkt nur sehr gering (Ø 0,3%) mit *F. avenaceum* bzw. *F. culmorum* besiedelt. Zu BBCH 75 nahm die Befallshäufigkeit mit *F. avenaceum* auf allen Blatttagen zu und durchschnittlich 31,5% der Blätter waren mit dieser Art befallen, wobei die Befallshäufigkeiten in Abhängigkeit von der Blatttage zwischen 6,3% und 47,5% variierten. Bis zur Abreife (BBCH 85) nahm der Befall jedoch nicht stärker zu und eine Befallshäufigkeit von 50% wurde auf keiner Blatttage überschritten. Anders dagegen verhielt sich die Ausbreitung von *F. culmorum*. Diese *Fusarium*-Art besiedelte zu BBCH 75 im Mittel nur 19% der Blätter, mit Ausnahme des Fahnenblattes (0%). Die Befallshäufigkeit der einzelnen Blatttagen variierte bei *F. culmorum* mit 15% bis 25%. weniger stark als bei *F. avenaceum*. Zu BBCH 85 erhöhte sich

die Befallshäufigkeit der Blätter aller Blattetagen jedoch auf durchschnittlich 71%, das Fahnenblatt war mit 83% am stärksten befallen.

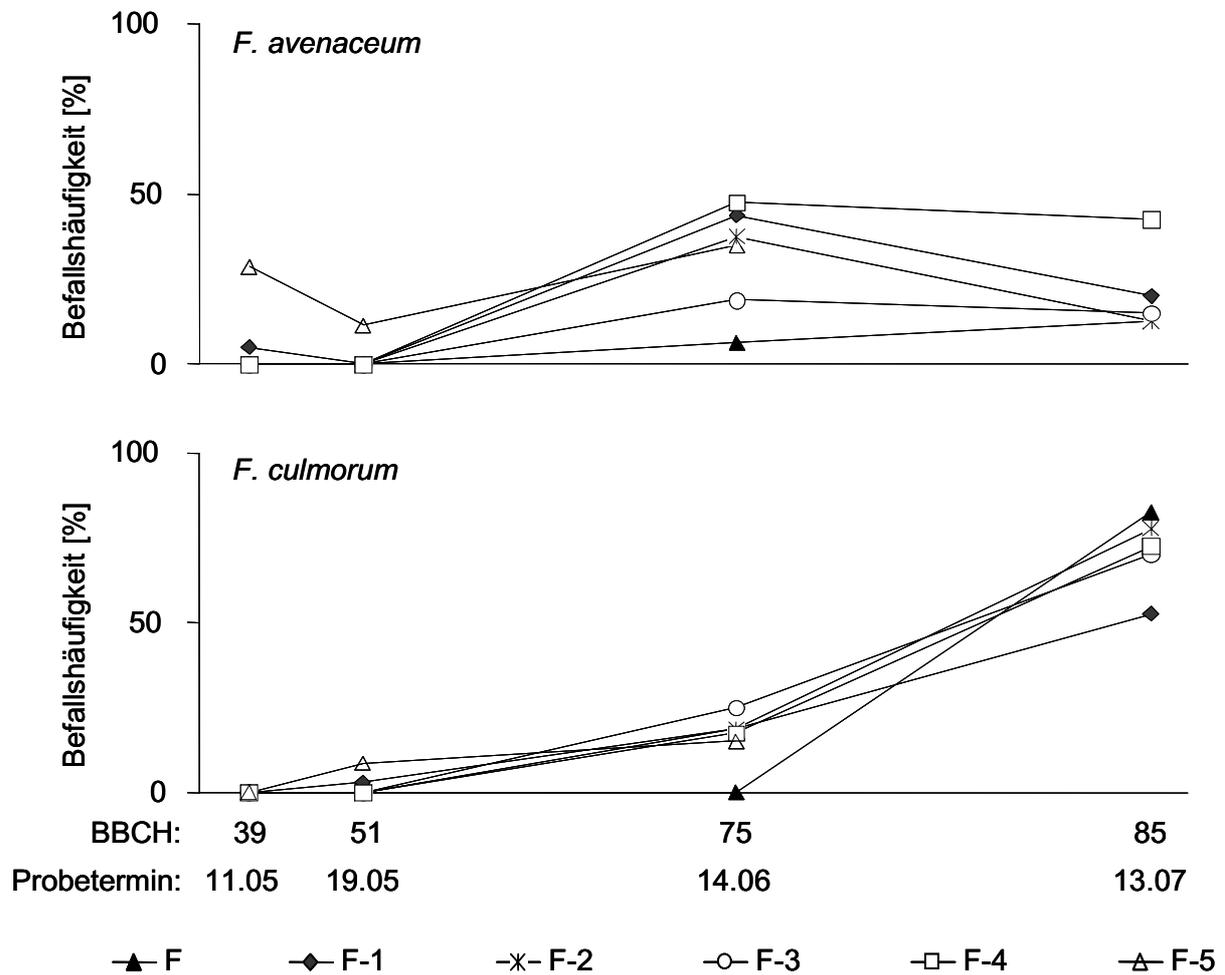


Abb. 8: Besiedlung der Blattetagen von Winterweizen mit *F. avenaceum* und *F. culmorum*, dargestellt als Befallshäufigkeit oberflächendesinfizierter Weizenblätter der Sorte 'Ritmo' im Laufe der Vegetationsperiode (n = 10, Meckenheim 2000) (LIENEMANN unveröffentl.).

3.2.2 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 Entwicklungsstadium. Versuche unter kontrollierten Bedingungen als auch Freilandversuche sollten diese Abhängigkeiten darstellen.

3.2.2.1 Relative Luftfeuchtigkeit und Temperatur

Der Einfluss der relativen Luftfeuchtigkeit (rel. LF) auf die Befallshäufigkeit und den Mykotoxingehalt der Körner wurde unter kontrollierten Bedingungen bei 15°C und 25°C untersucht. Die Luftfeuchte wurde auf 80% bzw. 100% rel. LF eingestellt. Nach einer Ähreninokulation mit *F. avenaceum*, *F. poae*, *F. graminearum* oder *F. culmorum* kamen die Pflanzen für 14 Tage zur Inkubation der *Fusarium*-Pilze in die Klimakammer. Anschließend wurden die Körner auf Befallshäufigkeit und mittels ELISA auf ihren Mykotoxingehalt untersucht. Bei der Toxinuntersuchung wurde nur Nivalenol, nicht aber Deoxynivalenol bzw. dessen acetylierte Derivate, in der Kornmatrix vorgefunden.

Nach Inkubation bei 15 bzw. 25°C der Körner betrug der *Fusarium*-Besatz der Körner nicht inokulierter Kontrollpflanzen 0% bzw. 12%. Weizenkörner von Ähren, die mit *F. poae* inokuliert worden waren, wiesen unter allen Umweltbedingungen eine gleich bleibend geringe Befallshäufigkeit von 10 – 22% auf (Abb. 9). Die Nivalenol-Gehalte der Körner lagen bei den mit *F. poae* inokulierten Ähren zwischen 0 – 3 mg/kg. Bei den Pflanzen, die bei 15°C und 80% rel. LF inkubiert worden waren, konnte kein Nivalenol nachgewiesen werden. Signifikant stärkerer Kornbefall und höhere Toxingehalte wurden bei Weizenkörnern festgestellt, deren Ähren mit den Nivalenol-produzierenden Isolaten von *F. graminearum* und *F. culmorum* inokuliert worden waren. Die Körner waren zu 40 – 70% mit der jeweils inokulierten *Fusarium*-Art befallen. Dabei nahm der Befall bei steigender Inkubationstemperatur und steigender rel. LF zu. Der Nivalenol-Gehalt der Körner in diesen Varianten, mit Ausnahme der bei 15°C / 80% rel. LF inkubierten Ähren, variierte zwischen 18 – 40 mg/kg.

Die Körner der mit *F. avenaceum* inokulierten Weizenähren waren nach Inkubation bei 15°C / 80% rel. LF nur zu 10% befallen. Der Befall nahm bei zunehmender Temperatur und Luftfeuchte auf durchschnittlich 47% zu und entsprach dem Kornbefall von Pflanzen, die mit *F. culmorum* und *F. graminearum* inokulierten worden waren. Das Isolat von *F. avenaceum* bildete erwartungsgemäß kein Nivalenol.

3.2.2.2 Niederschläge

Im Jahr 2000 wurde in Meckenheim ein Sortenversuch mit den zwei Faktoren a) Über-Kopf-Beregnung von BBCH 65 bis BBCH 89 sowie b) Sprühinokulation zu BBCH 65 mit einem Isolat von *F. culmorum* durchgeführt. Die Auswirkung auf den Befall mit *Fusarium* spp. wurden am Erntegut von sechs Winterweizensorten erfasst (Abb. 10).

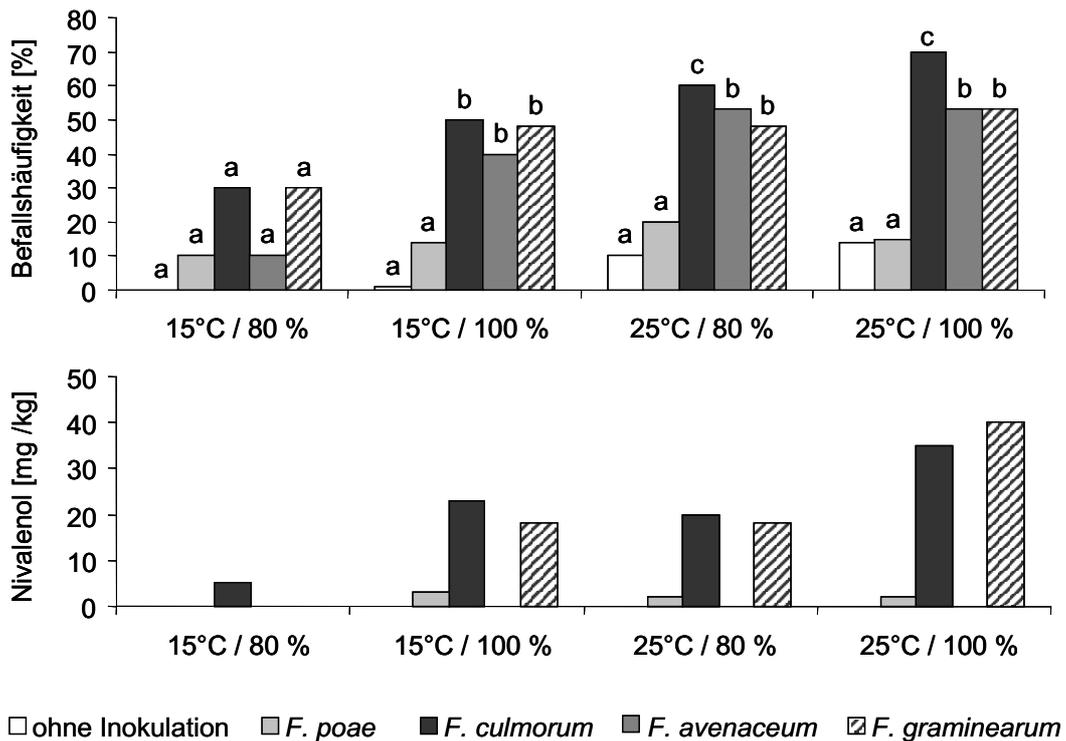


Abb. 9: Einfluss von relativer Luftfeuchte und Temperatur auf die Befallshäufigkeit und den Nivalenol-Gehalt von Weizenkörnern der Sorte 'Ralle' nach Inokulation der Weizenähren zu BBCH 65 mit verschiedenen *Fusarium*-Arten (Nachweisgrenze Nivalenol 1µg/g, nicht inokulierte Körner wurden nicht auf Mykotoxine untersucht, Säulen mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant, Tukey-Test ($\alpha = 0,05$), MEIER unveröffentl.).

Die Körner der Weizenpflanzen, die dem natürlichen Befallsdruck ausgesetzt waren, wiesen einen *Fusarium*-Befall von durchschnittlich 28,3% (10,5% - 48,5%) auf. Die starke Streuung um den Mittelwert erklärt sich dabei durch die unterschiedliche Anfälligkeit der Weizensorten gegenüber Ährenfusariosen. Eine zusätzliche Über-Kopf-Beregnung führte zu einer mittleren Befallszunahme um 5,8% auf 34,1% (12,5% - 50%) Kornbefall. Werden die Sorten einzeln betrachtet, so erhöhte sich bei 'Atlantis', 'Bandit', 'Kanzler' und 'Hanseat' das Auftreten von

Fusarium spp. an den Körnern von 27,0% auf 36,8%. An der Sorte `Ludwig` sowie der Zuchtlinie `FR 444/06` war der Kornbefall nach Über-Kopf-Beregnung von 31,0% auf 28,8% kaum verändert. Eine Sprühinokulation mit *F. culmorum* führte zu einer sehr starken, signifikanten Befallszunahme bei allen Sorten. Nach der Inokulation waren zwischen 94,5 – 98,0% der Körner befallen. Nur die Zuchtlinie `FR 444/06` war im Vergleich zu den anderen Sorten mit einem Kornbefall von 80,0% geringer befallen. Eine zusätzliche Beregnung führte aber auch bei der Linie `FR 444/06` zu einer Befallszunahme auf 94,5% Kornbefall und sie unterschied sich im Ährenbefall nun diesbezüglich nicht mehr von den anderen Sorten.

Die Zusammensetzung des Artenspektrums zeigte, dass *F. avenaceum* mit 8,1% Kornbefall die dominierende *Fusarium*-Art an diesem Standort war (Tab. 22). 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. Es reduzierte sich sogar von durchschnittlich 5,3% auf 4,6% Befallshäufigkeit. *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.

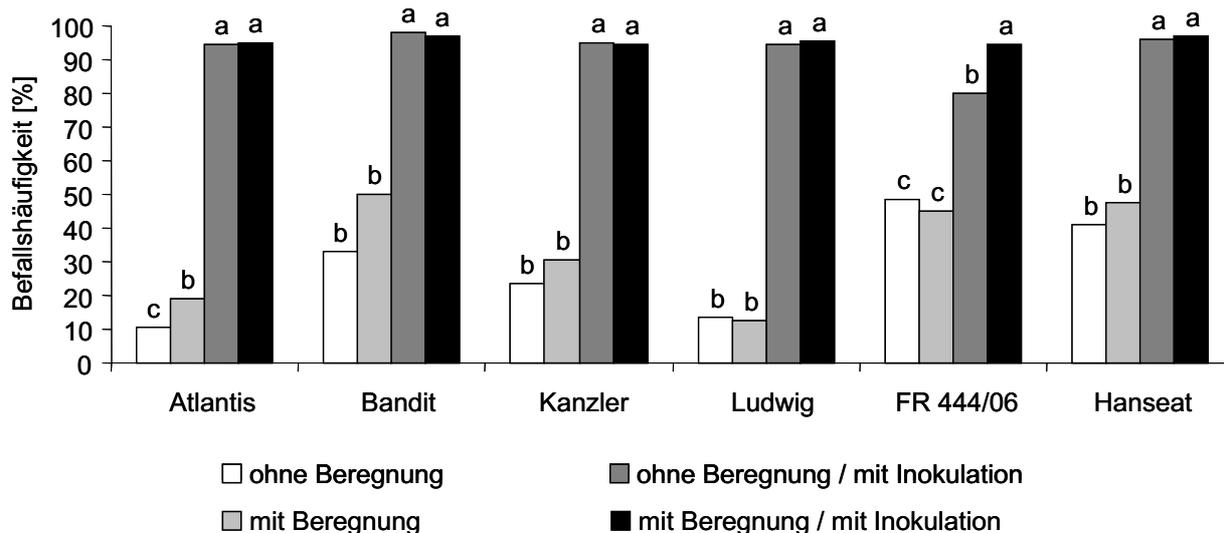
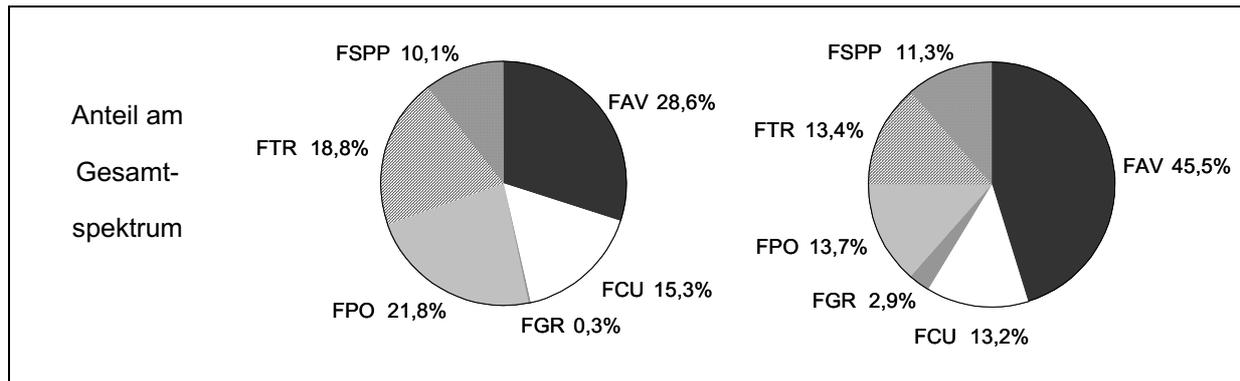


Abb. 10: Befallshäufigkeit der Körner von sechs Winterweizensorten mit *Fusarium* spp. in Abhängigkeit von Beregnung und einer zusätzlichen Inokulation der Ähren, Meckenheim 2000 (Über-Kopf-Beregnung, 2,4 mm/Nacht, zwischen BBCH 65 – 89; Isolat C 20 von *F. culmorum*, 10^5 Konidien/ml), Säulen mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant, SNK-Test ($\alpha = 0,05$) (LIENEMANN unveröffentl.).

Tab. 22: Einfluss einer Beregnung von Weizenähren 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 (LIENEMANN unveröffentl.).

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



¹ Zahlen mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant, SNK-Test ($\alpha = 0,05$)

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

3.2.2.3 Infektionszeitpunkt

Die Weizenblüte gilt als empfindlichstes Entwicklungsstadium für den Befall mit Ährenfusariosen. Der Zeitpunkt der Infektion beeinflusst somit das Ausmaß des *Fusarium*-Befalls. Die Abhängigkeit des Kornbefalls vom Infektionszeitpunkt der Ähre wurde unter kontrollierten Bedingungen im Jahr 1999 an der Sorte `Ralle` untersucht. Zu diesem Zweck wurden Weizenähren - getrennt zu den BBCH-Stadien 49, 65, 69 bzw. 75 - mit vier verschiedenen *Fusarium*-Arten sprühinokuliert.

Zu allen vier Inokulationsterminen war eine Infektion der Ähren mit *Fusarium* spp. möglich (Abb. 11). Der stärkste Kornbefall wurde nach Inokulation der *Fusarium*-Arten *F. graminearum*, *F. avenaceum* und *F. poae* zu BBCH 65 beobachtet, jeweils mit 65%, 18% und 38% Befallshäufigkeit. Körner der Ähren, die mit diesen *Fusarium*-Arten zu BBCH 49, 69 und 75 inokuliert worden waren, zeigten einen um durchschnittlich 60% geringeren Kornbefall als die Körner der Ähren, die zu BBCH 65 inokulierten worden waren. Eine Inokulation mit *F. graminearum* zu BBCH 49 führte jedoch trotzdem noch zu einem relativ hohen Kornbefall von 40%. *F. culmorum* verursachte dagegen nach Inokulation der Weizenähre zu BBCH 69 einen maximalen Kornbefall von 60%. Im Vergleich zu den anderen Arten führte eine Inokulation mit dieser *Fusarium*-Art aber auch an allen weiteren Inokulationsterminen zu einem relativ hohen Kornbefall von durchschnittlich 42%.

