

**Aus den Instituten für Pflanzenbau und
Grünlandwirtschaft, Tiernäherung und Pflanzenernäherung**

**Elisabeth Oldenburg
Hana Valenta
Christine Sator**

**Risikoabschätzung und Vermeidungsstrategien bei der
Futtermittelerzeugung**

Manuskript, zu finden in www.fal.de

Published in: Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 216,
pp. 5-34

**Braunschweig
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)
2000**

1 Risikoabschätzung und Vermeidungsstrategien bei der Futtermittelerzeugung (Elisabeth, Hana Valenta, Christine Sator)

1.1 Einleitung

Schimmelpilze verursachen bei Nahrungs- und Futtermitteln nicht nur Qualitätseinbußen, sondern sind auch wegen des Kontaminationsrisikos mit Mykotoxinen ein ernstzunehmendes Problem in der landwirtschaftlichen Produktion. Mykotoxinhaltige Futtermittel können die Gesundheit und Leistungsfähigkeit von Nutztieren gefährden und auch der Mensch kann durch Aufnahme von mykotoxinbelasteten pflanzlichen und tierischen Nahrungsmitteln gesundheitlich beeinträchtigt werden.

Die Gefahr eines Schimmelpilzbefalls und damit einer Mykotoxinkontamination von Kulturpflanzen beginnt mit der Pflanzenentwicklung im Feld. Unter Feldbedingungen wirken zahlreiche Umweltfaktoren der Atmosphäre (u.a. Feuchtigkeit, Temperatur, Sonneneinstrahlung, Wind, Schadstoffe) und des Bodens (u.a. Feuchtigkeit, Temperatur, Nährstoffe, pH, mikrobielle Zusammensetzung) auf das biologische System Pflanze, die in Wechselwirkung mit den Eigenschaften der Pflanze (u.a. Genotyp, Inhaltsstoffe) die Mikroflora der Pflanze beeinflussen. Pflanzenbauliche Maßnahmen, wie z.B. Bodenbearbeitung, Fruchtfolge, Sortenwahl, Pflanzenschutzmaßnahmen, greifen in dieses Ökosystem ein und können sowohl hemmend als auch fördernd auf einen Schaderregerbefall der Pflanze wirken. Schädigungen der Pflanze durch Insekten und andere Fraßschädlinge können Pilzbefall begünstigen.

Im Folgenden werden am Beispiel der Schimmelpilz-Gattung *Fusarium* zunächst aktuelle Daten zum Vorkommen von Fusariumtoxinen in Getreide, Mais und Gräsern unter den Produktionsbedingungen in Deutschland zusammengefasst. Anschließend wird der Kenntnisstand über Einflüsse, die sich durch Standortfaktoren und pflanzenbauliche Maßnahmen im Hinblick auf eine Mykotoxinbelastung von Futtermitteln ergeben, dargestellt. Die Gattung *Fusarium* wurde gewählt, weil Arten dieser Gattung zu den wichtigsten Schaderregern bei den genannten Kulturpflanzen gehören.

1.2 Vorkommen von Fusarien und Fusariumtoxinen in Futtermitteln – aktuelle Daten

Von den auf Getreide, Mais, und Gräsern vorkommenden toxinbildenden Fusariumarten (Tab. 1.1) haben *F. graminearum* und *F. culmorum* weltweit die größte Bedeutung (Chelkowski, 1998), da diese mit großer Häufigkeit auftreten und als hoch phytopathogene Arten bekannt sind. Diese beiden Arten bilden hauptsächlich Trichothecene des B-Typs (z.B. Deoxynivalenol und Derivate) sowie Zearalenon. *F. poae* und *F. crockwellense* sind als Nivalenol-Bildner bekannt, *F. avenaceum* und *F. subglutinans* bilden Moniliformin, *F. moniliforme* sowie *F. proliferatum* bilden Fumonisine. Typ A-Trichothecene (z.B. T-2 Toxin, HT-2 Toxin, Diacetoxyscirpenol, Neosolaniol) können von etlichen Fusariumarten gebildet werden (Tab. 1.1), werden in ihrer Bedeutung jedoch als geringer eingestuft als die Typ-B Trichothecene (Gareis et al., 1989; Lew, 1994). Neuere Forschungen haben ergeben, dass *F. subglutinans*, *F. proliferatum* und *F. semiseptum* Beauvericin bilden können, ein Mykotoxin, dessen toxische Wirkungen bisher kaum untersucht sind (Gupta et al., 1991; Logrieco et al., 1993; Chelkowski, 1998).