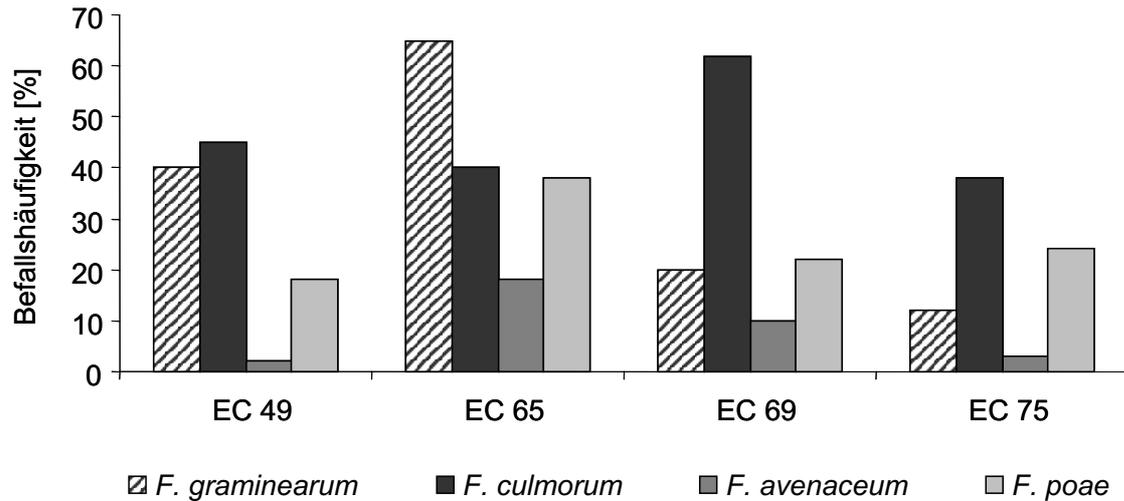
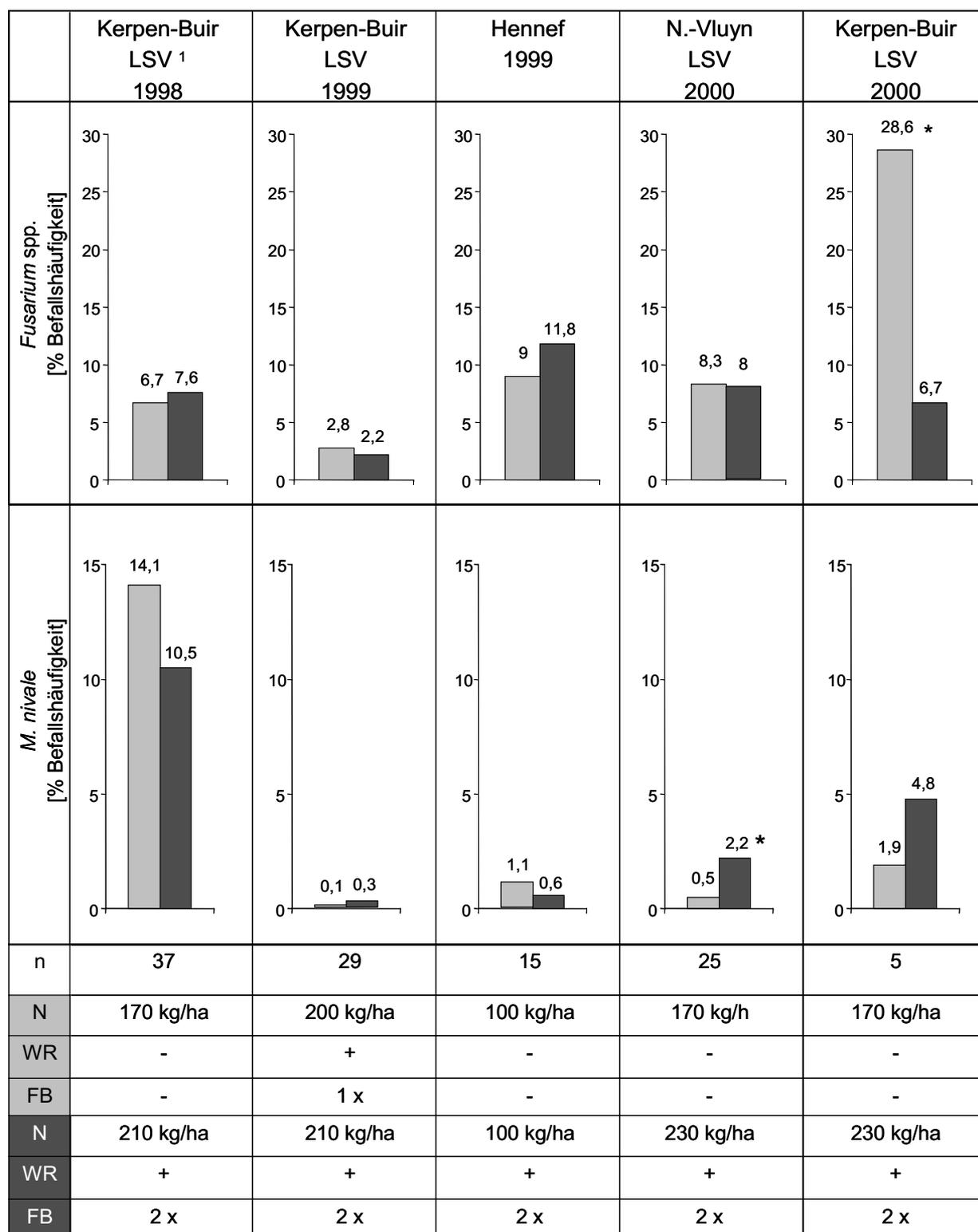


Abb. 11: Einfluss des Entwicklungsstadiums von Winterweizen auf den *Fusarium*-Befall der Körner nach Inokulation der Ähren mit verschiedenen *Fusarium*-Arten unter kontrollierten Bedingungen (cv. `Ralle`; MEIER unveröffentl.).

3.3 Einfluss pflanzenbaulicher Parameter

3.3.1 Anbauintensität

Im konventionellen Getreideanbau hat die Anbauintensität einen Einfluss auf das Schaderregerpotenzial (HOFFMANN *et al.* 1994). Der Vergleich eines intensiven mit einem extensiven Anbausystem sollte den Einfluss der Anbauintensität auf den Befall der Weizenpflanze mit Ährenfusariosen aufzeigen. In mehrjährigen Versuchen wurde der Befall mit Ährenfusariosen an Weizensorten in einem intensiven Anbau mit dem aus einem extensiven Anbau verglichen (Abb. 12). Durch die Applikation eines Wachstumsregulators bei gleichzeitiger Fungizidbehandlung und erhöhter Stickstoffgabe trat nur in den Landessortenversuchen in Kerpen-Buir (1998) eine geringe, jedoch statistisch nicht abzusichernde Zunahme des Kornbefalls mit *Fusarium* spp. (+ 1% Befallshäufigkeit) auf. In Neukirchen-Vluyn (2000) reduzierte



¹ LSV - Landessortenversuch

Abb. 12: Einfluss der Anbauintensität auf die Befallshäufigkeit von Weizenkörnern mit *Fusarium* spp. und *Microdochium nivale* (niedrige Intensität hellgrau, hohe Intensität dunkelgrau, Standorte Kerpen-Buir, Neukirchen-Vluyn und Hennef, 1998 – 2000).

n = Anzahl der Sorten, N = Stickstoff, WR = Wachstumsregulator, FB = Fungizidbehandlung (LIENEMANN unveröffentl.).

sich der Kornbefall im intensiven Anbau leicht um 0,3% und in Kerpen-Buir (2000) zeigten Weizenkörner aus niedriger Anbauintensität mit 28,6% einen signifikant höheren Befall gegenüber den Körnern aus intensivem Anbau (6,7%). Dies war auf starkes, Witterungsbedingtes Lager zurückzuführen, dass in Parzellen auftrat, in denen die Pflanzen nicht mit einem Wachstumsregulator behandelt worden waren. Das Lager zeigte jedoch keine fördernde Wirkung auf den Kornbefall mit *M. nivale*. Die nur geringfügigen Behandlungsunterschiede der zwei Anbauintensitäten im Jahr 1999 in Kerpen-Buir führten nicht zu Befallsunterschieden im Kornbefall mit *Fusarium* spp. und *M. nivale*.

In Kerpen-Buir (1998) war der Kornbefall mit *M. nivale* bei niedriger Anbauintensität höher als im intensiven Anbau (14,1% gegenüber 10,5%). Gegenläufig war das Befallsgeschehen dieses Pathogens in den Landessortenversuchen der nachfolgenden Jahre. In den Jahren 1999 und 2000 war tendenziell eine geringe Befallszunahme von *M. nivale* von 0,2% (1999) bzw. 2,3% (2000) zu beobachten. Das Auftreten war jedoch mit 0,1% (1999) und durchschnittlich 1,2% (2000) Kornbefall deutlich geringer als im Jahr 1998.

Der Einsatz eines Wachstumsregulators und einer zweimaligen Fungizidbehandlung führte im Jahr 1999 in Hennef zu einer Befallszunahme von 30% im Vergleich zu unbehandelten Weizenpflanzen (9,0% Kornbefall). In diesem Versuch wurde jedoch, anders als in den Landessortenversuchen, die gleiche Stickstoffmenge verabreicht. Der Kornbefall mit *M. nivale* war sehr gering (1,1%) und wurde durch die Behandlungen nicht signifikant beeinflusst.

3.3.2 Saatkichte

Der Einfluss der Saatkichte auf den anschließenden Kornbefall der Pflanzen mit *Fusarium* spp. wurde zur Zeit der Ernte an der Hybridsorte `Hybnos` über drei Jahre untersucht. Die Saatkichten 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. 13). 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 erhöhte sich signifikant gegenüber der geringsten Saatstärke auf 10,4% Befallshäufigkeit bei einer Saatkichte von 350 Körner/m². Der Kornbefall mit *Fusarium* spp. erhöhte sich tendenziell bei einer Saatstärke von 250 Körner/m² auf 2,4%, blieb aber auch bei einer Saatstärke von 350 Körner/m² unverändert in dieser Höhe. In den Jahren 1999 und

2000 war der Kornbefall mit *Fusarium* spp. bei einer Saatstärke von 230 Körner/m² mit 3,4% geringfügig höher als bei einer Saatstärke von 180 Körner/m² (2,2%).

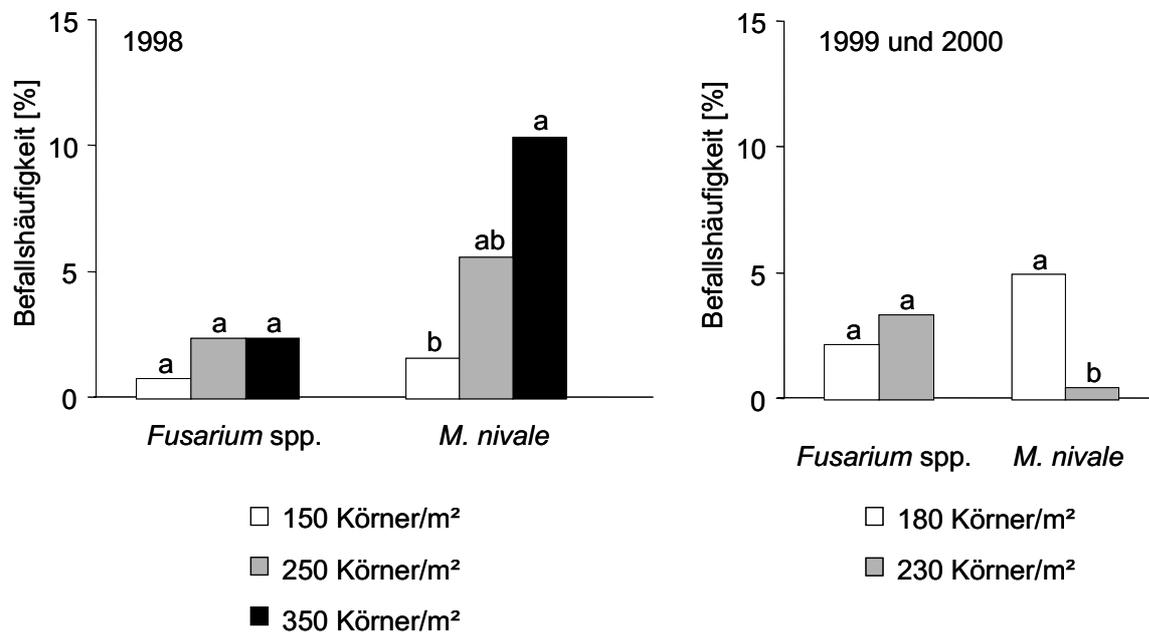


Abb. 13: Einfluss der Saatstärke auf den Kornbefall mit *Fusarium* spp. und *M. nivale* (cv. `Hybnos`, Kerpen 1998 – 2000).

Säulen einer Gruppe mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden, Dunn-Test ($\alpha = 0,05$) (LIENEMANN unveröffentl.)

Gegenläufig war das Auftreten von *M. nivale* in Abhängigkeit von der Saatstärke in diesen Jahren. Während der Befall bei einer Saatedichte von 230 Körner/m² 5% betrug, waren bei einer Aussaatstärke von 180 Körner/m² deutlich weniger Körners mit *M. nivale* befallen (0,5%).

3.3.3 Einfluss des Pflanzenphänotyps

In den Jahren 1999 und 2000 wurden in Hennef und Kerpen-Buir 15 Winterweizensorten untersucht, um Zusammenhänge zwischen dem Phänotyp der Pflanzen und dem Kornbefall durch *Fusarium*-Arten aufzuzeigen. 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 in Korrelationsanalysen verglichen.

3.3.3.1 Pflanzenlänge und Abstand Fahnenblatt-Ähre

Die 15 untersuchten Weizensorten wiesen ohne Einsatz eines Wachstumsregulators eine durchschnittliche Pflanzenlänge von 84,0 cm auf. Der Einsatz eines Wachstumsregulators zu BBCH 30 sowie einer Fungizidbehandlung zu BBCH 37 führten zu einer Reduktion der Pflanzenlänge auf durchschnittlich 78,3 cm. Die Pflanzenlänge war signifikant mit dem *Fusarium*-Befall korreliert (Abb. 14). 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. Die Befallshäufigkeit der Körner mit *Fusarium* spp. war in diesem Fall an Pflanzen ohne Einsatz eines Wachstumsregulators ebenfalls signifikant mit der Pflanzenlänge korreliert ($r = -0,77$), dies traf ebenso für Pflanzen nach einer Behandlung mit Wachstumsregulator und Fungiziden zu ($r = -0,71$).

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 war im Gegensatz zur Pflanzenlänge kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Abstand Fahnenblatt – Ähre und der Befallshäufigkeit der Körner mit *Fusarium* spp. festzustellen ($r = -0,35$).

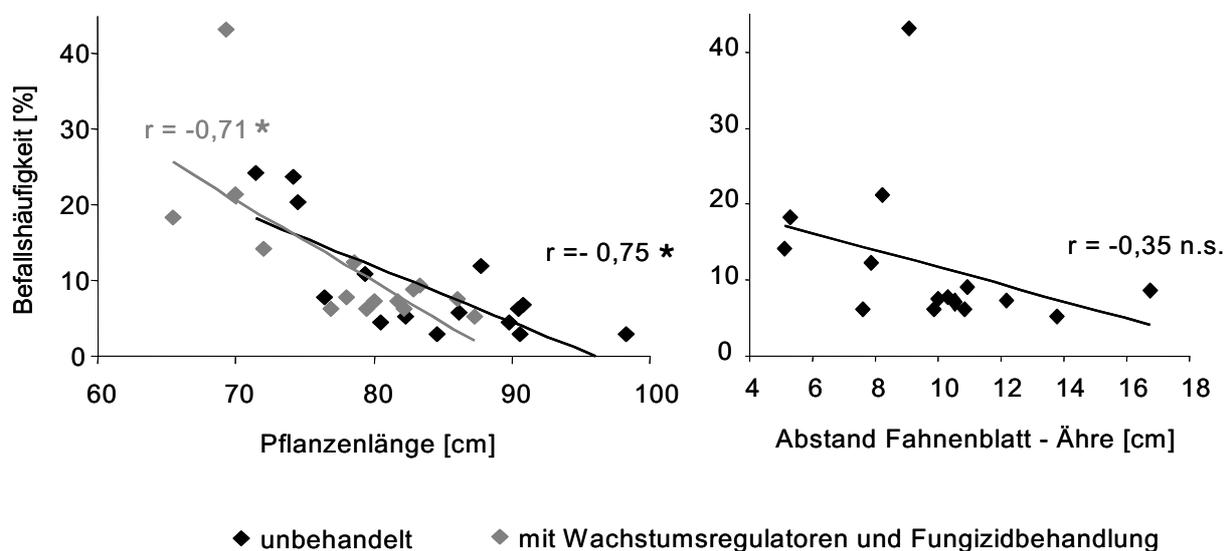


Abb. 14: Korrelation von Pflanzenlänge bzw. Abstand Fahnenblatt - Ähre und Befallshäufigkeit der Weizenkörner mit *Fusarium* spp. unter Einfluss eines Wachstumsregulators und einer Fungizidbehandlung Hennef (LIENEMANN unveröffentl.).

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

3.3.3.2 Ährendichte

Sorten unterscheiden sich häufig in der Form ihrer Ährenmorphologie, wobei die Kompaktheit einer Ähre durch den D-Wert beschrieben werden kann. Dieser setzt die Anzahl der Spindelstufen ins Verhältnis zur Ährenlänge. Je größer der D-Wert, desto dichter ist demzufolge die Ähre. In Abbildung 15 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. Zieht man das Bestimmtheitsmaß (B) 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*-Arten.

3.3.3.3 Fahnenblattstellung

Die Fahnenblattstellung als ein Sortenmerkmal des Getreides wird unterschieden in erektophile und planophile Blattstellung (Bild 3e, f). 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 gleichzeitig bei einem Abstand Fahnenblatt (F) – Ähre kleiner 10 cm mit 27,5% Befallshäufigkeit deutlich stärker befallen als bei einem Abstand $F - \text{Ähre} > 10 \text{ cm}$ (6,9%) (Abb. 16). Diese Befallsunterschiede traten jedoch nicht an Sorten mit planophiler Fahnenblattstellung auf. Das Befallsniveau der Körner dieser Sorten lag bei einem Abstand kleiner 10 cm bei 9% bzw. bei einem Abstand größer 10 cm des Fahnenblattes zur Ähre bei 7,5%.

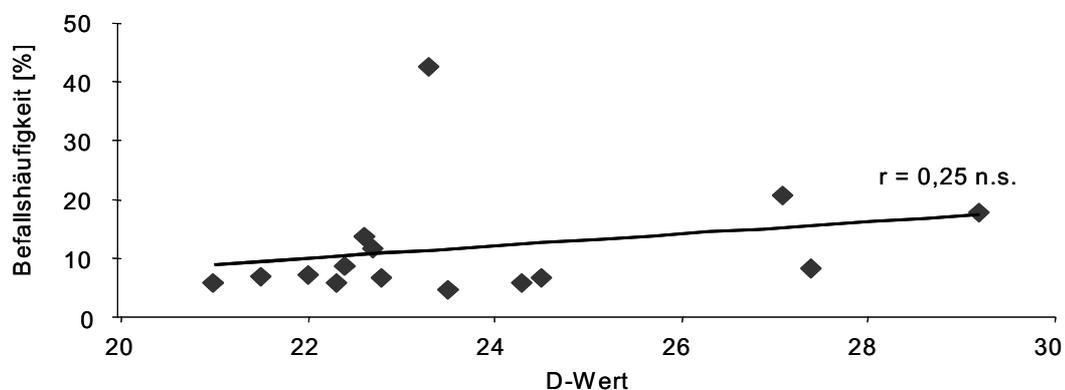


Abb. 15: Korrelation von Ährendichte und Befallshäufigkeit der Körner mit *Fusarium* spp. von 15 Winterweizensorten im intensiven Anbau in Hennef 1999 (LIENEMANN unveröffentl.).

3.4 Einfluss des Genotyps

3.4.1 Vergleich unter Praxisbedingungen

15 Weizensorten aus den Landessortenversuchen wurden im dreijährigen Anbau hinsichtlich ihrer *Fusarium*-Anfälligkeit miteinander verglichen. Der Anbau wurde bei konventioneller Anbauintensität (Einsatz eines Wachstumsregulators und zweimalige Fungizidbehandlung, 210 kg N/ha) durchgeführt. Die Rangzahlen wurden je Standort und Jahr entsprechend den Befallshäufigkeiten der Körner 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 17 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 2000 bei 10,0% (Neukirchen-Vluyn). Die Sorten `Charger` und `Bandit` und `Rialto` waren in allen Versuchen relativ anfällig gegenüber Ährenfusariosen, die mittleren Rangzahlen der drei Jahre betrugten 14,3, 13,0, bzw. 11,8 (Abb. 18). Auch die Sorte `Haven` erwies 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` waren dagegen in allen Umwelten gering anfällig gegenüber Ährenfusariosen. Ihnen wurden im Jahresmittel des untersuchten Sortenspektrums die niedrigsten Ränge von 4,7, 4,0 bzw. 3,3 zugeordnet. Das Befallsniveau aller anderen Sorten rangierte im mittleren Anfälligkeitsbereich ($\bar{\emptyset}$ Rang 7,6). Dabei können die Sorten `Contur` und `Brigadier` als gering- bis mittelanfällig, die Sorte `Reaper` dagegen als mittel- bis starkanfällig gegenüber Ährenfusariosen bewertet werden.

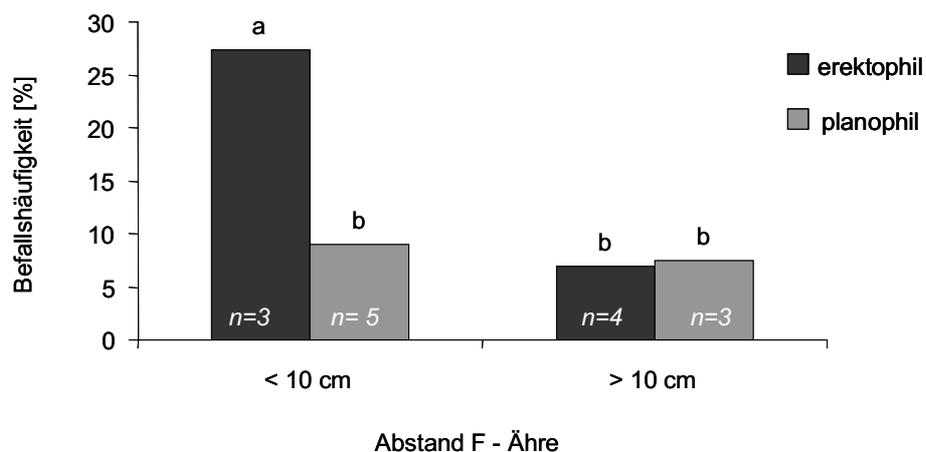


Abb. 16: Einfluss der Fahnenblattstellung auf den Kornbefall von Winterweizen mit Ährenfusariosen in Abhängigkeit vom Abstand des Fahnenblattes zur Ähre, Hennef 1999 (LIENEMANN unveröffentl.). n = Anzahl der Sorten



Bildtafel 3: Weizensorten **(a)** blühen unterschiedlich ab, dadurch tritt das anfällige Stadium der Weizenpflanzen, die Blüte **(b)**, zu unterschiedlichen Witterungs- bzw. Infektionsbedingungen auf. Bei Lager der Pflanzen **(c)** ist durch die Bestandesverdichtung und die Nähe der Ähren zum Boden ein besonders hohes Infektionsrisiko gegeben. Morphologische Pflanzenmerkmale, wie die Wuchshöhe einer Sorte **(d)** wirken sich auf die *Fusarium*-Anfälligkeit aus, kurzstrohige Sorten sind in der Regel anfälliger als langstrohige. Auch die Fahnenblattstellung kann den Ährenbefall beeinflussen, z.B. sind kurzstrohige Sorten mit erektophiler Blattstellung **(e)** anfälliger als kurzstrohige, planophile Sorten **(f)**.

Symptomausprägung verschiedener *Fusarium*-Arten an Winterweizen:

F. culmorum bildet zu Befallsbeginn unregelmäßige chlorotische bzw. nekrotische Flecken auf den Hüll- und Deckspelzen **(g)**; zur Abreife der Ähren sind infizierte Ährchen mit einem orange-rosafarbenen Sporenbelag überzogen (hier: *F. avenaceum*) **(h)**. Die Spindel ist durch systemisches Pilzwachstum befallen und nekrotisiert (hier: *F. graminearum*), es treten Sekundärinfektionen durch Schwärzepilze auf **(i)**. Der Spindelknoten ist rötlich verfärbt (hier: *F. graminearum*) **(j)**.

3.4.2 Toxingehalt der Weizenkörner

Im Jahr 1999 wurden in Hennef 15 Weizensorten wurde mit einem Gemisch aus vier *Fusarium*-Arten inokuliert. Es erfolgte eine Bodeninokulation zu BBCH 30 mit *Fusarium*-bewachsenen Körnern bzw. eine Sprühinokulation mit einer Konidien suspension zu BBCH 65. Inokuliert wurde mit *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. cerealis* und *F. poae*. Exemplarisch wurden 5 Weizensorten ausgewählt und der Toxingehalt der Körner nach der Ernte untersucht und dem Kornbefall mit den *Fusarium*-Arten gegenübergestellt (Abb. 19).

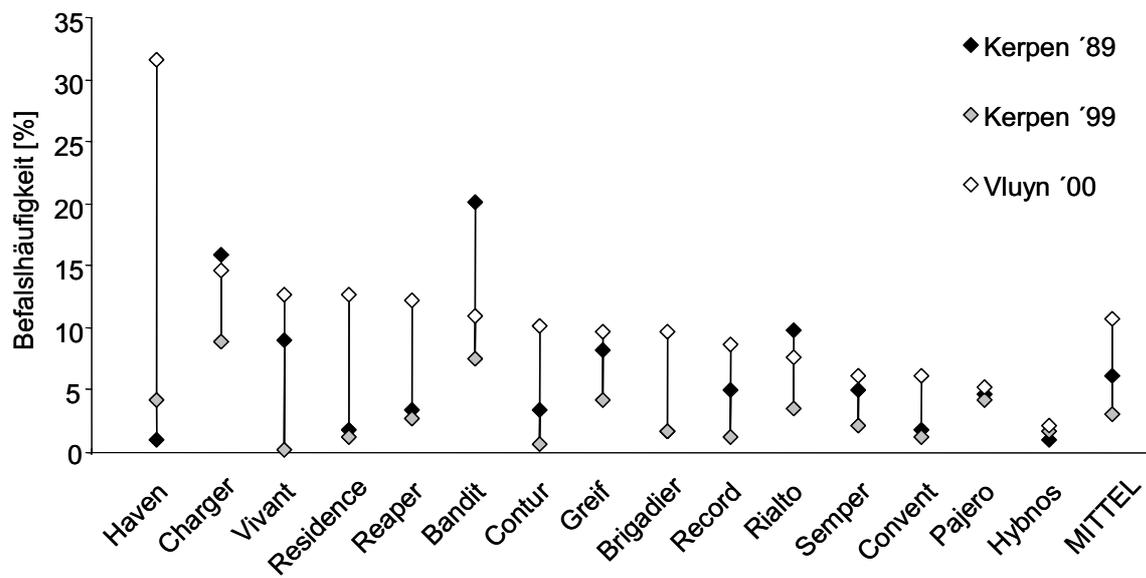


Abb. 17: Vergleich der Befallshäufigkeit mit *Fusarium* spp. verschiedener Winterweizensorten über drei Jahre an den Standorten Kerpen-Buir (1998 und 1999) und Neukirchen-Vluyn (2000) (LIENEMANN unveröffentl.).

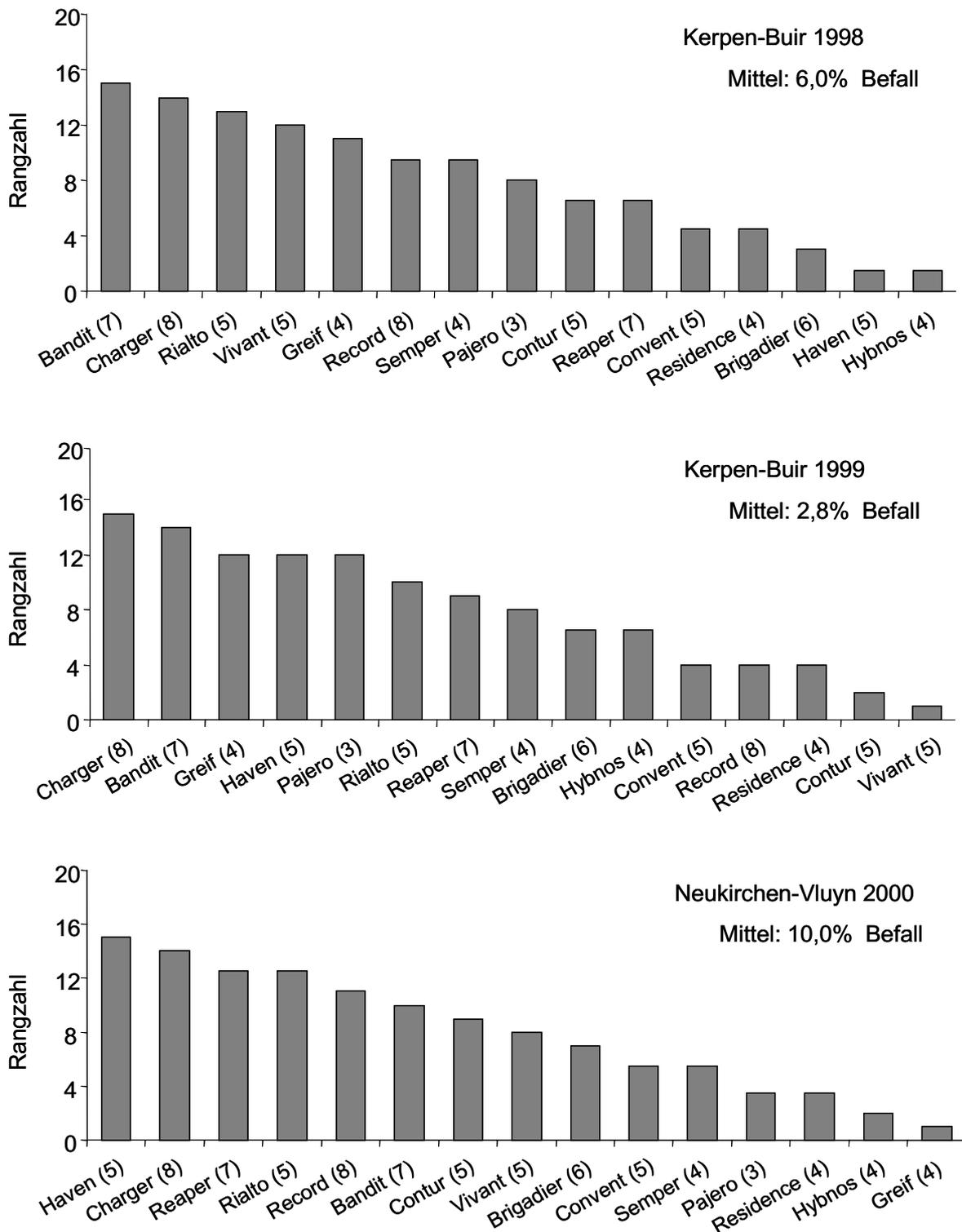


Abb. 18: Bewertung der Winterweizensorten nach ihrer Anfälligkeit gegenüber Ährenfusariosen, Sortenvergleich erfolgte mittels Rangzahlenvergleich: Die höchste Rangzahl steht für die am stärksten befallene(n) Sorte(n), die niedrigste für die am wenigsten befallene(n) Sorte(n) innerhalb des untersuchten Sortenspektrums, Zahlen in Klammern geben die Anfälligkeit gegenüber Ährenfusariosen laut BSA wieder (LIENEMANN unveröffentl.).

Alle verwendeten Isolate mit Ausnahme des *F. avenaceum*-Isolates waren Nivalenol-Bildner. *F. avenaceum* produziert dieses Toxin grundsätzlich nicht. Das erklärt, warum in der Toxinanalyse ausschließlich Nivalenol, nicht aber Deoxynivalenol bzw. dessen acetylierten Derivate gefunden wurde.

Eine Körnerinokulation führte zu einem sortenabhängigen Kornbefall zwischen 2,9% und 28,3%. Eine Sprüheinokulation hob das Befallsniveau stark an auf eine durchschnittliche Befallshäufigkeit von 54,9% (37,2% - 63,5%). Dabei wurden über 90% des Kornbefalls durch Nivalenol-bildende *Fusarium*-Arten verursacht. Unter beiden Inokulationsbedingungen zeigte

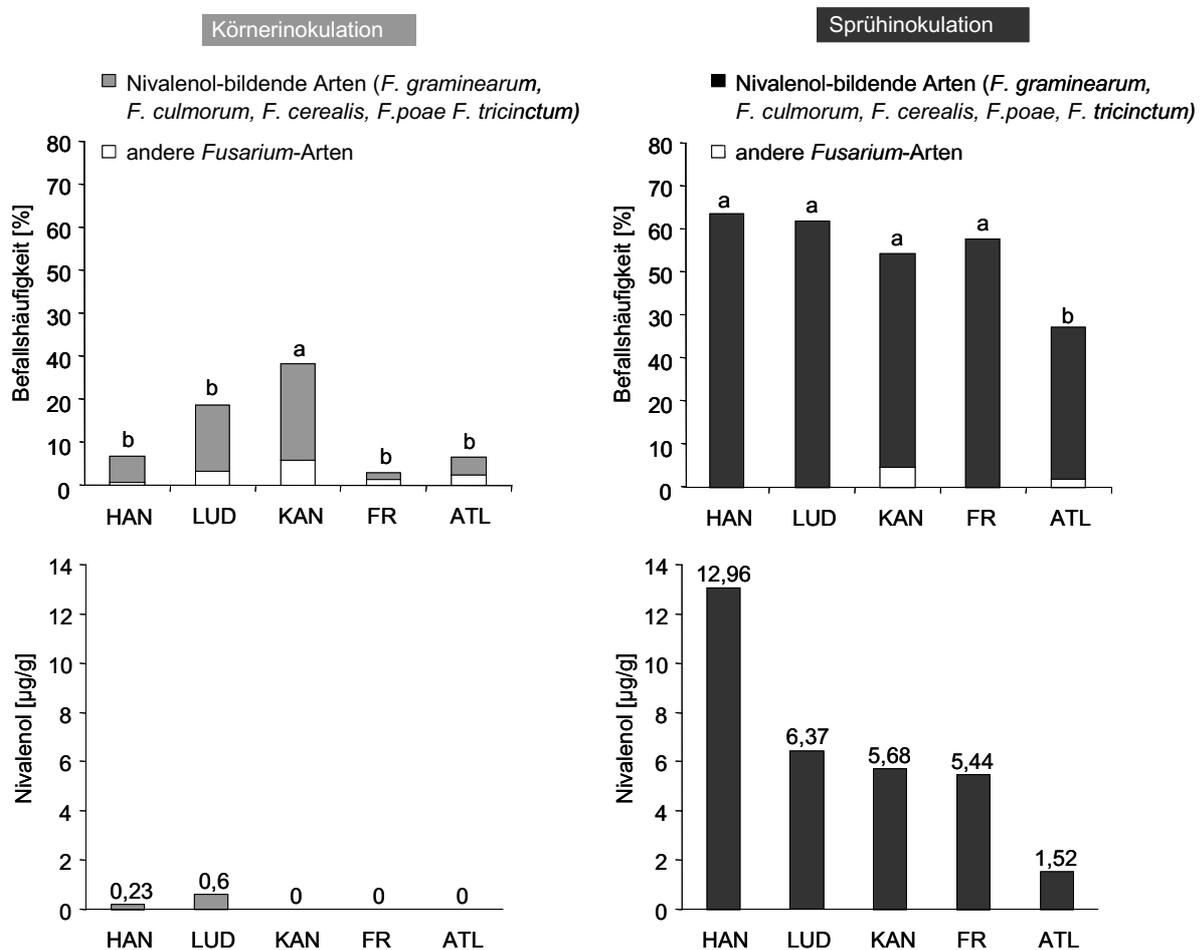


Abb. 19: Vergleich der Befallshäufigkeit und des Toxingehaltes von 5 Weizensorten nach Körner- bzw. Sprüheinokulation zu BBCH 30 bzw. 65 mit einem Gemisch von *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. poae*, *F. cerealis*, Hennef 1999, HAN = Hanseat, LUD = Ludwig, KAN = Kanzler, FR = Züchterlinie FR 444/06, ATL = Atlantis, Säulen mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (SNK-Test, $\alpha = 0,05$). (LIENEMANN unveröffentl.),

sich die Sorte `Atlantis` als gering anfällig. Selbst unter dem hohen Befallsdruck der Sprühinokulation waren bei dieser Sorte lediglich 37,2% der Körner mit *Fusarium* spp. infiziert. Körner der Sorten `Ludwig` und `Kanzler` waren nach einer Körnerinokulation mit 18,8% und 28,3% vergleichsweise stark befallen, wobei über 75% des Befalls durch Nivalenol-bildende *Fusarium*-Arten verursacht wurden. Nach Inokulation der Weizenblüten war dieser Unterschied jedoch nicht mehr vorhanden. Körner aller Sorten - mit Ausnahme der Sorte `Atlantis` - waren zu 54,3% - 63,5% mit *Fusarium*-Arten befallen.

Die Toxinbelastung der Körner war nach Ausbringung von Körnerinokulum auf den Boden sehr gering. Die Sorten `Hanseat` und `Ludwig` wiesen Nivalenol-Gehalte von 0,23 µg/g bzw. 0,60 µg/g auf. An den drei anderen Sorten konnte keine Toxinbelastung der Körner nachgewiesen werden. Nach der Sprühinokulation traten jedoch beträchtliche Sortenunterschiede auf. Der Nivalenol-Gehalt der Körner der Sorte `Hanseat` betrug 12,96 µg/g. Die Sorten `Ludwig` und `Kanzler` sowie die Zuchtlinie `FR 444/06` wiesen dagegen trotz ähnlich hohem Kornbefall nur Toxingehalte zwischen 5,44 µg/g und 6,37 µg/g auf. Wie das Befallsniveau war bei der Sorte `Atlantis` auch der Toxingehalt der Körner mit 1,52 µg/g Nivalenol relativ gering.

3.4.3 Einfluss auf Ertragsparameter

Im Freiland wurde der Einfluss des Ährenbefalls mit *Fusarium* spp. auf die Ertragsparameter Tausendkorngewicht (TKG) und Flächenertrag untersucht. Ein Vergleich von zwölf Sorten sowie drei Weizenlinien zeigte unter verschiedenen Befallsbedingungen (natürlicher Befallsdruck, Körnerinokulation und Sprühinokulation) sortenspezifische Abhängigkeiten der Ertragsparameter von der Stärke des jeweiligen Kornbefalls auf.

3.4.3.1 Tausendkorngewicht

Weizenkörner unbehandelter Pflanzen erreichten im Sortenmittel ein Tausendkorngewicht von 52,5 g (Tab. 23). Durch den Einsatz eines Wachstumsregulators zu BBCH 30 und einer Fungizidbehandlung zu BBCH 37 wurde im Mittel keine signifikante Änderung des Tausendkorngewichts herbeigeführt (Ø 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 Tausendkorngewicht ausübte. Im Sortenmittel wurde ein Tausendkorngewicht von 54,8 g erreicht. Viele Sorten hatten sogar unter natürlichem Befallsdruck ein, wenn auch nicht statistisch abzusicherndes, geringeres Tausendkorngewicht als nach Körnerinokulation. Eine Sprühinokulation mit einem Gemisch von vier *Fusarium*-Arten in die Weizenblüte reduzierte

bei fast allen Sorten das durchschnittliche Tausendkorngewicht der Sorten, nur die Sorte 'Hanseat' bildete eine Ausnahme. Im Vergleich zur Körnerinokulation führte die Sprühinokulation im Sortemittel zu einem um 7,7 g reduzierten Tausendkorngewicht ($\bar{\varnothing}$ 47,1 g). Unter den verschiedenen Befallssituationen war das Tausendkorngewicht 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.

Tab. 23: Einfluss einer *Fusarium*-Inokulation auf das Tausendkorngewicht von 15 Weizensorten (Hennef 1999; Inokulation mit *F. culmorum*, *F. avenaceum*, *F. cerealis* und *F. poae* zu BBCH 30 (Körnerinokulation) bzw. BBCH 65 (Sprühinokulation))
Koeffizient (r) als Maß der Beziehung zwischen Kornbefall und Tausendkorngewicht (LIENEMANN unveröffentl.).

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 Zahlen einer Reihe mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant voneinander

² Mittelwert \pm Standardabweichung

Korrelationskoeffizienten von $r > -0,90$ konnten dabei als statistisch gesichert gelten, wiesen somit auf einen deutlichen Zusammenhang zwischen dem Kornbefall und der Reduktion des Tausendkorngewichts 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 geringem Kornbefall das Tausendkorngewicht relativ stark variierte. Ein hohes Tausendkorngewicht einer Sorte war jedoch stets mit einem relativ geringen Kornbefall korreliert.

3.4.3.2 Flächenertrag

Die unbehandelten Weizenpflanzen erbrachten im Sortenmittel einen Ertrag von 78,5 dt/ha (Tab. 24). Der intensive Anbau mit Einsatz eines Wachstumsregulators und einer Fungizid-Behandlung 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. Es traten sortenspezifisch hohe negative Korrelationen zwischen Kornbefall mit *Fusarium* spp. und den Kornerträgen 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 Einfluss einer Ährenbehandlung mit Fungiziden

Im Jahr 2000 wurde an sieben Standorten eine Ährenbehandlung mit Azol-Fungiziden an der Sorte `Ritmo` durchgeführt. Die Fungizide wurden entweder als einfache Metconazol-Behandlung zu BBCH 65 oder als Doppelbehandlung mit Metconazol zu BBCH 65 und mit Tebuconazol zu BBCH 71 appliziert. Anschließend wurde die Befallshäufigkeit der Körner mit *Fusarium* spp., das Auftreten der *Fusarium*-Arten sowie der Toxingehalt der Körner untersucht.

Der Wirkungsgrad der verwendeten Fungizide gegen Ährenfusariosen ist in Abbildung 20 dargestellt. Natürlicher Befallsdruck führte im Jahr 2000 auf den untersuchten Standorten zu einem *Fusarium*-Besatz an den Körnern, der zwischen 5% in Mettmann und 69,5% in Kerpen-Buir variierte. Das durchschnittliche Befallsniveau lag bei 27,3%.

Tab. 24: Einfluss einer *Fusarium*-Inokulation auf den Flächenertrag von 15 Weizensorten (Hennef 1999; Inokulation mit *F. culmorum*, *F. avenaceum*, *F. cerealis* und *F. poae* zu BBCH 30 (Körnerinokulation) bzw. BBCH 65 (Sprühinokulation)
Koeffizient (r) als Maß der Beziehung zwischen Kornbefall und Flächenertrag (LIENEMANN unveröffentl.)

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 Zahlen einer Reihe mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant voneinander

² Mittelwert \pm Standardabweichung

Auf vier von sieben Standorten führte eine einfache Ährenbehandlung zum Zeitpunkt der Blüte zu einer Reduktion des Befalls mit *Fusarium* spp. am Korn, der Wirkungsgrad von Metconazol betrug durchschnittlich 31% (15 – 43%). An den Standorten Titz und Bergheim wurde - bei relativ hohen Befallshäufigkeiten von 26,5% und 31,5% in unbehandelten Parzellen - nach Fungizidapplikation in die Blüte eine Zunahme des Kornbefalls mit *Fusarium* spp. beobachtet. Der Befall stieg relativ zur Kontrolle um 13 - 14% an, die Befallszunahme konnte jedoch statistisch nicht abgesichert werden. In Ertstadt wurde durch eine einmalige Metconazol-Behandlung keine Befallsreduktion erzielt. Eine zweimalige Ährenbehandlung

reduzierte den *Fusarium*-Befall dagegen um 30%. Durch eine doppelte Ährenbehandlung konnte in Neukirchen-Vluyn und Kerpen der Wirkungsgrad der Azol-Fungizide von durchschnittlich 21% auf 47% signifikant gesteigert werden. Dies führte zu einer Befallsreduktion von 31% in Kerpen und 63% in Neukirchen-Vluyn.

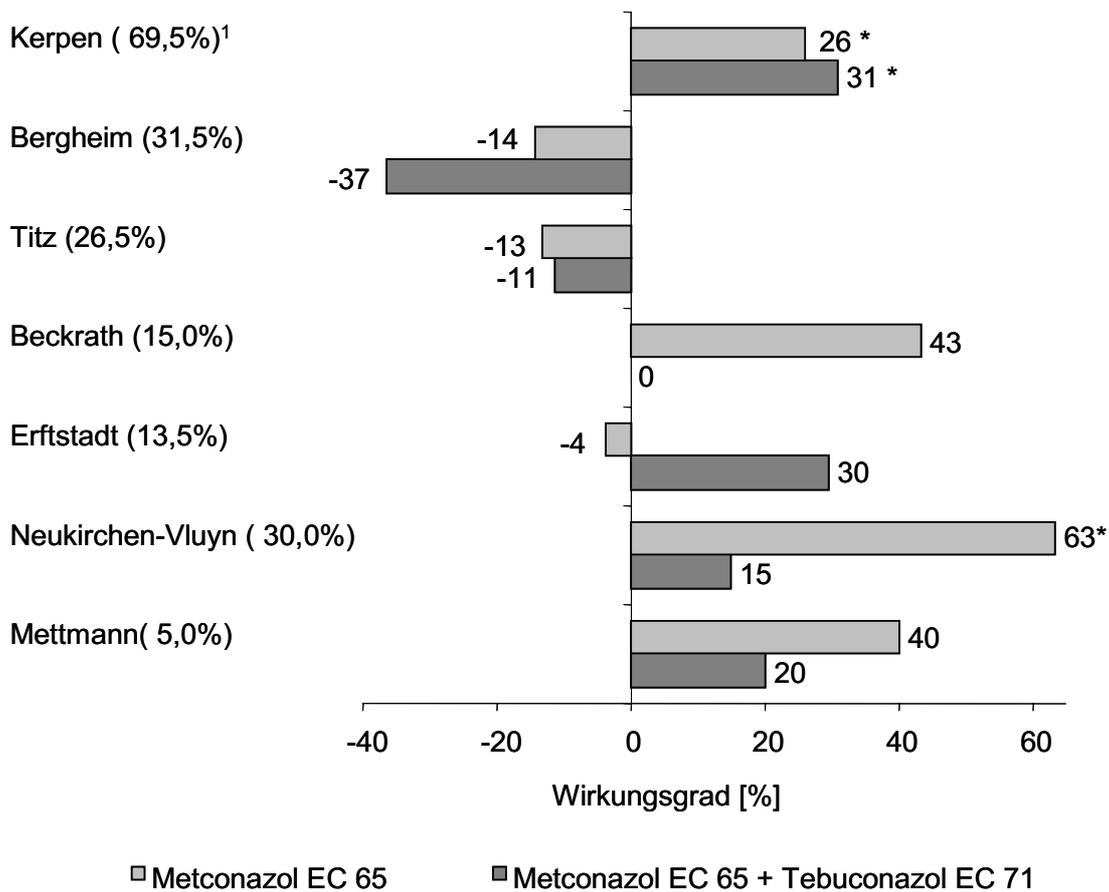


Abb. 20: Wirkungsgradsgrad von Metconazol und Tebuconazol auf den Kornbefall der Winterweizensorte `Ritmo` mit *Fusarium* spp. an sieben Standorten im Jahr 2000 (Referenzwert entsprach einer Schadschwellen-orientierten Behandlung mit zwei Fungizidbehandlungen zwischen BBCH 32 und 59

* = signifikant verschieden zum Referenzwert (SNK-Test, $\alpha = 0,05$) (LIENEMANN unveröffentl.)

In Beckrath und Mettmann war bei einem relativ geringen Befallsniveau eine einfache Behandlung effektiver als eine Doppelbehandlung. Der Kornbefall wurde bei zweifacher Applikation durchschnittlich nur um 10% reduziert, bei einmaliger Applikation war er um 42% reduziert. An den Standorten Titz und Bergheim führte keine der Ährenbehandlungen zu einer Befallsreduktion. Der Kornbefall war in diesen Varianten um 11% bzw. 37% höher als in Parzellen ohne Ährenbehandlung. Wird von den Standorten Titz und Bergheim abgesehen, so wurde im Durchschnitt bei einer einfachen Ährenbehandlung mit Metconazol zu BBCH 65 ein Wirkungsgrad von 24%, bei einer zweifachen Behandlung mit Metconazol zu BBCH 65 und Tebuconazol zu BBCH 71 ein Wirkungsgrad von 29% erreicht.

Eine befallsreduzierende Wirkung der Azol-Fungizide konnte nicht an allen Standorten festgestellt werden. Der Fungizid-Einfluss auf das Spektrum der *Fusarium*-Arten wurde aus diesem Grund differenziert betrachtet. Der Wirkungsgrad gegenüber den *Fusarium*-Arten wurde aus Versuchen mit einer erfolgreichen befallsreduzierenden Ährenbehandlungen verglichen mit dem Wirkungsgrad der Versuche, in denen eine Behandlung nicht zu einer Befallsreduktion führte (Abb. 21).

(A) In vier von sieben Versuchen führte eine einfache bzw. zweimalige Fungizidbehandlung zu einer Reduktion des Ährenbefalls mit *Fusarium*-Arten. Der höchste Wirkungsgrad wurde bei einfacher Ährenbehandlung gegenüber *F. graminearum* (69%) und *F. culmorum* (61%) erzielt. Durch eine zweite Azol-Behandlung konnte ein Wirkungsgrad von 91% gegenüber beiden *Fusarium*-Arten erzielt werden. Die Bekämpfung von *F. avenaceum* und *F. poae* zeigte sich weniger erfolgreich. Der Kornbefall mit diesen beiden Arten wurde bei einfacher Behandlung um 31% reduziert, eine zweite Behandlung reduzierte das Auftreten von *F. avenaceum* zwar zu 35%, *F. poae* konnte jedoch nicht bekämpft werden. Keine Wirkung erzielten die Azole nach einfacher Ährenbehandlung gegenüber dem Befall mit *F. tricinctum*. Diese *Fusarium*-Art trat nach einer Ährenbehandlung doppelt so häufig auf wie in der Kontrolle, nach zweifacher Behandlung wurde eine geringe Befallsreduktion registriert.

(B) An drei Standorten wurde durch eine Metconazol-Behandlung zu BBCH 65 kein effektiver Wirkungsgrad gegenüber den *Fusarium*-Arten erzielt. Das Auftreten von *F. culmorum* und *F. graminearum* konnte nicht reduziert werden, die Befallshäufigkeit dieser Arten nahm sogar zu (+14% bzw. +42%). *F. avenaceum* und *F. tricinctum* wurden nur um 5% bzw. 7% in ihrem Auftreten reduziert. Der Befall mit *F. poae* blieb durch die Behandlung gänzlich unbeeinflusst. Trat bei einer zweimaligen Azol-Behandlung keine Reduktion des Gesamtbefalls der Ährenfusariosen ein, so konnte das auf die fehlende

Wirkung gegenüber *F. tricinctum*, *F. culmorum* und *F. poae* zurückgeführt werden. Der Kornbefall mit *F. avenaceum* wurde durch eine zweimalige Azol-Behandlung um 16,7% reduziert, während das Auftreten von *F. graminearum* sogar zu 50% kontrolliert wurde.

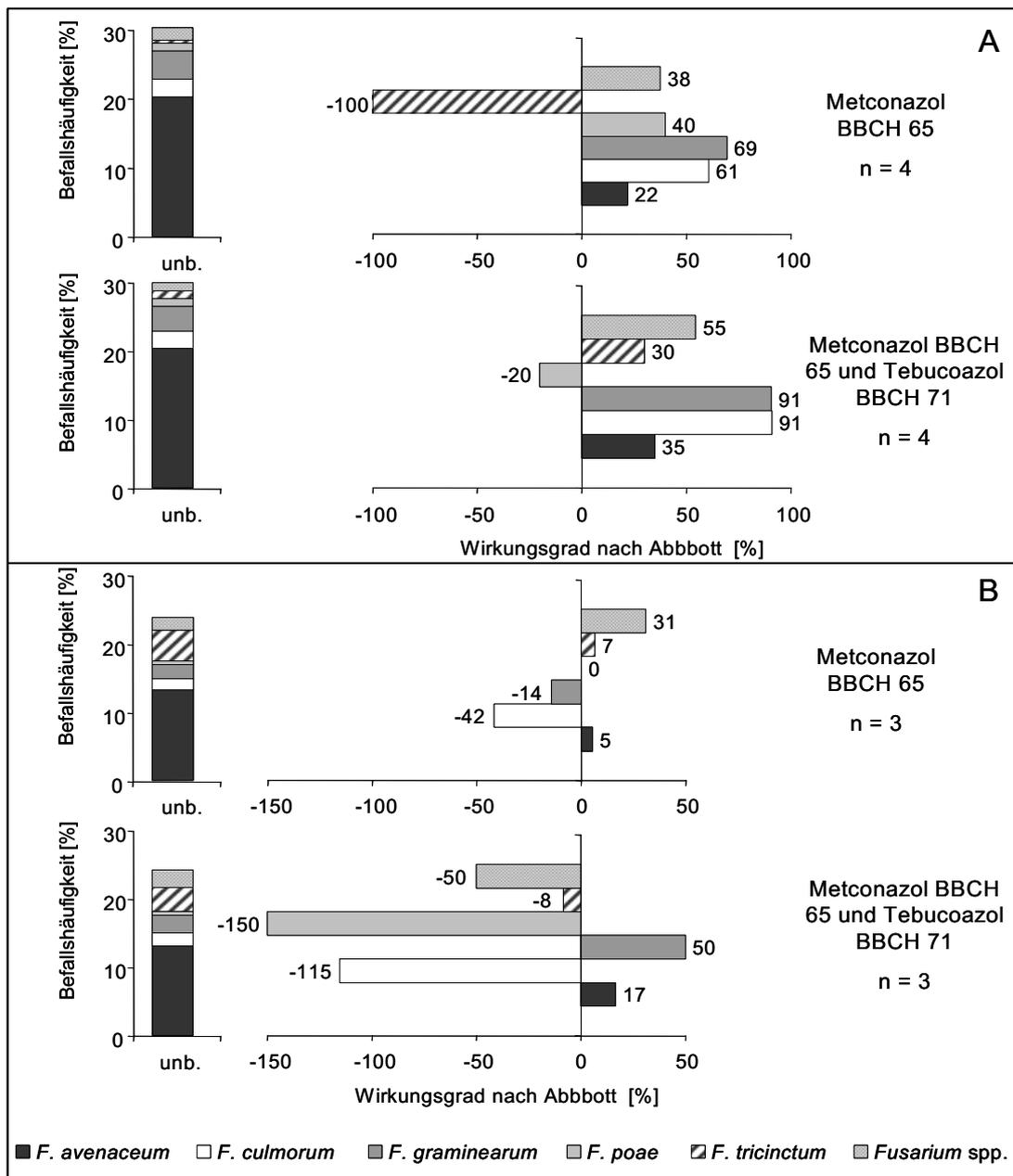


Abb. 21: Wirkungsgradsgrad von Metconazol und Tebuconazol nach Applikation zu BBCH 65 bzw. BBCH 65 und 71 auf das Auftreten verschiedener *Fusarium*-Arten an Weizenkörnern in Versuchen mit einer befallsreduzierenden Wirkung der Ährenbehandlung (A) bzw. ohne befallsreduzierende Wirkung der Ährenbehandlung (B). Die Kontrolle entsprach einer Schadschwellen-orientierten Behandlung mit zweimaliger Fungizidapplikation zwischen BBCH 32 und 59 (Sorte `Ritmo`, 2000) n = Anzahl berücksichtigter Standorte (LIENEMANN unveröffentl.)

In Versuchen, in denen die Azol-Behandlungen die Befallshäufigkeit der Körner mit *Fusarium* spp. reduzierten, war in unbehandelten Parzellen eine durchschnittliche Befallshäufigkeit von 30% zu verzeichnen. An den Standorten, an denen keine Reduktion des Kornbefalls erreicht wurde, war die unbehandelte Kontrolle im Mittel zu 24% befallen. Auffällig war der sehr hohe Anteil von *F. tricinctum* von durchschnittlich 4,6% an diesen Standorten im Vergleich zum Kornbefall von durchschnittlich 0,9% mit *F. tricinctum* auf den anderen Standorten.

4 Diskussion

Seit Beginn der 80iger Jahre des letzten Jahrhunderts wurde dem Problem der Ährenfusariosen vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt. Kühl-feuchte Witterung während der Getreideblüte lösten weltweit immer wieder *Fusarium*-Epidemien aus, so z.B. im Jahr 1980 in Kanada und in den USA (MCMULLEN *et al.* 1997, SUTTON 1982), in den Jahren 1985 und 1986 in Südafrika (BOSHOFF *et al.* 1999), 1993 in Argentinien (DALCERO *et al.* 1997) oder 1981 in Deutschland (AHRENS & FEHRMANN 1984). 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. Die Zusammenwirkung unterschiedlicher *Fusarium*-Arten und der starke Einfluss der Witterung auf den Infektionsverlauf 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 *M. nivale* am Erntegut untersucht. Die Untersuchungen gliederten sich dabei in die Bereiche:

- a) Erfassung des Ährenbefalls mit *Fusarium* spp. unter Praxisbedingungen
- b) Erfassung der Infektionsbedingungen für *Fusarium* spp. unter kontrollierten Bedingungen und im Freiland
- c) Maßnahmen zur Reduktion des Ährenbefalls mit *Fusarium* spp.

Im Überblick der untersuchten Jahre zeigt das Befallsgeschehen im Rheinland einen deutlichen jahresabhängigen Einfluss. Der durchschnittliche Kornbefall mit Ährenfusariosen lag im Jahr 1998 bei 6,3%; gleichzeitig wurde mit 20,3% ein starkes Auftreten von *M. nivale*, dem Erreger des Schneesimmels, an den Körnern beobachtet. In den nachfolgenden Jahren 1999 und 2000 kehrte sich dieses Verhältnis um, das Befallsniveau mit Ährenfusariosen war mit 18 - 20% deutlich höher als im Jahr 1998. Gleichzeitig ging der Kornbefall mit *M. nivale* auf 0 - 1% zurück. Diese Durchschnittswerte stellen ein Mittel aus Versuchdaten verschiedener Standorte, Sorten und Anbaubedingungen (u.a. konventionell und ökologisch) dar. Eine detailliertere Betrachtung des *Fusarium*-Komplexes, welcher auf multifaktorielle Ursachen beruht, ist somit erforderlich und soll im nachfolgenden diskutiert werden.

Einfluss der Witterung

Im so genannten „*Fusarium*-Jahr“ 1998 trat witterungsbedingt vielerorts ein starker *Fusarium*-Befall auf und in vielen Getreideproben wurden hohe Toxinwerte bestimmt (BECK & LEPSCHY VON GEISSENTHAL 2000, ELLNER 2000, MATTHIES *et al.* 2000, MEIER *et al.* 2000). An dem im Rheinland 1998 untersuchten Standort Kerpen-Buir wurde dagegen nur an wenigen Sorten ein starker Kornbefall registriert. Auch Weizen von Standorten des ökologischen Landbaus wies keinen auffällig hohen Kornbefall mit *Fusarium* spp. auf. Im Gegensatz dazu stand das sehr starke Auftreten von *M. nivale* in beiden Bewirtschaftungsformen. An anderer Stelle wird aber auch über hohe Befallswerte an Weizenkörnern im Jahr 1998 an Standorten im Rheinland berichtet (MEIER *et al.* 2000). Der Mai 1998 war im Vergleich zum mehrjährigen Mittel zu warm sowie im weitaus größten Teilen Deutschlands zu trocken (DEUTSCHER WETTERDIENST 1998). Der Einfluss der regionalen Witterungsunterschiede wird hierbei deutlich. Je nach Blühzeitpunkt des Weizens spielt die Witterung Ende Mai bis Mitte Juni eine entscheidende Rolle im Infektionsverlauf. Ende Mai kam es in vielen Teilen Deutschlands zu starken Niederschlägen. Stand der Weizen dann bereits in Blüte, so kam es auf Grund des witterungsbedingten hohen Befallsdruckes zur Ähreninfektion. In Kerpen-Buir trat die Weizenblüte zwischen dem 7. – 12. Juni ein und war durch zwei starke Niederschlagsereignisse gekennzeichnet. An den anderen Tagen fielen zwischen 0 - 3 mm Regen. Dabei wird eine Niederschlagsmenge von 4 mm zumindest als Voraussetzung für den Ascosporenflug von *F. graminearum* angesehen, um zu einer Verbreitung im Weizenbestand zu führen (OBST & BECHTEL 2000). Die hohen Temperaturen im Monat Mai unterdrückten möglicherweise den Aufbau eines hohen Inokulumpotenzials von *F. avenaceum* und *F. culmorum*. Diese beiden Arten – besonders *F. avenaceum* - dominierten auf diesem Standort. *F. avenaceum* und *F. culmorum* bevorzugen kühlere und feuchtere Klimate, während *F. graminearum* eher in wärmeren Klimaten vorzufinden ist (PARRY *et al.* 1995, SCHILLING *et al.* 1997). Dies erklärt möglicherweise das geringere Auftreten von Ährenfusariosen an diesem Standort.

Microdochium nivale, der Erreger des Schneeschimmels, trat im Jahr 1998 an allen untersuchten Standorten stark auf. Als optimale Infektionsbedingungen für *M. nivale* gilt eine kühl-feuchte Witterung (MAULER-MACHNIK & ZAHN 1994). BAHLE & LEIST (1997) und SCHÜTZE (1999) schätzten die optimalen Infektions- und Wachstumsbedingungen für *M. nivale* aber in einem breiteren Temperaturbereich. Die eigenen Beobachtungen stützen diese Vermutung. Möglicherweise ist die starke Ausbreitung aber auch als Folge des milden Winters 1997/98 anzusehen oder auf einen vorübergehenden Rückgang der Temperatur im Juni zurückzuführen. Vier Tage mit durchschnittlichen Tagestemperaturen von 12,6°C waren

in der zweiten Juniwoche eventuell ausreichend, um eine starke Kornbesiedlung durch *M. nivale* zu fördern, während das Wachstum der *Fusarium*-Pilze durch diese Temperaturen verzögert wurde.

Dabei sind die Verteilung der Niederschläge sowie die Niederschlagsmengen nicht unerheblich. Eine 2 – 3-tägige Regenperiode führt zu einer stärkeren Konidienverbreitung als isolierte Niederschlagsereignisse. OBST & BECHTEL (2000) nannten 5 Tage mit Niederschlägen oder Blattnässe unmittelbar nach dem Ascosporenflug von *F. graminearum* als Voraussetzung für eine Ähreninfektion durch Konidiosporen von *F. graminearum*. Im Jahr 1999 hielt in Kerpen-Buir eine Trockenperiode in der Weizenblüte (9. – 12. Juni) möglicherweise das Inokulumpotenzial auf einem niedrigen Niveau, so dass trotz eines nachfolgenden Regenereignisses (< 4 mm) eine Inokulumverbreitung im Bestand ausblieb. Denn die Verbreitung der Konidien nimmt, unabhängig von der *Fusarium*-Art und dem Jahr, in erster Linie mit der Anzahl der Regentage zu (ROSSI *et al.* 2000).

Der sehr starke Ährenbefall im Jahr 2000 in Kerpen-Buir an Pflanzen, die nicht mit einem Wachstumsregulator behandelt worden waren, ist auf witterungsbedingtes Lager der Weizenpflanzen vier Wochen vor der Ernte zurückzuführen. Das am Boden liegende Getreide trocknet weniger schnell ab, gleichzeitig wird der Infektionsweg der *Fusarium*-Pilze vom Boden bis zur Ähre extrem verkürzt. Dies führte insgesamt zu einer Befallszunahme von über 50% im Vergleich zu Pflanzen, die mit einem Wachstumsregulator behandelt worden waren.

Einfluss des Standortes

Ein deutlicher Standorteinfluss auf das Auftreten von Ährenfusariosen zeigte sich beim Vergleich der Weizensorte `Ritmo` an sieben Standorten im Rheinland. Die Befallshäufigkeiten der Körner variierten in Abhängigkeit von dem Standort signifikant zwischen 7% und 54%. Die Ergebnisse bestätigen die Beobachtungen von MÜLLER *et al.* (1998) und LANGSETH *et al.* (1995), die ebenfalls von Standort- und jahresklimatischen Einflüssen auf das Auftreten von Ährenfusariosen berichteten. Auch das Spektrum der *Fusarium*-Arten war sehr unterschiedlich. In Kerpen-Buir trat *F. avenaceum* mit einem Anteil von 74% am Artenvorkommen auf, dagegen traten in Neukirchen-Vluyn hauptsächlich *F. culmorum* und *F. graminearum* mit einem Gesamtanteil von 68% auf. Die Bodenbearbeitung vor der Aussaat wurde an allen Standorten mit dem Pflug durchgeführt. Diese Maßnahme führt zu einer Reduktion der *Fusarium*-Arten im Boden, da den saprophytisch lebenden Pilzen durch den mikrobiellen Abbau der organischen Substanz die Nahrungsgrundlage entzogen wird. An den Standorten sind auf Grund der unterschiedlichen Bodenarten,

Humusgehalte, pH-Werte und der exponierten Lage (Höhe, Witterung) Unterschiede in der mikrobiellen Aktivität des Bodens zu erwarten. Insbesondere die Bodenreaktion (Änderungen im pH-Wert) üben einen starken Einfluss auf die Bodenmikroflora aus (STEINBRENNER 1996).

Auftreten der *Fusarium*-Arten

Die am häufigsten im Rheinland auftretenden *Fusarium*-Arten der Jahre 1998 - 2000 waren *F. avenaceum* (43%), *F. culmorum* (21%), *F. graminearum* (11%) *F. poae* (10%), *F. tricinctum* (7%), *F. cerealis* (4%) sowie *Microdochium nivale*. Des Weiteren wurden *F. equiseti*, *F. sporotrichioides* und nicht näher bestimmte *Fusarium*-Arten von den Weizenkörnern isoliert. Untersuchungen im Jahr 1995/96 wiesen bereits auf *F. avenaceum* als im Rheinland standortunabhängig am häufigsten auftretende Art hin (SCHÜTZE 1999). Im Gegensatz dazu wird aus Süddeutschland in den letzten Jahrzehnten über das zunehmende Auftreten von *F. graminearum* infolge des stärker werdenden Maisanbaus berichtet (RINTELEN 2000). MIELKE & MEYER (1990) beschrieben eine starke Ausbreitung von *F. culmorum* in Deutschland seit Mitte der achtziger Jahre. Auch in den Niederlanden wurde die partielle Taubährigkeit – das Symptom der Ährenfusariosen - hauptsächlich durch *F. culmorum* und in einem geringeren Ausmaß durch *F. graminearum* verursachte (SNIJDERS & PERKOWSKI 1990). Aus Dänemark und Norwegen wurde in den letzten Jahren neben *F. avenaceum*, *F. poae* und *F. culmorum* auch häufig *F. tricinctum* von den Körnern isoliert (KOSIAK *et al.* 1997, LANGSETH *et al.* 1997, THRANE 2000).

Das starke Auftreten von *F. avenaceum* im Rheinland ist auf die spezielle Fruchtfolge Winterweizen – Wintergerste - Zuckerrüben bzw. Winterweizen – Winterweizen – Zuckerrüben zurückzuführen. HALL & SUTTON (1998) konnten zeigen, dass das Auftreten von *F. avenaceum* positiv mit dem Anteil von Gräsern bzw. Getreide in der Fruchtfolge korreliert. 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. *F. avenaceum* ist in der Lage unter sehr kühlen Bedingungen zu wachsen. SAMSON *et al.* (1995) berichteten über eine minimale Wachstumstemperatur von -3°C. Im Allgemeinen wird sein Auftreten in Klimaten mit Temperaturen im Jahresmittel von 5 - 15°C und jährlichen Niederschlägen > 500 mm beschrieben (ABBAS *et al.* 1987, BURGESS *et al.* 1988, KOMMEDAHL *et al.* 1988). Möglich scheint auch, dass der als schwache pathogen geltende *F. avenaceum* (MANKA *et al.* 1985) sich im Rheinland auf Grund nicht vorhandener Konkurrenz durch stärker pathogene Arten wie z.B. *F. graminearum* weitflächig ausbreiten kann.

Fusarium culmorum hat ähnliche Temperatur- und Feuchtigkeitsansprüche wie *F. avenaceum*. Auch diese Art dominiert in kühleren Klimaten als *F. graminearum* (LACEY 1999). JUGNET *et. al.* (1983) nannten ein möglichst hohes tägliches Temperaturmaximum, mindestens $> 10^{\circ}\text{C}$, und eine tägliche Luftfeuchtigkeit vom mindestens 80% als Voraussetzung für die Ausbreitung und Infektion von *F. culmorum*.

Fusarium graminearum trat im Untersuchungszeitraum im Rheinland kaum auf. Ein Anteil von durchschnittlich 9% war auf das relativ starke Auftreten dieser Art in Neukirchen-Vluyn zurückzuführen. Auf der dort untersuchten Fläche war Mais kein Bestandteil der Fruchtfolge, wurde aber in der Region und auch auf Nachbarflächen angebaut. Mais als Vorfrucht erhöht das Risiko einer Ähreninfektion in der darauf folgenden Vegetationsperiode (BECK & LEPSCHY VON GEISSENTHAL 2000). Mais ist ebenso wie andere Getreidearten Wirtspflanze für *F. graminearum*, der an dieser Pflanze vor allem eine Stängelfäule verursacht, aber auch alle Teile des Kolbens befallen kann. Der Pilz überwintert in seiner teleomorphen Form an den auf dem Acker verbleibenden Maisstoppelresten und breitet sich in der folgenden Vegetationsperiode nach Bildung von Ascosporen erneut im Bestand aus (OBST 1994). Maisstroh verrottet im Boden sehr viel schlechter als anderes Getreidestroh und kann deshalb auch nach einer Verweildauer im Boden von ein bis zwei Jahren durch erneutes Pflügen an die Oberfläche gelangen und Nährboden für *Fusarium*-Arten bieten (BECK & LEPSCHY VON GEISSENTHAL 2000). Aus den vorliegenden Ergebnissen ist darauf zu schließen, dass der Zuflug von Ascosporen oder Konidien von Nachbarflächen bedeutend sein kann. Auch ADOLF (1998) schloss aus Untersuchungen des Sporenflugs von *F. graminearum*, dass der Zuflug windbürtiger Ascosporen eine potentielle Inokulumquelle für eine Ähreninfektion darstellt.

Fusarium poae trat im Rheinland in Abhängigkeit von Jahr und Standort als dritt- bzw. vierthäufigste Art auf. Diese Daten decken sich mit den Untersuchungen von MEIER *et al.* (2000) und ELLNER (2000). MAULER-MACHNIK & ZAHN (1994) und SCHÜTZE (1999) verweisen auf eine deutliche Zunahme und Verbreitung von *F. poae* in Deutschland in den Jahren 1988 - 1993. Untersuchungen im Großbritannien und in Norwegen zeigten, dass *F. poae* zu den am weitesten verbreiteten Arten gezählt werden muss (LANGSETH *et al.* 1999, POLLEY *et al.* 1991). Über die Epidemiologie und Ausbreitung von *F. poae* im Weizenbestand ist wenig bekannt. Der Pilz scheint jedoch kühlere Klimate zu favorisieren. Eventuell ist aber das stärkere Auftreten in Nordeuropa auch darauf zurückzuführen, dass er sich unter den dort herrschenden Bedingungen besser als andere Arten etablieren kann.

Fusarium tricinctum, eine im Rheinland nicht selten auftretende Art, wird in der Literatur kaum beschrieben. Sie zählt in Norwegen neben *F. avenaceum*, *F. poae* und *F. culmorum* zu den am häufigsten isolierten Arten (KOSIAK *et al.* 1997, LANGSETH *et al.* 1997). Angaben über Infektionsbedingungen können nicht gemacht werden.

Die Zusammensetzung des Artenspektrums wird neben der Witterung auch durch das Vorhandensein natürlicher Inokulumquellen beeinflusst. Pflanzenrückstände und Bodenpartikel waren nach HALL und SUTTON (1998) die wichtigsten Inokulumquellen. Sie dienen den Pilzen als Nährsubstrat und die Pilze können an ihnen als Myzel oder in Form von vegetativen Dauersporen (Chlamydosporen) im Boden überdauern. Der Saatgutbefall nimmt, da wirksame chemische Beizen zur Verfügung stehen, in der konventionellen Landwirtschaft eine untergeordnete Rolle ein. Der Anteil *Fusarium*-befallener organischer Partikel im Boden ist nach Vorfrucht Mais um ein vielfaches höher als nach Vorfrucht Weizen oder Zuckerrübe (MEIER *et al.* 2001). Als weitere Inokulumquellen nennen diese Autoren Ungräser und dort im Besonderen das Klettenlabkraut, welches teilweise stärker befallen war, als das umgebende Getreide.

Einfluss auf den Ertrag

Erfolgt eine *Fusarium*-Infektion zum Zeitpunkt der Blüte, so ist in Abhängigkeit von der Befallsstärke der Körner mit Ertragsverlusten und einer Reduktion des Tausendkorngewichts zu rechnen. Unter natürlichem Befallsdruck und verstärktem Inokulumdruck (Körner- und Sprühinokulation) wurden sortenabhängige Korrelationen zwischen dem Kornbefall und den Ertragsparametern Tausendkorngewicht und Flächenertrag beobachtet. Auf Grund der unterschiedlichen Inokulationsbedingungen konnten jedoch nur Korrelationskoeffizienten von $> -0,95$ als signifikant abgesichert werden. JONES (2000) führte in den Jahren 1994 – 1997 Inokulationsversuche (Sprühinokulation in die Weizenblüte) durch und stellte signifikant negative Korrelationen zwischen der Ausprägung der Ährensymptome (% partielle Taubährigkeit) und dem Flächenertrag bzw. dem Tausendkorngewicht von $r = -0,65$ bzw. $r = -0,60$ feststellen. Hoher Kornbefall und gleichzeitig relativ hohe Erträge wiesen auf eine mögliche Toleranz der Sorten gegenüber Ährenfusariosen hin (Resistenz-Typ IV, WANG & MILLER 1988). Dies konnte z. B. bei den Sorten `Atlantis`, `Dream` oder der Zuchtlinie `FR 444/06` beobachtet werden. Bei den Sorten `Renan` oder `Motiv` spiegelte sich dagegen eine Zunahme des Kornbefalls deutlich in einer Reduktion des Tausendkorngewichts und des Ertrages wider. Bei einigen Sorten wurde nach Körnerinokulation eine Zunahme des Tausendkorngewichts beobachtet. Dies ist wahrscheinlich auf kümmerkornbildung von einzelnen befallenen Körnern und die weitgehend unbeeinträchtigte Entwicklung der anderen

Körner zurückzuführen. Infolge von *Fusarium*-Befall erhöhte Tausendkorngewichte können das Ergebnis von Verlusten an kleinen, schlecht ausgebildeten Körnern beim Drusch sein (MARTIN & MCLEOD 1991). Die durch Kümmerkornbildung eintretenden Ertragsverluste sind als Folge davon anzusehen.

Infektionsverlauf

Die Infektion der *Fusarium*-Pilze erfolgt von am Boden verbliebenen Pflanzenresten, an denen sie in Form von Myzel, Chlamydosporen oder Perithezien überdauern. Bei entsprechender Witterung bilden sie entweder Ascosporen (*Gibberella zeae*) oder vegetativ Konidiosporen aus und können sich dadurch witterungsabhängig im Weizenbestand verbreiten. Obwohl von *F. avenaceum* auch die Hauptfruchtform *Gibberella avenacea* beschrieben wird, ist über eine Ascosporeneninfektion an Weizenähren dieser Art nichts bekannt. Zum Ende der Schoßphase (BBCH 39) war im Blattgewebe aller Blattetagen, mit Ausnahme des Fahnenblattes, bereits eine *Fusarium*-Infektion nachweisbar. Die Blätter wiesen zu diesem und auch zu den späteren Terminen keine Befallssymptome auf. Diese symptomlose Blattpassage der Fusarien wird auch von ADLER (1990) beschrieben. Die Befallshäufigkeit mit *Fusarium* spp. nahm bis zum Ende des Ährenschiebens (BBCH 51) nicht bedeutend zu. Gleichzeitig konnte jedoch von Beginn des Ährenschiebens bis zum Blühbeginn (BBCH 61) ein Anstieg der Sporenmenge auf den Blättern aller Blattetagen nachgewiesen werden. Diese Ergebnisse bestätigen Untersuchungen von ADOLF (1998). Sie konnte *Fusarium*-Sporen auf den unteren Blattetagen bis F-4 während der gesamten Vegetation nachweisen, auf den Blattetagen F-3 bis F erst später in der Vegetationsperiode. Die Sporenmenge stieg zur Abreife der Weizenpflanzen (BBCH 85) nochmals stark an, wobei die höchste Sporendichte an der Ähre verzeichnet wurde. Zu diesem Zeitpunkt waren auch 98% der untersuchten Blätter mit *Fusarium* spp. besiedelt. Der teilweise sehr hohe Anteil von Sporen von *F. culmorum* und *F. avenaceum* lässt auf eine Sporulation der Arten auf der Blattoberfläche schließen. Nach erfolgreicher Infektion und Besiedlung des Blattgewebes tritt der Pilz möglicherweise durch Spaltöffnungen wieder an die Blattoberfläche und bildet dort asexuell Sporen aus. PUGH (1939) 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) bestätigen eine Sporulation auf symptomlosen, grünen Blättern. Diese ist von Bedeutung, da sie eine Sekundärinfektion auslösen können und dadurch den sukzessiven Infektionsverlauf Boden – Blätter – Ähre der Fusarien fördern.

Die Verbreitung der Sporen im Bestand erfolgt bei *F. culmorum* und *F. avenaceum* durch Wind und Spritzwasser. Dabei können Sporen von *F. culmorum* Entfernungen von mindestens 60 cm in vertikaler Richtung und 100 cm in horizontaler Richtung zurücklegen, Sporen von *F. avenaceum* dementsprechend Strecken von 45 cm und 90 cm (JENKINSON & PARRY 1994). Auch sind Luftmyzelkonidien von *F. avenaceum* in der Lage, unabhängig von Niederschlagsereignissen weite Strecken mit dem Wind zurückzulegen (NIRENBERG *et al.* 1994). Im Vergleich zu den beiden genannten *Fusarium*-Arten kann sich *F. graminearum* durch Asco- oder Konidiosporen im Bestand ausbreiten. NYVALL (1970) berichtete auch über Chlamydosporen dieser Art, welche zur Infektion der Weizenpflanze fähig waren.

Im Verlauf der Vegetation wurde eine stete Zunahme der Blattinfektionen mit *F. culmorum* beobachtet. Ein starker Befallszuwachs erfolgte zwischen BBCH 75 und BBCH 85, so dass zu diesem Zeitpunkt durchschnittlich 73% der Blätter mit *F. culmorum* besiedelt waren. Anders verhielt es sich dagegen mit dem Blattbefall durch *F. avenaceum*, der einen maximalen Befall von 48% an F-4 zu BBCH 75 erreichte, einen mittleren Befall aller Blattetagen von 32% jedoch auch zu BBCH 85 nicht überschritt. RINTELEN (1995) berichtete über einen starken Befallszuwachs mit *F. avenaceum* und *F. graminearum* an den Körnern zwischen BBCH 75 und BBCH 85, der bis zur Ernte kontinuierlich zunahm. Histologische Untersuchungen an Weizenkörnern aus Praxisbeständen zeigten, dass es zwischen Milch- und Teigreife (BBCH 75 – BBCH 85) zum Befall der Weizenkörner kommt (RINTELEN 1995). Diese Beobachtung bestätigten vorherige Untersuchungen von RINTELEN (1992) und NIRENBERG *et al.* (1994).

Blattinfektionen mit *F. poae* waren im Meckenheim gering. Sporen auf den Blättern konnten ab BBCH 75 nachgewiesen werden, wobei der größte Anteil davon an den Ähren auftrat. Mehr als die Hälfte der Sporen, die zu diesem Zeitpunkt an der Ähre nachzuweisen waren, waren Sporen von *F. poae*. Diese Ergebnisse gehen einher mit Untersuchungen von RINTELEN (1995), welcher zu Befallsbeginn (BBCH 75) an Körner aus Freilandbeständen in Bayern ausschließlich Befall mit *F. poae* nachweisen konnte. Später traten dann auch andere Arten auf. *F. poae* bildet an Monophialiden runde bis ovale, 8-10 µm große Mikrosporen aus, die für *Fusarium*-Sporen als relativ klein angesehen werden können. Die Konidienträger sind traubenförmig angeordnet, sodass auf kleinster Fläche eine große Anzahl von Sporen gebildet werden können. Dies erklärt die hohe Sporendichte auf der Ähre. In diesem Zusammenhang sollte erwähnt werden, dass die windbürtige Verbreitung der Mikrosporen – eine Hauptfruchtform ist nicht bekannt - möglicherweise eine bedeutende Rolle spielt. Nicht nur die Sporengröße weist darauf hin, sondern auch die Tatsache, dass kaum Sporen auf den Blättern bzw. Blattgewebeinfektion mit *F. poae* im Verlauf der

Vegetation nachgewiesen werden konnten. Erst an der Ähre, später auch am Korn sowie am Fahnenblatt trat ein stärkerer Befall auf. Möglich scheint somit eine direkte Infektion der Weizenähre von am Boden vorhandenen Inokulum oder ein windbürtiger Sporeneinflug an die Ähre. Welchen Einfluss die Faktoren Niederschlag, relative Luftfeuchtigkeit, Temperatur und Wind für die Ausbreitung von *F. poae* im Bestand haben, ist noch nicht geklärt.

Infektionszeitpunkt

Im allgemeinen ist bekannt, dass eine Ähreninfektion vom Zeitpunkt der Blüte bis zur Teigreife erfolgen kann und durch Umweltfaktoren wie warme Temperaturen und hohe Feuchtigkeit gefördert wird (BAI & SHANER 1996, MCMULLEN *et al.* 1997, PARRY *et al.* 1995, SCHROEDER & CHRISTENSEN 1963, SUTTON 1982). Versuche mit unterschiedlichen Inokulationszeitpunkten zeigten, dass die Ähren zu BBCH 65 am anfälligsten gegenüber *F. graminearum*, *F. avenaceum* und *F. poae* waren, während *F. culmorum* den stärksten Befall zu BBCH 69 verursachte. Auch DIEHL & FEHRMANN (1989) berichteten über Inokulationsversuche, bei denen sie eine Ähreninfektion zwischen BBCH 47 und BBCH 75 beobachten konnten. Eine Inokulation zu BBCH 65 führte bei ihnen zu einem maximalen Kornbefall mit *F. graminearum* und *F. culmorum*, für *F. culmorum* zusätzlich auch zu BBCH 49, wobei *F. graminearum* jedoch zu einem früheren Zeitpunkt auch nicht inokuliert wurde. Der Zeitraum für eine Infektion scheint somit für *F. culmorum* sehr breit zu sein. Auch zu BBCH 49, 65 und 75 verursachte diese Pathogenart noch einen erheblichen Kornbefall, während eine Inokulation mit den anderen drei Arten zu früheren oder späteren Terminen einen erheblich geringeren Kornbefall auslöste. LACEY (1999) konnte auch nachweisen, dass der Infektionstermin von *F. culmorum* einen Einfluss auf die Toxinbelastung der Körner hat. Eine Inokulation der Blüte zu BBCH 61 - 69 mit dieser Art führte dementsprechend zu einer maximalen Toxinbelastung von 12 mg DON/kg im geernteten Korn. Wurde während des Ährenschiebens (BBCH 51-59) bzw. während der Fruchtbildung (BBCH 71-77) inokuliert, so konnte durchschnittlich nur 1mg DON/kg im Korn nachgewiesen werden.

Einfluss von Temperatur, relativer Luftfeuchte und Niederschlag

Untersuchungen unter kontrollierten Bedingungen wiesen eine deutliche Abhängigkeit der Ähreninfektion mit *Fusarium* spp. von der relativen Luftfeuchte und der Temperatur nach. Dabei traten Unterschiede zwischen den *Fusarium*-Arten auf. Bei *F. graminearum*, *F. avenaceum* und *F. culmorum* führten 100% rel. LF (25 oder 15°C) und 80% rel. LF (25°C) zum stärksten Kornbefall, wobei der Einfluss der Temperatur stärker war als der Einfluss der rel. LF und eine Befallszunahme mit steigender Temperatur auftrat. HALL & SUTTON (1998) werteten über 100 Winterweizenbestände in Ontario (Kanada) in den Jahren 1985 und 1986

aus und zeigten, dass bei *F. avenaceum* das Auftreten sehr stark mit der mittleren Monats- und Jahrestemperatur korreliert war. ANDERSEN (1948) berichtete über ein Temperaturoptimum von 28°C für *F. graminearum* und fügte hinzu, dass ausreichend Feuchtigkeit den Sporulationsbeginn fördern würde und dieser bereits nach 72 Stunden einsetzen kann. Optimale Infektionsbedingungen für *F. graminearum* sind laut PARRY *et al.* (1995) mindestens 24 h Feuchtigkeit, 25°C und 100% rel. LF. JUGNET *et al.* (1983) fassten die Voraussetzung für eine Ausbreitung und Ähreninfektion für *F. culmorum* mit einem möglichst hohen täglichen Temperaturmaximum von mindestens 10°C und einer täglichen Luftfeuchtigkeit vom mindestens 80% zusammen.

Auch die Toxingehalte der Körner waren abhängig von der rel. LF, der Temperatur und der inokulierten *Fusarium*-Art. Die für die Inokulation verwendeten Isolate von *F. culmorum*, *F. graminearum* und *F. poae* waren Nivalenol-Bildner. *F. avenaceum* bildet grundsätzlich keine Trichothecene. Die höchsten Nivalenol-Gehalte traten in Körnern von Pflanzen auf, die mit *F. graminearum* und *F. culmorum* inokuliert worden waren und bei hoher Temperatur und hoher Luftfeuchte inkubiert wurden. Bei niedriger Temperatur und einer rel. LF. von 80% war nur noch *F. culmorum* in der Lage, Nivalenol zu produzieren, nicht aber *F. graminearum*. Dieses deutet wiederum auf eine geringe Spezifität von *F. culmorum* hinsichtlich der Infektionsbedingungen hin. Der Toxingehalt von Pflanzen, die mit *F. poae* inokuliert worden waren, war nicht abhängig von der Temperatur und/oder der rel. LF. Unter allen Infektionsbedingungen war sowohl der Ährenbefall mit *F. poae* als auch der Nivalenol-Gehalt der Körner gleich bleibend hoch. Bei 15°C und 80 % rel. LF konnte jedoch kein Nivalenol nachgewiesen werden. Bei einer Nachweisgrenze von 1 µg/g ist es aber durchaus möglich, dass geringere Toxingehalte vorhanden waren.

Niederschlag

Im Jahr 2000 wurde der Ährenbefall von Weizensorten unter natürlichen Witterungsbedingungen verglichen mit dem von Pflanzen, die einer zusätzlichen Überkopfberegnung ausgesetzt waren. Die Beregnung erfolgte fünf Wochen lang ab dem Zeitpunkt der Blüte. Beregnete Pflanzen wiesen einen nicht signifikant erhöhten Kornbefall auf. Dies war sicherlich darauf zurückzuführen, dass die nicht zusätzlich beregneten Pflanzen bereits witterungsbedingt einem hohen Befallsdruck ausgesetzt waren. Auffällig war, dass durch die zusätzliche Beregnung das Auftreten von *F. avenaceum* an der Ähre deutlich gefördert wurde. Aber auch *F. graminearum* wurde, wenn auch nicht signifikant, häufiger vom Korn isoliert. Die Arten *F. culmorum*, *F. poae* und *F. tricinctum*, die ebenfalls an diesem Standort häufig auftraten, wurden durch die zusätzliche Beregnung nicht in ihrem Auftreten gefördert. Nicht nur die Niederschlagsmenge sondern auch die Häufigkeit der

Niederschlagsereignisse ist für den Ährenbefall von Bedeutung. Häufigere Niederschläge, wie sie durch die Beregnung simuliert wurden, wirken sich auf das Mikroklima im Bestand und auf die Blattnässe aus. So konnte ANDERSEN (1948) zeigen, 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 ist. Die starke Befallszunahme, die in Folge dessen bei *F. avenaceum* nicht aber bei anderen Arten auftrat, ist vielleicht durch eine stärkere Konkurrenzkraft dieser Art zu erklären. Bei Mischinfektionen mit *F. culmorum* und *F. avenaceum* wurde bei mittlerer und hoher Inokulumsdichte eine höhere Sporenproduktion von *F. avenaceum* als bei *F. culmorum* festgestellt, was auf antagonistische Wechselwirkungen zurückgeführt wurde (FISCHER 1977).

Genotyp

In Deutschland wird die Sortenprüfung durch das Bundessortenamt (BSA) durchgeführt. Um die *Fusarium*-Anfälligkeit einer Sorte zuverlässig beurteilen zu können, werden Inokulationsversuche an mehreren Standorten und Jahren (mehreren Makro-Umwelten) durchgeführt. Nach einer Sprühinokulation mit *F. culmorum* bzw. *F. graminearum* in die Weizenblüte wird mittels visueller Bonitur der prozentuale Anteil der ausgebleichten Ährchen bestimmt. Die Sorteneinstufung erfolgt gemäß einer Skala von 1 (resistent) bis 9 (stark anfällig). In der vorliegenden Studie wurden Sorten aus den Landessortenversuchen in Kerpen-Buir und Neukirchen-Vluyn auf *Fusarium*-Befall geprüft. Die Sorten wurden in mehreren Umwelten im praxisüblichen Anbau untersucht; waren aber dem natürlichen Befallsdruck ausgesetzt. Im Durchschnitt der Jahre zeigten sich die Sorten `Charger`, `Bandit`, `Haven` und `Rialto` als besonders anfällig. Dabei werden die beiden erstgenannten Sorten auch nach Einstufung des BSA als anfällig beschrieben (Note 8 bzw. 7), die beiden anderen Sorten wurden jedoch mit der Note 5 als mittel anfällig eingestuft. Ähnliche Beobachtungen wurden bei den Sorten `Hybnos`, `Residence` und `Convent` gemacht, die in der dreijährigen Studie stets einen geringen Kornbefall aufwiesen als die gemäß BSA resistenteren Sorten (z.B. Pajero, Note 3). Vom BSA werden sie mit 4 (`Hybnos`, `Residence`) bzw. 5 (`Convent`) als mittel anfällig bewertet. Die als wenig anfällig eingestufte Sorte `Pajero` lag nach den eigenen Untersuchungen im mittleren Anfälligkeitsbereich. Auch WOSNITZA (2000) berichtet nach einer zweijährigen Feldprüfung mit 108 Weizensorten, die unter „praxisnahen“ Bedingungen (Direktsaat in Maisstoppeln) durchgeführt wurden, dass bei einigen Sorten Unterschiede zwischen der Einstufung durch

das Bundessortenamt und der von ihr ermittelten Rangordnungszahl auftraten. Die Autorin stellte dieses für den Ährenbefall ebenso wie für den DON-Gehalt der Körner fest. Die Unterschiede in der Sortenbeurteilung relativ zu den Untersuchungen des BSAs können durch die unterschiedlichen Prüfbedingungen erklärt werden.

Unter natürlichen Befallsbedingungen haben eine Vielzahl von Faktoren Einfluss auf Infektion und Befallsausbreitung an der Ähre, wogegen bei einer Inokulation z.Zt. der Weizenblüte ausschließlich das genetisch fixierte Resistenzpotential einer Sorte zum Tragen kommt. Die *Fusarium*-Resistenz einer Pflanze wird durch zwei Mechanismen bestimmt: Die aktive Resistenz beinhaltet physiologische Prozesse (CRUTE *et al.* 1985), die passive Resistenz morphologische Erscheinungen (WIESE 1985). Zu den physiologischen Prozessen werden die Resistenz gegenüber der Erstinfektion der Ähre (Resistenz-Typ I) und die Resistenz gegenüber dem Pilzwachstum im Gewebe (Resistenz-Typ II) gezählt (SCHROEDER & CHRISTENSEN 1963). Die Möglichkeit zur Metabolisierung der Mykotoxine in der Ähre bzw. im Korn durch die Pflanze beschreibt der Resistenz-Typ III (MILLER *et al.* 1985, SNIJDERS & PERKOWSKI 1990), eine Toleranz der Pflanze gegenüber hohen DON-Gehalten stellt den Resistenz-Typ IV dar (WANG & MILLER 1988). Die passive Resistenz wird durch pflanzenmorphologische Erscheinungen, wie die Pflanzenhöhe, die Ährendichte und die Begrannung der Ähre, charakterisiert (MESTERHÁZY 1995). Aber auch eine nicht vorhandene zeitliche Koinzidenz zwischen dem Auftreten des Pathogens und dem empfindlichen Blühstadium der Pflanzen zählt zu dieser Resistenzform (COOK 1981).

Von entscheidender Bedeutung im Freiland ist die Koinzidenz zwischen dem Blühtermin, dem anfälligsten Entwicklungsstadium der Wirtspflanze, und dem zu diesem Zeitpunkt vorherrschenden witterungsbedingten Befallsdruck. Die Weizenpflanze kann auf Grund ihres spezifischen Blühzeitpunktes einer Ähreninfektion durch *Fusarium*-Arten „entkommen“. Eine tatsächliche Resistenz liegt in dem Fall jedoch nicht vor, es wird von Scheinresistenz gesprochen. Daher ist es wichtig, Resistenzen in mehrere Umwelten zu prüfen (MESTERHÁZY 1987). Aus diesem Zusammenhang heraus lässt sich möglicherweise auch der relativ hohe Kornbefall der eigentlich weniger anfälligen Sorte `Pajero` im Jahr 1999 erklären. `Pajero` ist eine frühreife Weizensorte, die nach eigenen Bonituren bereits Anfang Juni blühte. Die Blüte fiel somit in die niederschlagsreiche Periode Anfang Juni. Nach dem 5. Juni abblühende Sorten waren sehr geringen Niederschlägen und dadurch einem niedrigeren Befallsdruck ausgesetzt. So wies die anfällige Sorte `Record`, die erst am 9. Juli blühte, trotz hoher *Fusarium*-Anfälligkeit einen geringen Kornbefall auf.

Der Einfluss aktiver und passiver Resistenzeigenschaften konnte auch im Jahr 1999 in Hennef verdeutlicht werden. Zu BBCH 30 ausgebrachte *Fusarium*-bewachsene Körner simulierten einen hohen Befallsdruck. Die anfällige Sorte 'Kanzler' und die gering anfällige Sorte 'Ludwig' wiesen den höchsten Kornbefall auf. Sie blühten um den 3./4. Juni, in einem Zeitraum, in dem über mehrere Tage Niederschläge von 0,2 bis 7,1 (\varnothing 3,8 mm) den Infektionsdruck erhöhten. Die Sorte 'Hanseat', die als anfällig gegenüber Ährenfusariosen eingestuft wird, war diesem Inokulumdruck weniger stark ausgesetzt. Die Blüte setzte bei dieser Sorte erst zu einem späteren Zeitpunkt (8. Juni) ein. Beginnend mit diesem Zeitpunkt folgte eine 12 Tage andauernde Trockenperiode. Wird der Faktor Witterung durch eine direkte Sprühinokulation in die Blüte weitgehend ausgeschaltet, so waren die Körner aller Sorten stark mit *Fusarium* spp. befallen. Lediglich 'Atlantis' wies einen signifikant geringeren Kornbefall und ebenso einen geringeren Nivalenol-Gehalt auf als die Körner der anderen Sorten. Dieser geringe Kornbefall trotz hohem Infektionsdruck weist auf eine ausgeprägte Resistenzerscheinung des Typs I (Resistenz gegenüber einer Erstinfektion) bei der Sorte 'Atlantis' hin.

Eine Sprühinfektion der Ähre zu BBCH 65 führte bei den Sorten 'Hanseat', 'Ludwig', 'Kanzler' und der Linie 'FR 444/06' zu hohem Kornbefall, wobei Körner der stark anfälligen Sorte 'Hanseat' zusätzlich auch noch einen doppelt so hohen Nivalenol-Gehalt aufwiesen als die Körner der letztgenannten Sorten. Möglicherweise verfügen die Sorten 'Ludwig', 'Kanzler' und die Linie 'FR 444/06' über eine stärkere Ausprägung des Resistenztyps II, der ein vermindertes Wachstum des Pilzes in der Pflanze bedingt und dadurch möglicherweise auch zu einer geringeren Toxinproduktion des Pilzes führt. Aber auch ein Toxinabbau im pflanzlichen Gewebe ist möglich; MILLER & ARNISON (1986) konnten in der wenig anfälligen Sorte 'Frontana' die Metabolisierung von radioaktiv markiertem DON nachweisen, was den Resistenz-Typ III (Abbau von DON) beschreibt (MILLER *et al.* 1985).

Phänotyp - Pflanzenhöhe

Zu den passiven morphologischen Resistenzmechanismen einer Pflanze wird die Pflanzenlänge gezählt. Der Kornbefall unbehandelter Weizenpflanzen war ohne zusätzliche Inokulation signifikant negativ mit der Pflanzenlänge korreliert. Diese Ergebnisse bestätigen Untersuchungen von BUERSTMAYR *et al.* (2000), HILTON *et al.* (1999) und MESTERHAZY (1995), die bereits über den Zusammenhang von Wuchshöhe und Ährenbefall berichteten. BUERSTMAYR *et al.* (2000) stellten in Kreuzungsversuchen nach Sprühinokulation der Weizenähren mit *F. culmorum* eine signifikant negative Korrelation ($r = -0,37$) zwischen Symptomen der partiellen Taubährigkeit und der Pflanzenlänge fest. 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 *Fusarium*-Arten günstigeres Mikroklima durch eine dichtere Blattmasse verfügen. HILTON *et al.* (1999) schränkten diese Erklärung ein: In Untersuchungen isogener Linien konnten sie zeigen, dass bei kurz- oder langstrohigen isogenen Linien kein Unterschied in der rel. Luftfeuchtigkeit in Ährenhöhe vorlag. Sie schlossen daraus, dass das Mikroklima nicht allein den Unterschied im *Fusarium*-Befall erklären kann. Die Autoren vermuteten, dass entweder eine Genkopplung oder ein pleiotropher 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).

Der Abstand des Fahnenblattes zur Ähre korreliert nach eigenen Untersuchungen signifikant mit der Pflanzenlänge. Die Korrelation zwischen dem Abstand Fahnenblatt - Ähre und dem Kornbefall war aber deutlich geringer als die Korrelation zwischen Pflanzenlänge und Ährenbefall. Dieser phänotypische Parameter erwies sich somit als unbrauchbar, um die Anfälligkeit einer Sorte zu beschreiben.

Phänotyp - Ährendichte und -form

Die Ährendichte scheint nach eigenen Untersuchungen einen sehr geringen Einfluss auf den *Fusarium*-Befall zu haben. Der D-Wert einer Sorte - Anzahl Spindelstufen pro Ährenlänge - war nur schwach mit dem Kornbefall der jeweiligen Sorte korreliert. MESTERHÁZY (1995) beobachtete dagegen in Feldversuchen bei lockeren Ähren eine geringere Infektionswahrscheinlichkeit als bei dichteren. Experimentell wurde dieser Zusammenhang von ihm jedoch nicht überprüft. Dieser Autor konnte dagegen zeigen, dass begrannete Genotypen unter Feldbedingungen anfälliger gegenüber einer Ähreninfektion mit *Fusarium* spp. waren als grannenlose Genotypen. Dieser Effekt ließ sich in Inokulationsversuchen aber nicht bestätigen. Der Autor schloss daraus, dass morphologische Faktoren in diesem Fall involviert sind und dass das Vorhandensein von Grannen nicht automatisch eine höhere Anfälligkeit der Weizenpflanze gegenüber Ährenfusariosen bedeutet. Die Veränderung des Mikroklimas durch die begranneten Ährchen kann jedoch ohne zusätzliche Inokulation als mögliche Ursache eines erhöhten Ährenbefalls angesehen werden. Es liegen aber auch Hinweise vor, dass ein Resistenzgen mit einem Gen, das für Begrannung kodiert, gekoppelt ist (SNIJDERS 1990b).

Anbauintensität

Die Anbauintensität wurde durch die Faktoren Stickstoffdüngung, Fungizidbehandlung, Einsatz von Wachstumsregulatoren und die Saattiefe bestimmt. In den Jahren 1998 – 2000

wurde der Einfluss verschiedener Anbauintensitäten auf den Kornbefall mit Ährenfusariosen an Winterweizen untersucht. Viele Autoren diskutierten die Wirkung der Stickstoffdüngung 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 eine Gesamtmenge von 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 Befallsauftreten 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 niedrigen 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 entgegengesetzter 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. Als Ursache einer erhöhten Krankheitsanfälligkeit bei hohen Stickstoffgaben ist 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. So ist für *Fusarium solani* f.sp. *phaseoli* eine Steigerung der Aggressivität durch Stickstoffzufuhr beschrieben (HOFFMANN *et al.* 1994).

Wachstumsregulatoren

Im Jahr 1999 wurde in Hennef an verschiedenen Sorten der Einfluss von Wachstumsregulatoren auf den Ährenbefall untersucht. Bei gleicher N-Gabe wurde hier bei einer Reduktion der Halmlänge eine geringe, jedoch nicht signifikante Zunahme des Befalls mit *Fusarium* spp. festgestellt. Diese Beobachtung deckt sich mit Untersuchungen von FAUZI & PAULITZ (1994). Sie stufen die Verwendung von Wachstumsregulatoren als nicht befallsfördernd ein. *In vitro*-Untersuchungen mit *F. graminearum* zeigten auch, dass die Wachstumsregulatoren Ancymidol und Flurprimidol das Myzelwachstum dieser *Fusarium*-Art ebenso wenig beeinflussten wie die Produktion von 3-Ac-DON (MATTHIES 1998). Wachstumsregulatoren mindern die Wuchshöhe der Weizenpflanzen, was den eigenen Untersuchungen zufolge eine Reduktion der Pflanzenlänge von 0 – 10 cm bedeutete. Im Wuchs gestauchte Pflanzen bilden einen gleichmäßigeren dichteren Bestand. Dies führt möglicherweise zu einer Veränderung des Mikroklimas, welches ein erhöhtes Auftreten von Ährenfusariosen bewirken kann. Ändern sich die Bestandeseigenschaften durch die Gabe von Wachstumsregulatoren, so vermuteten MARTIN & MCLEOD (1991) auch eine erhöhte Inokulumproduktion auf den organischen Bestandteilen des Bodens.

Saadichte

Untersuchungen zum *Fusarium*-Befall von Weizenbeständen bei unterschiedlichen Saadichten zeigten 1998 eine lineare Zunahme des Kornbefalls mit *M. nivale* bei zunehmender Saadichte. In den Jahren 1999 und 2000 wurde jedoch ein gegenläufiger Effekt beobachtet: Pflanzen mit niedriger Saadichte wiesen einen höhern Kornbefall mit *M. nivale* auf als bei höherer Saadichte. Die Befallsunterschiede konnten im Gegensatz zum Jahr 1998 nicht statistisch abgesichert werden. Dagegen war mit zunehmender Saadichte für *Fusarium* spp. eine geringe, nicht signifikante Befallszunahme zu beobachten. BAILEY *et al.* (1998) stellten bei einer Saadichte von 67 kg/ha (ca. 130 Körner/m²) einen um 5% höheren Befall als bei einer Saatstärke von 202 kg/ha (400 Körner/m) fest. ELLEN & LANGERAK (1987) berichteten bei geringer Saadichte (ca. 90 Körner/m²) über eine stärkere Blattscheiden- und Korninfektionen mit *M. nivale* als bei einer Saadichte von ca. 250 Körnern/m². Sie führten den geringeren Befall bei höherer Saadichte auf einen

geringeren Wassergehalt in Ähre und Halm, einen geringeren N-Gehalt in Halm und Blätter und einen höheren Anteil wasserlöslicher Kohlenhydrate zurück.

Vergleich integrierter - ökologischer Anbau

Im Jahr 1998 war 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. Obwohl der Standorteinfluss nicht unberücksichtigt bleiben sollte, war in diesem Jahr im ökologischen Anbau ein stärkeres Auftreten von *M. nivale* an Winter- und Sommerweizen zu beobachten als im integrierten Anbau. Auch in Untersuchungen in den Jahren 1995 und 1997 im Rheinland wurde in organisch bewirtschafteten Weizenbeständen ein tendenziell stärkerer Kornbefall mit *M. nivale* als in konventionell bewirtschafteten Beständen vorgefunden (SCHÜTZE *et al.* 1997). Im Jahr 1999 trat an dem einzig untersuchten Standort im ökologischen Weizenanbau kein Kornbefall mit *M. nivale* auf. Besonders der Saatgutbefall mit *M. nivale*, dem Erreger des Schneeschimmels, kann im ökologischen Anbau zum Problem werden. Wird Saatgut aus Eigenvermehrung angebaut, so sollte nach Befallsjahren wie 1998 mit standortbedingtem *M. nivale*-Befall von 40% unbedingt eine Saatgutbehandlung (z.B. Warm- oder Heißwasserbehandlung) durchgeführt werden, um Auflaufverluste zu vermeiden (WINTER *et al.* 1997). Optimale Infektionsbedingungen für *M. nivale* bietet eine kühl-feuchte Witterung (MAULER-MACHNIK & ZAHN 1994). BAHLE & LEIST (1997) und SCHÜTZE (1999) schätzten die optimalen Infektions- und Wachstumsbedingungen für *M. nivale* in einem breiteren Temperaturbereich. Kornbefall mit *M. nivale* führt neben der Reduktion der Keimfähigkeit jedoch nicht zu einer Mykotoxinbelastung des Erntegutes.

Ein Vergleich des ökologischen mit dem konventionellen Anbau ist auf Grundlage der vorliegenden Ergebnisse nur eingeschränkt möglich. Zu stark ist der Einfluss von Standort und Sorte in den Freilandhebungen, als dass eine eindeutige Wertung dieser beiden Anbauarten möglich wäre. In Bayern lag jedoch in den Jahren 1995 und 1996 der durchschnittliche Anteil mit *F. graminearum* befallener Körner und der DON-Gehalt bei Ernteproben aus ökologischem Anbau deutlich unter den vergleichbaren Durchschnittswerten aus konventionellem Anbau (BECK & LEPSCHY VON GEISSENTHAL 2000). Dies ist sicherlich vor allem auf die vielgliedrige Fruchtfolge mit einem sehr geringen Maisanteil im ökologischen Anbau zurückzuführen. KOCH (1991) zeigte, dass im Durchschnitt von zwei Jahren die Befallswerte mit *Fusarium* spp. auf biologisch-dynamisch bewirtschafteten Flächen etwas niedriger lagen als auf konventionell bewirtschafteten Flächen. Der Vorteil ökologisch bzw. biologisch-dynamisch wirtschaftender Betriebe liegt seiner Ansicht nach in der geringeren Anzahl potentieller Risikofaktoren. Neben der bereits

erwähnten vielgliedrigen Fruchtfolge, die selten - wenn überhaupt - Mais enthält, wirken sich auch ein geringeres Düngungsniveau, breite Reihenabstände und der Verzicht auf chemischen Pflanzenschutz positiv aus. HANNUKKALA & TAPIO (1990) konnte dagegen keinen Unterschied zwischen dem Auftreten von Ährenfusariosen an konventionell bzw. ökologisch angebautem Getreide (Gerste) feststellen. Die DON-Gehalte waren nahezu gleich.

Chemische Kontrolle

Azol-Fungiziden gelten als effektivste Behandlungsmöglichkeit zur direkten Bekämpfung der Ährenfusariosen im konventionellen Anbau und unter ihnen haben die Präparate mit den Wirkstoffen Metconazol und Tebuconazol die höchste Wirksamkeit (CARON 1995, DARDIS & WALSH 2000, JUNGET & MARQUET 1988, MAULER-MACHNIK & ZAHN 1994). In Feldversuchen wurde die Wirksamkeit verschiedener Fungizidstrategien auf den Ährenbefall mit *Fusarium* spp. untersucht. Der Wirkungsgrad der Fungizide variierte nach einfacher und doppelter Ährenbehandlung mit Metconazol und Metconazol/Tebuconazol in Abhängigkeit vom Standort erheblich. An fünf von sieben Standorten wurde nach einfacher bzw. doppelter Azol-Applikation in die Weizenähre eine Befallsreduktion von ca. 25% erzielt, an zwei Standorten war dagegen eine Befallszunahme zu verzeichnen. Die Ährenbehandlungen wurden unter Praxisbedingungen ohne zusätzliche Inokulation durchgeführt. In Feldversuchen, die in Minnesota (USA) in den Jahren 1994/95 ebenfalls unter natürlichen Befallsbedingungen durchgeführt wurden, führten eine einmalige bzw. doppelte Tebuconazol- bzw. Benomyl-Behandlung in die Ähre zu einer signifikanten Reduktion des Ährenbefalls (partielle Taubährigkeit) und des DON-Gehalts der Körner (JONES 2000). Bereits von MAULER-MACHNIK & ZAHN (1994) und MCMULLEN *et al.* (1997) ist bekannt, dass die Effektivität einer chemischen Kontrolle der Ährenfusariosen stark abhängig ist von der Applikationsrate und von der Terminierung. In Inokulationsversuchen wurde eine maximale Befallskontrolle durch Tebuconazol und/oder Prochloraz bei postinfektioneller Behandlung zwei Tage nach der Inokulation erreicht (MATTHIES & BUCHENAUER 2000). SIRANIDOU & BUCHENAUER (2001) berichten zudem über eine gute protektive Wirkung von Tebuconazol, wenn eine Behandlung 2 Tage vor der Inokulation erfolgte. HOMDORK *et al.* (2000) bezeichnen einen Zeitraum von 3 - 5 Tage nach einer Infektion als optimalen Spritztermin für Tebuconazol. Dadurch konnten die DON-Gehalte am wirksamsten gegenüber unbehandelten Pflanzen reduziert werden. Sprühinokulationsversuche mit *F. culmorum* ließen OBST & GAMMEL (2000) zu dem Schluss kommen, dass die *Fusarium*-Wirkung bei kurativem Einsatz von Tebuconazol sicherer ist und größeren Handlungsspielraum bietet als eine protektive Ausbringung. Die Autoren beziehen sich dabei

auch auf Ergebnisse von OBST *et al.* (1994) und MIELKE & WEINERT (1996). Unter Feldbedingungen ohne zusätzliche Inokulation stellten MATTHIES & BUCHENAUER (2000) jedoch fest, dass eine späte kurative Behandlung zu BBCH 69 mit Tebuconazol und/oder Prochloraz auch zu einer Erhöhung der DON-Gehalte in den Körnern führen kann. Eine optimale Terminierung der Fungizidbehandlung stellt unter Praxisbedingungen eine Herausforderung dar, da diese in einem engen Zeitrahmen um den Infektionszeitpunkt stattfinden muss. Eine Witterung - Regen, meist zusätzlich in Verbindung mit Wind, die die Ausbreitung der Erreger an der Pflanze fördert, lässt unter Praxisbedingungen keine Fungizidapplikation zu. Dies erklärt auch die stark variierenden Wirkungsgrade in den Freilandversuchen.

Um die Wirksamkeit fungizider Präparate gegen Ährenfusariosen zu testen, werden meistens Versuche mit zusätzlicher Inokulation durchgeführt. Dadurch wird ein starker Befallsdruck simuliert und diese Methode bietet zudem die Möglichkeit einer optimalen Terminierung der Ährenbehandlung. Die *Fusarium*-Arten der Wahl waren dabei nahezu ausschließlich die Trichothecen-Produzenten *F. culmorum* und *F. graminearum*. Die im Jahr 2000 an der Sorte `Ritmo` durchgeführten Ährenbehandlungen unterlagen einem natürlichen Befallsdruck. Der Einfluss der Azol-Behandlungen auf die *Fusarium*-Arten zeigte, dass bei einer erfolgreichen Terminierung (= Reduktion des Kornbefalls nach Ährenbehandlung) ein guter Wirkungsgrad der Azole gegenüber den beiden oben genannten *Fusarium*-Arten, besonders *F. graminearum* erzielt werden konnte. Gegenüber *F. avenaceum* konnte nur eine unzureichende Wirkung festgestellt werden, ebenso wie gegenüber den Arten *F. poae* und *F. tricinctum*, die in ihrem Auftreten kaum von den Azolen beeinflusst wurden. An drei von sieben Standorten konnte gar keine Reduktion des Befalls mit *Fusarium* spp. durch eine einfache oder zweifache Ährenbehandlung mit Metconazol bzw. Metconazol/Tebuconazol erzielt werden. Dies ist wahrscheinlich auf die bereits diskutierte nicht-optimale Terminierung zurückzuführen. Befallszunahmen nach einer Ährenbehandlung waren meistens auf ein verstärktes Auftreten von *F. avenaceum*, aber auch von *F. culmorum*, zurückzuführen. Der Kornbefall mit *F. graminearum* konnte in diesen Fällen bei einer zweimaligen Behandlung immerhin noch um durchschnittlich 50% reduziert werden.

BOSHOFF *et al.* (1999) berichteten über *in vitro*-Sensitivitätsunterschiede von *F. culmorum* und *F. crookwellense*. Demnach waren Isolate von *F. crookwellense* sensitiver gegenüber Prochloraz und Bromuconazol als gegenüber anderen Azolen, u.a. auch Tebuconazol. Isolate von *F. graminearum* waren ebenso sensitiv gegenüber diesen Fungiziden, ihr Wachstum wurde jedoch *in vitro* auch von Tebuconazol und Flusilazol stark gehemmt. Unterschiedliche Wirkungsgrade von Fungiziden einer chemischen Klasse können durch

Unterschiede in der Formulierung, der Aufnahme durch und der Verteilung in Pflanzen und auch im Abbau der chemischen Substanz begründet sein (BOSHOF 1999, LYR 1995).

Obwohl seit 1998 Tebuconazol und Metconazol zur Ährenbehandlung zugelassen sind, bleiben Bedenken gegenüber einer Ährenbehandlung zur *Fusarium*-Bekämpfung bestehen. Neben den zusätzlichen Applikationskosten, die dafür aufgebracht werden müssen, muss eine erhebliche Unsicherheit in der Wirksamkeit konstatiert werden, wenn die Behandlung nicht optimal terminiert werden kann. Ein Kosten-Nutzen-Vergleich ist unter diesen Gesichtspunkten kaum möglich. Zudem 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, wie es von OBST UND BECHTEL *et al.* (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, wie sie im Rheinland vorliegt - wird nicht erfasst. Ein Prognosemodell für *Fusarium* spp. im Rheinland könnte auf Grund der heterogenen Anbaubedingungen (Witterung, Fruchtfolge, Standortcharakteristika, *Fusarium*-Spektrum) nur durch sehr umfangreiche, mehrjährige Untersuchungen 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, sichere Lösung dar. Viel wichtiger ist es sicherlich, bereits im Vorfeld die Risikofaktoren einer Ähreninfektion möglichst gering zu halten. Dies geschieht durch die Wahl einer wenig anfälligen Sorte und einer wendenden Bodenbearbeitung, insbesondere bei der Vorfrucht Mais. So wird das Inokulumpotenzial möglichst gering gehalten und eine Verbreitung von *Fusarium* spp. im Bestand bzw. eine nachfolgende Ähreninfektion kann somit 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 artspezifisch Mykotoxine von unterschiedlicher toxikologischer Relevanz produzieren. In der vorliegenden Arbeit wurde das Auftreten des Ährenbefalls an Winterweizen im Rheinland, das Spektrum der auftretenden *Fusarium*-Arten sowie von *Microdochium nivale* und der Befallsverlauf an den Pflanzen, unter anderem in Abhängigkeit vom Infektionszeitpunkt und der Anbaubedingungen untersucht. Die Sortenanfälligkeit wurde unter natürlichen Befallsbedingungen ebenso wie in Inokulationsversuchen erfasst und bewertet. Des Weiteren wurden der Einfluss der Anbauintensität und die Wirksamkeit einer Ährenbehandlung 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 Dioden-Array-Detektor (HPLC-DAD) bzw. einem Enzym-Linked-Immuno-Assay (ELISA) nachgewiesen.

- Unabhängig von der Anbauform - 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 dadurch nur bedingt möglich. Der durchschnittliche Kornbefall mit *Fusarium* spp. war in den Jahren 1999 und 2000 mit 18 – 20 % dreimal so hoch wie 1998. *M. nivale* trat im Jahr 1998 im ökologischen (Ø 26%) und auch im konventionellen (Ø 10%) Anbau sehr stark auf. In den Jahren 1999 und 2000 war dieser Erreger dagegen kaum von Bedeutung.
- 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 zusammen 4%). Die Variabilität beruhte auf den Witterungseinflüssen zur Weizenblüte, standortbedingten Unterschieden wie z.B. der Vorfrucht oder der mikrobiellen Aktivität des Bodens und den teilweise unterschiedlichen Wachstumsansprüchen der *Fusarium*-Pilze. Es ist davon auszugehen, dass die

Entwicklung eines Standort-spezifischen Inokulumpotenzials und die Verbreitung bestimmter Arten dadurch beeinflusst wurden.

- Der sukzessive Befall der Weizenpflanzen von *Fusarium* spp., ausgehend vom am Boden vorhandenen Inokulum über die Blattetagen bis hin zur Ähre, war für alle *Fusarium*-Arten mit Ausnahme von *F. poae* von Bedeutung. Die Ausbreitung dieser Art beruhte vorrangig auf einer windbürtigen Infektion der Ähren, ausgehend entweder von am Boden vorhandenen Inokulum bzw. von anderen infizierten Wirtspflanzen. Bereits zu BBCH 39 waren Blätter aller Etagen außer dem Fahnenblatt von *Fusarium*-Arten besiedelt und die Befallshäufigkeit nahm bis zur Abreife (\emptyset 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.
- Die Vollblüte (BBCH65) war bei einer Ähreninfektion mit *F. graminearum*, *F. avenaceum* und *F. poae* das anfälligste Wachstumsstadium des Weizens. *F. culmorum* verursachte auch zu BBCH 49-75 einen relativ starken Kornbefall. Diese Art besaß breitere Wachstumsansprüche und war auch bei unterschiedlichen Temperaturen und relativen Luftfeuchtigkeiten (rel. LF) zu einer stärkeren Nivalenol-Produktion fähig als *F. graminearum* und *F. poae*. Bei letzterer Art schienen die Temperatur und die rel. LF eine weniger bedeutende Rolle bei der Nivalenol-Bildung zu spielen. Die Kombination von hoher Temperatur (25°C) und maximaler rel. LF führten bei *F. graminearum*, *F. culmorum* und *F. poae* zum maximalen Kornbefall.
- Kontinuierlicher Niederschlag (2,4 mm/Nacht) von der Blüte bis zur Abreife förderte den Kornbefall mit *F. avenaceum* signifikant, nicht aber den mit anderen Arten. Die häufig als weniger aggressive Art *F. avenaceum* kann sich unter den im Rheinland vorherrschenden Bedingungen gut etablieren. Das war u.a. mit der rheinischen Fruchtfolge mit einem hohen Getreideanteil zu erklären, der das Auftreten von *F. avenaceum* fördert. Mais in der Fruchtfolge, auch wenn er nicht unmittelbar als Vorfrucht auftrat, stellte ein potentiell Risiko für Ähreninfektionen, insbesondere durch *F. graminearum*, dar. Schläge ohne Mais in der Fruchtfolge, die in Mais-Anbaugebieten lagen, waren dem Zuflug von *F.*

graminearum-Sporen ausgesetzt. Dadurch wurde ebenfalls ein bedeutender Ährenbefall ausgelöst.

- Nach Anwendung eines Wachstumsregulators oder einer um 40 kg/ha bzw. 60 kg/ha erhöhten Stickstoffgabe in Form einer Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung nahm der Ährenbefall nur geringfügig zu. Witterungsbedingtes Lager führte im Jahr 2000 an einigen Standorten zu einer starken Befallszunahme; Pflanzen, die nicht mit einem Wachstumsregulator behandelt worden waren, wiesen in diesen Fällen einen um bis zu einem Drittel höheren Befall als kürzere, stärker gedüngte Pflanzen auf. Ein dichter Pflanzenbestand schien das Auftreten von *M. nivale* und *Fusarium* spp. zu fördern. Dies kann durch ein verändertes Mikroklima im Bestand, das zu einer länger anhaltenden Feuchtigkeit führt, erklärt werden.
- Die Stärke des Ährenbefalls war signifikant mit der Pflanzenlänge ($r = -0,66$) korreliert, nicht jedoch mit dem Abstand Fahrenblatt – Ähre. Die Dichte einer Ähre stand nicht im Zusammenhang mit der Zunahme des *Fusarium*-Befalls.
- Zwischen dem Kornbefall und den Ertragsparametern ‚Tausendkorngewicht‘ und ‚Flächenertrag‘ traten für die untersuchten Sorten signifikante Korrelationen von durchschnittlich $-0,82$ bzw. $-0,75$ auf.
- Die Sorten ‚Charger‘, ‚Bandit‘, ‚Rialto‘ und ‚Haven‘ waren im dreijährigen Vergleich gegenüber Ährenfusariosen am anfälligsten, ‚Hybnos‘, ‚Convent‘ und ‚Residence‘ erwiesen sich als am wenigsten anfällig. Die Einstufung der Sorten auf *Fusarium*-Anfälligkeit wich teilweise von der ab, die durch das Bundessortenamt getroffen wurde. Dies war auf die unterschiedlichen Prüfbedingungen (Sprühinokulation, natürlicher Befallsdruck) zurückzuführen.
- Eine ein- bzw. zweimalige Ährenbehandlung mit den Azol-Fungiziden Metconazol oder Metconazol und Tebuconazol reduzierte den Kornbefall mit *Fusarium* spp. in drei von vierzehn Versuchen signifikant; in vier Versuchen war der Befall nach einer ein- bzw. zweimaligen Ährenbehandlung dagegen erhöht, jedoch nicht signifikant. 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 toxinfördernd 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. Besonders

gegenüber *F. graminearum*, aber auch gegenüber *F. culmorum* war eine gute Wirkung vorhanden; das Auftreten von *F. avenaceum*, *F. poae* und *F. tricinctum* konnte dagegen nicht ausreichend bekämpft werden.

6 Literaturverzeichnis

- Abbas HK, Mirocha CJ, Berdal BP, Sundheim L, Gunther R, Johnsen B (1987): Isolation and toxigenicity of *Fusarium* species from various areas of Norway. *Acta Agric. Scand.* **37**, 427-435.
- 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**, 145-152.
- Adolf B (1998): Epidemiologie und Nachweis von Getreidefusariosen: Untersuchungen an Weizen und Gerste. Dissertation TU München, Herbert Utz Verlag, Wissenschaft, München.
- Ahrens W, Fehrmann H (1984): Attack of wheat by *Septoria nodorum* and *Fusarium* ear blight. 1. Crop loss analysis. *Z. PflKrankh. PflSchutz* **91**, 42-58.
- 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): Beschreibende Sortenliste 2000 - Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen, Hackfrüchte. Herausgegeben vom Bundessortenamt, Landbuch Verlagsgesellschaft mbH, Hannover.
- Anonym (2000b): 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.
- Arthur JC (1891): Wheat scab. *Ind. Agric. Exp. Stn. Bull.* **36**, 129-132.
- 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**, 17-23.
- Bai GH, Shaner G (1996): Variation in *Fusarium graminearum* and cultivar resistance to wheat scab. *Plant Disease* **80**, 975-979.
- 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.
- Beck R, Suss A, Lepschy von Geissenthal J (1993): Fusarien verantwortlich für Bierfehler? *Pflanzenschutz-Praxis* **2**, 26-29.

- Beck R, Lepschy von Geissenthal J (2000): Ergebnisse aus dem *Fusarium*-Monitoring 1989-1999 - Einfluss der produktionstechnischen Faktoren Fruchtfolge und Bodenbearbeitung. *Bodenkultur und Pflanzenbau* **4**, 39-49.
- Boshoff WHP, Pretorius ZA, Swart WJ (1999): *In vitro* differences in fungicide sensitivity between *Fusarium graminearum* and *Fusarium crookwellense*. *African Plant Protection* **5**, 65-71.
- 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**, 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**, 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**, 815-824.
- 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**, 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.
- 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**, 11-14.
- 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**, 443-450.
- Deutscher Wetterdienst (1998): Monatlicher Witterungsbericht **46(5)**. Verlag Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main.
- Dickson R, Johann H, Wineland G (1921): Second progress report on the *Fusarium* blight (scab) of wheat. *Phytopathology* **11**, 35.
- 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**, 393-407.
- Doll S, Valenta H, Danicke S, Flachowsky G (2002): *Fusarium* mycotoxins in conventionally and organically grown from Thuringia/Germany. *Landbauforschung Volkenrode* **52**, 91-96.

- 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. Z. PflKrankh. PflSchutz **87**, 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**, 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**, 21-26.
- European Commission (1999): Opinion in *Fusarium* toxins, Part 1: Deoxynivalenol (DON). http://www.europa.eu.int/comm/dg24/health/sc/scf/index_en.html.
- 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**, 289-292.
- Fischer H (1977): Untersuchungen über Fußkrankheiten an Weizen unter besonderer Berücksichtigung von *Fusarium* spp. als Fußkrankheitserreger. Diss. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- Forrer HR, Hecker A, Kulling C, Kessler P, Jenny E, Krebs H (2000): Fusarienbekämpfung mit Fungiziden? Agrarforschung **7**, 258-263.
- 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.
- Grausgruber H, Lemmens M, Buerstmayr H, Ruckenbauer P (1998): Chromosomal location of *Fusarium* head blight resistance and in vitro toxin tolerance in wheat using the Hobbit 'sib' (*Triticum macha*) chromosome substitution lines. J. Genetics and Breeding **52**, 173-180.
- 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**, 69-80.
- Hannukkala AO, Tapio E (1990): Conventional and organic cropping systems at Suitia. V. Cereal diseases. J. Agricultural Science in Finland **62**, 339-347.
- Hilton AJ, Penkinson P, Hollins TW, Parry DW (1999): Relationship between cultivar height and severity of *Fusarium* ear blight in wheat. Plant Pathology **48**, 202-208.
- Hochsteiner W, Schuh M (2000): Die Fusarientoxine Deoxynivalenol und Zearalenon in österreichischen Futtermitteln. Proceedings of the 22nd Mykotoxin-Workshop Bonn 2000, Mycotoxin Research **16A**, 58-61.
- 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**, 1-6.
- Jenkinson P, Parry DW (1994): Splash dispersal of conidia of *Fusarium culmorum* and *Fusarium avenaceum*. Mycological Research **98**, 506-510.
- Jones RK (2000): Assessments of *Fusarium* head blight of wheat and barley in response to fungicide treatment. Plant Disease **84**, 1021-1030.

- 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**, 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**, 491-500.
- Klechkovskaya EA, Adamovskaya VG, Wolf GA, Vovchuk SV (1998): The role of hydrolases and trypsin inhibitor in development of winter wheat resistance to *Fusarium* infection. *Russian J. Plant Physiology* **45**, 728-735.
- Koch G (1991): Pilzliche Schaderreger an Winterweizen im Vergleich zweier konventioneller Betriebe und eines biologisch-dynamischen Betriebes in Hessen (BRD) 1986/87. *Z. PflKrankh. PflSchutz* **98**, 125-136.
- 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**, 790-794.
- Kosiak B, Torp M, Thrane U (1997): The occurrence of *Fusarium* spp. in Norwegian grain - A survey. *Cereal Research Communications* **25**, 595-596.
- 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. *Annals of Applied Biology* **134**, 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**, 63-67.
- Langseth W, Elen O (1996): Differences between barley, oats and wheat in the occurrence of deoxynivalenol and other trichothecenes in Norwegian grain. *J. Phytopathology* **144**, 113-118.
- 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**, 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**, 857-858.
- Lepschy von Geissenthal J (1992): Fusarientoxine in Getreide - ihre Entstehung und Vorbeugungsmaßnahmen. *Gesunde Pflanze* **44**, 35-39.
- 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.
- Manka M, Visconti A, Chelkowski J, Bottalico A (1985): Pathogenicity of *Fusarium* isolates from wheat, rye and triticum toward seedlings and their ability to produce trichothecenes and zearalenone. *Phytopath. Zeitung* **113**, 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, McLeod JA (1991): Influences of production inputs on incidence of infection by *Fusarium* species on cereal seed. *Plant Disease* **75**, 784-788.
- Matthies A (1998): Untersuchungen zur Hemmung der Trichothecenbiosynthese bei *Fusarium graminearum* *in vitro* und zur Reduzierung des Ährenbefalls und 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*. *Z. PflKrankh. PflSchutz*, **107**, 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 22nd Mykotoxin-Workshop Bonn 2000. *Mycotoxin Research* **16A**, 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**, 133-160.
- McMullen M, Jones R, Gallenberg D (1997): Scab of wheat and barley: A re-emerging disease of devastating impact. *Plant Disease* **81**, 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 22nd Mykotoxin-Workshop Bonn 2000, *Mycotoxin Research*, **16A**, 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 Vienna 2001. *Mycotoxin Research*, **17A**, 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**, 15-20.
- Mesterházy Á (1987): Selection of head blight resistant wheats through improved seedling resistance. *Plant Breeding* **98**, 25-36.
- Mesterházy Á (1995): Types and components of resistance to *Fusarium* head blight of wheat. *Plant Breeding* **114**, 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* **49**, 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**, 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**, 161-170.
- Mielke H, Weinert J (1996): Untersuchungen zur Wirkung verschiedener Fungizide gegenüber dem Erreger der Partiellen Taubähigkeit (*Fusarium culmorum* (W. G. Sm.)). *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* **48**, 93-95.

- Miller JD, Young JC, Sampson DR (1985): Deoxynivalenol and *Fusarium* head blight resistance in spring cereals. *Phytopathologische Zeitschrift* **113**, 359-367.
- Miller JD, Arnison PG (1986): Degradation of deoxynivalenol by suspension cultures of the *Fusarium* head blight resistant wheat cultivar Frontana. *Can. J. Plant Pathol.* **8**, 147-150.
- 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.
- 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**, 173-180.
- Müller HM, Metzger KU, Modi R, Reimann J (1994): Ergosterin und Fusarientoxine in Weizenkleie und Weizen. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* **71**, 48-55.
- 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**, 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**, 113-123.
- Nelson PE, Poussoun TA, Marasas WFO (1983): *Fusarium* species: An illustrated manual for identification. Pennsylvania State University Press. University Park, London.
- 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. PflKrankh. PflSchutz* **101**, 449-459.
- Nyvall RF (1970): Chlamydozoospores of *Fusarium roseum* 'Graminearum' as survival structures. *Phytopathology* **60**, 1175-1177.
- Obst A, Obst L, Streckert G (1990): Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse des LBP-Forschungsverbundes *Fusarium*. *Bodenkultur und Pflanzenbau* **4**, 105-107.
- 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, Bechtel A (2000): Witterungsvoraussetzungen für den Ährenbefall des Weizens mit *Fusarium graminearum*. *Bodenkultur und Pflanzenbau* **4**, 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**, 21-26.
- Obst A, Gammel P (2000): Fungizide gegen den Ährenparasiten *Fusarium graminearum*. *Bodenkultur und Pflanzenbau* **4**, 89-98.
- Odörfer A (1996): Auswirkung einer Extensivierung des Weizenanbaus auf das Auftreten und die Schadrelevanz von Fuß-, Blatt- und Ährenkrankheiten. *Dissertation, 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 Vienna 2001, Mycotoxin Research **17A**, 10-14.
- Parry DW, Jenkinson P, McLeod L (1995): *Fusarium* ear blight (scab) in small grain cereals - A review. Plant Pathology **44**, 207-238.
- 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, 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.
- 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**, 794-802.
- Rintelen J (1992): Fusarien in Haferkörnern - eine Bestandsaufnahme in Bayern 1985-1989. Gesunde Pflanzen **44**, 388-392.
- Rintelen J (1995): Zum Infektionszeitpunkt von Fusarien an Weizenkörnern. Gesunde Pflanze **47**, 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**, 11-15.
- 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.
- Samson A, Hoekstra ES, Frisvad JC, Filtenborg O (1995): Introduction to food-borne fungi. 4th Edition Centraalbureau voor Schimmelcultures, Baarn, Wageningen 1995.
- 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.
- Schütze A, Oerke EC, Eisele J, Dehne HW (1997): Auftreten von Pflanzenkrankheiten im Winterweizenanbau des Organischen Landbaus. Contributions to the 4th Scientific Meeting on Ecological Agriculture. Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau F, 308-314.
- Schweighardt H, Schuman M (1981): Deoxynivalenol – Ein bedeutendes Trichothecen. Übers. Tierernährung **9**, 11-13.
- 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**, 578-593.

- Siranidou E, Buchenauer H (2001): Chemical control of head blight on wheat. *J. Plant Disease and Protection* **108**, 231-243.
- Snijders CHA (1990a): Systemic fungal growth of *Fusarium culmorum* in stems of winter wheat. *J. Phytopathology* **129**, 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**, 566-570.
- 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**, 29-31.
- Steinbrenner K (1996): Über die Wirkung ackerbaulicher Maßnahmen auf das Bodenleben. Habilitationsschrift der Landw.-Gärtn. Fakultät der Humboldt-Universität Berlin 1996.
- Strange RN, Smith H (1971): A fungal 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*. *Can. J. Plant Pathol.* **4**, 195-209.
- Takano H (1986): Diniconazole - a new broad spectrum fungicide. *Japan Pesticide Information* **49**, 18-22.
- 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**, 1429-1431.
- Thrane U (1988): Screening for fusarin C production by European isolates of *Fusarium* species. *Mycotoxin Research* **4**, 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.
- 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**, 476-482.
- Usleber E, Lepschy J, Märthbauer E (2000): Deoxynivalenol in Mehlproben des Jahres 1999 aus dem Einzelhandel. Proceedings of the 22nd Mykotoxin-Workshop Bonn 2000, *Mycotoxin Research*, **16A**, 30-33.
- 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**, 863-867.

- Wegner M, Wolf GA (1995): Halmbasiskrankheit auch durch Fusarien. Pflanzenschutz Praxis **1**, 27-29.
- 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**, 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**, 118-125.
- 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**, 467-470.
- Wosnitza A (2000): Verbesserung der *Fusarium*-Resistenzbewertung bei Weizen. Bodenkultur und Pflanzenbau **4**, 59-75.
- Yu YJ (1982): Monosomic analysis for scab resistance and yield components in the wheat cultivar Soo-moo-3. Cereal Res. Comm. **10**, 185-190.

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		TKG [g]	Ertrag [dt/ha]	Länge [cm]
Sorte	MNIV [%]	FSPP [%]			
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 Nivalenol-Gehalt der Körner, Hennef 1999.

Beh. Wachstumsregulator, 1 x Fungizidbehandlung, Körnerinokulation BBCH 30								
Sorte	MNIV [%]	FSPP [%]	TKG [g]	Ertrag [dt/ha]	TKG rel. zu		Weißährig- keit [%]	NIV [µg/g]
					nicht inok.	nicht inok.		
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		Weißährig- keit [%]	NIV [µg/g]
					nicht inok.	nicht inok.		
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), Meckenheim 2000.

Beh. ohne Inokulation, ohne Beregnung					
Sorte	MNIV [%]	FSPP [%]	Weißährigkeit [%]	TKG [g]	Ertrag [dt/ha]
Atlantis	0,5	10,5	0	48,8	72,3
Bandit	0	33,0	< 0,5	50,6	79,5
FR 444/06	0	48,5	< 0,5	50,2	81,0
Hanseat	0	41,0	< 0,1	50,6	75,2
Kanzler	0,5	23,5	< 0,5	50,4	70,9
Ludwig	0	13,5	< 0,1	55,9	77,4

Beh. ohne Inokulation, mit 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. mit Inokulation zu BBCH 65, ohne Beregnung					
Sorte	MNIV [%]	FSPP [%]	Weißährigkeit [%]	TKG rel. zu nicht inok.	Ertrag rel. zu nicht inok.
Atlantis	0	94,5	5,0	32,8	74,4
Bandit	0	98,0	50,0	27,5	41,7
FR 444/06	0	80,0	25,0	38,3	81,2
Hanseat	0	96,0	20,0	26,0	36,6
Kanzler	0	95,0	75,0	32,2	68,6
Ludwig	0	94,5	25,0	37,8	70,8

Beh. mit Inokulation 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

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

Standort	Beh.	MNIV [%]	FSPP [%]	Wirkungsgrad nach Abbott [%]
Bergheim	1	0,5	26,0 b	
	2	0,5	28,0 b	
	3	0,5	36,0 b	-14
	4	1,0	43,0 a	-37
Kerpen	1	1,5	54,0 b	
	2	0	55,5 a	
	3	0	51,5 a	26
	4	0	48,0 a	31
Vluyn	1	0	15,5 d	
	2	0,5	37,5 a	
	3	0	25,5 c	19
	4	0	11,0 e	65
Beckrath	1	1,5	11,0 a	
	2	1,5	16,5 a	
	3	0,0	8,5 a	43
	4	3,5	15,0 a	0
Erftstadt	1	4,5	8,0 a	
	2	2,5	12,5 a	
	3	7,0	14,0 a	-4
	4	6,5	9,5 a	30
Mettmann	1	3,5	7,0 a	
	2	1,5	5,0 a	
	3	1,5	3,0 a	40
	4	3,0	4,0 a	20
Titz	1	0,5	11,0 c	
	2	0,5	45,0 a	
	3	0	30,0 b	-13
	4	0	29,5 b	-11

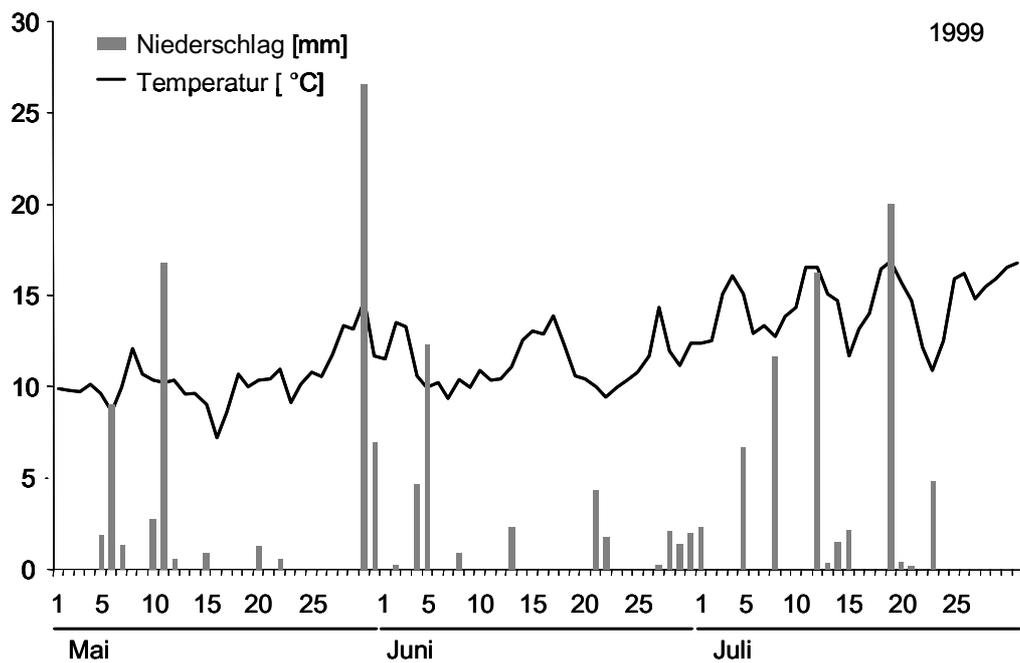
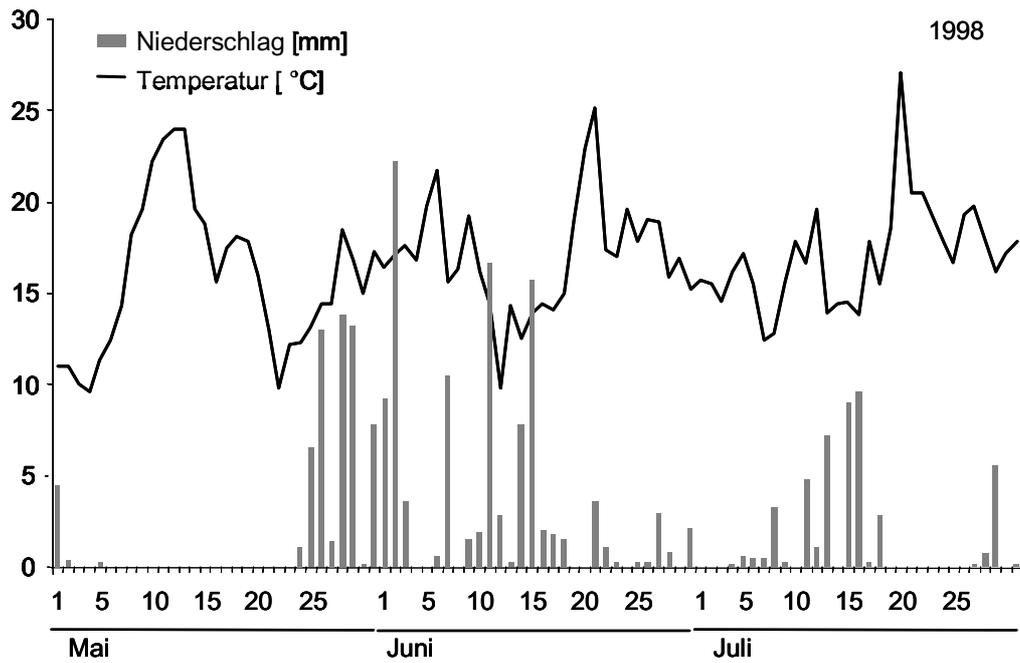


Abb. 1A: Niederschlag und durchschnittliche Tagestemperatur von Mai bis Juli in Kerpen-Buir in den Jahren 1998 und 1999.

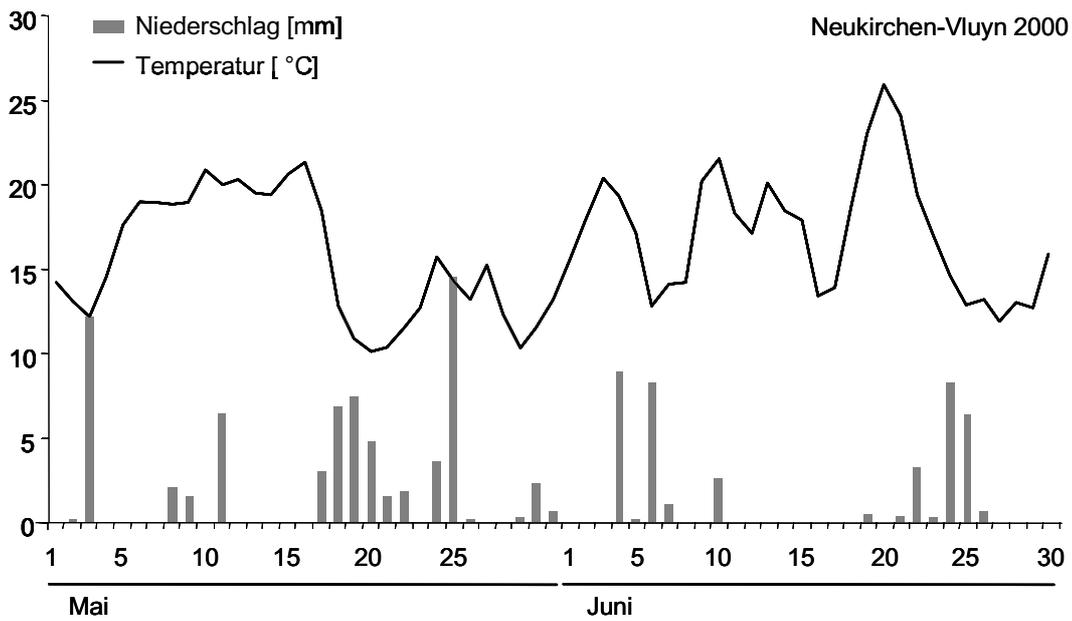
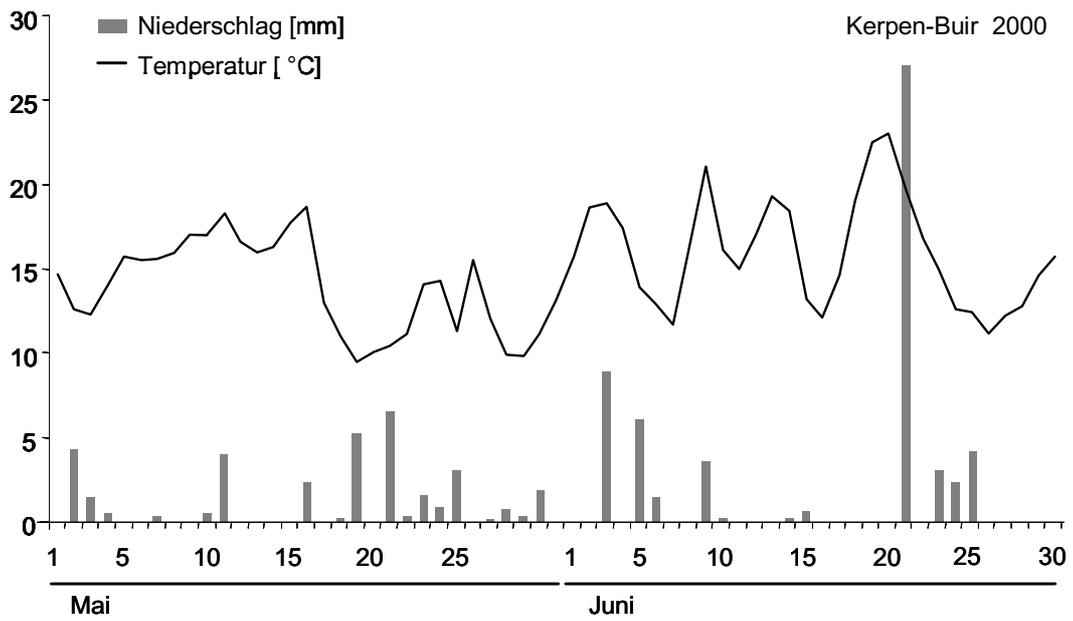


Abb. 2A: Niederschlag und durchschnittliche Tagesstemperatur von Mai und Juni in Kerpen-Buir und Neukirchen-Vluyn im Jahr 2000.

8 Liste der Publikationen

Zeitschriften- und Buchbeiträge

- Lienemann K, Oerke E-C (2000) Achtung Ährenfusariosen: Schutz gegen Pilzgifte. DLZ-Agrarmagazin, April 2000, 44-48.
- Lienemann K, Oerke E-C, Dehne H-W (2000) Effect of differences among wheat genotypes on the occurrence and damage caused by *Fusarium* head blight. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin Dahlem, **377**, 26.
- Lienemann K, Oerke E-C (2000) Einfluss charakteristischer Sorteneigenschaften auf Befall und Schadwirkung von Ährenfusariosen an Winterweizen. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft 2000, Berlin Dahlem, **376**, 330.
- Lienemann K, Oerke E-C, Dehne H-W (2001) Variation in the spectrum of *Fusarium* species on winter wheat. Proceedings of 23rd Mycotoxin Workshop in Vienna 2001, Mycotoxin Research, **17A**, S. 5-9.
- Lienemann K, Oerke E-C, Dehne H-W (2002) Einfluss unterschiedlicher Fungizidstrategien auf das Auftreten von Ährenfusariosen und die Mykotoxinbelastung von Winterweizen. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin Dahlem, **390**, 75-76.
- Lienemann K, Meier A, Steiner U, Oerke E-C, Dehne H-W (2002) Control of *Fusarium* head blight in wheat. p 253-261 in: H-W Dehne, U Gisi, K-H Kuck, PE Russell, H Lyr (eds.): Modern Fungicides and Antifungal Compounds III, Proceedings of the 13th International Reinhardsbrunn Symposium in Reinhardsbrunn (2001), AgroConcept, Bonn.
- Lienemann K (2003): Auftreten von *Fusarium*-Arten an Winterweizen im Rheinland und Möglichkeiten der Befallskontrolle unter besonderer Berücksichtigung der Weizensorte. Diss. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

Vorträge:

- Lienemann K (2002) Zum Artenspektrum von *Fusarium* spp. an Winterweizen im Rheinland. Mykologischer Arbeitskreis der DPG in Göttingen März 2002.
- Lienemann K, Oerke E-C, Dehne H-W: Einfluss unterschiedlicher Fungizidstrategien auf das Auftreten von Ährenfusariosen und die Mykotoxinbelastung von Winterweizen. 53. Deutsche Pflanzenschutztagung in Bonn, September 2002.

Posterbeiträge

- Lienemann K, Oerke E-C: Einfluss charakteristischer Sorteneigenschaften auf Befall und Schadwirkung von Ährenfusariosen an Winterweizen. 52. Deutsche Pflanzenschutztagung in Freising (2000).