Tabelle 1.1: Arten der Gattung *Fusarium* auf Getreide und Mais (Chelkowski, 1998; Lew, 1994, Cole and Cox, 1981)

<i>Fusarium</i> -Art	Häufigkeit des Vorkommens	Pathogenität (Ährenbefall) (m= beim Mais)	Mykotoxine
<i>F. graminearum</i>	++++	hoch	DON, 3 bzw. 15AcDON, NIV, DAS, ZON
<i>F. culmorum</i>	+++++	hoch	DON, 3AcDON, NIV, T-2, HT-2, NEO, ZON
<i>F. crockwellense</i> (Syn.: <i>F. cerealis</i>)	++	hoch	NIV, FUS, ZON
<i>F. avenaceum</i>	+++++	mäßig	NEO, FUS, ZON, MON
<i>F. subglutinans</i> (Syn.: <i>F. sacchari</i> var. <i>subglutinans</i>)	+++++	mäßig ^m	MON, BEA
<i>F. moniliforme</i> (Syn.: <i>F. verticillioides</i>)	++++	mäßig ^m , endophytisch ^m	FUM B ₁ /B ₂ /B ₃ , FU-C
<i>F. poae</i>	+++	mäßig	NIV, FUS, T-2, HT-2
<i>F. sporotrichioides</i>	++	mäßig	T-2, HT-2, NEO
<i>F. tritinctum</i>	++	gering	T-2, DAS, MON, ZON
<i>F. proliferatum</i>	++	gering ^m	FB ₁ /FB ₂ , FUS, MON, BEA
<i>F. equiseti</i>	++	saprophytisch	T-2, HT-2, DAS, FUS, NEO, ZON
<i>F. oxysporum</i> (Syn.: <i>F. redolens</i>)	++	saprophytisch	ZON, MON
<i>F. semisectum</i>	+	saprophytisch	DAS, BEA

Saprophytisch= auf abgestorbenem organischen Material wachsend

Durch den Befall von Kulturpflanzen mit Fusarien kann es im Verlauf der Vegetation zu Kontaminationen mit typischen Fusariumtoxinen kommen.

Im folgenden wird ein Überblick über aktuelle Daten von Fusariumtoxin-Gehalten in frischen Ernteprodukten von Getreide, Mais, Gräsern sowie daraus produzierten Konservaten gegeben.

1.2.1 Getreide

In Weizen, Roggen, Gerste, Hafer und Triticale aus Deutschland wurden in den letzten Jahren häufig die Fusariumtoxine Deoxynivalenol (DON) sowie Zearalenon (ZON) nachgewiesen (Tabellen 1.2 und 1.3). Die Gehalte an DON lagen bei den einzelnen Untersuchungen im Mittel zwischen 0,15 und 2,7 mg/kg. In einer Untersuchung von Proben aus Mittel- und Norddeutschland des Jahres 1998, einem Jahr mit erhöhtem Fusariumbefall, wurde jedoch ein hoher mittlerer DON-Gehalt von 6,8 mg/kg festgestellt. Die weiten Konzentrationsbereiche der einzelnen Untersuchungen zeigen, dass in jedem Jahr mit Standorten zu rechnen ist, bei denen vergleichsweise hohe DON-Konzentrationen in Getreide vorkommen (Tab. 1.2).

Die Konzentrationen an Zearalenon lagen im Vergleich zu DON im Mittel deutlich niedriger, meist zwischen 0,003-0,18 mg/kg (Tab. 1.3). Lediglich im Jahr 1998 (Fusarium-Jahr) wurde in einer Untersuchung mit ca. 0,5 mg/kg ein deutlich höherer mittlerer Zearalenon-Gehalt in Weizen festgestellt. Vereinzelt wurden hohe Maximalwerte bis ca. 8 mg/kg in Weizen nachgewiesen (Tab. 1.3).

In konventionell bzw. ökologisch angebautem Getreide wurden teilweise unterschiedliche DON- und ZON-Gehalte gemessen. Marx et al. (1995) fanden im Mittel eine höhere Zearalenon-, teilweise auch höhere Deoxynivalenol-Belastung von Weizen- und Roggenproben aus ökologischer Erzeugung. In der Untersuchung von Döll et al. (2000) war Weizen aus der Besonderen Ernteermittlung höher mit DON belastet als Weizen, der ausschließlich aus dem ökologischen Landbau stammte (Tab. 1.2 und 1.3).

Als weitere Fusariumtoxine wurden in einer mehrjährigen Studie aus Baden-Württemberg in Weizen, Gerste und Hafer 3-Acetyl-DON bzw. 15-Acetyl-DON, Nivalenol sowie T-2 Toxin und HT-2 Toxin relativ häufig festgestellt, jedoch überwiegend in geringen Konzentrationen $\leq 0,3$ mg/kg (Tab. 1.4). Fusarenon-X und Diacetoxyscirpenol wurden in der dargestellten Untersuchung nicht nachgewiesen (Tab. 1.4).

In insgesamt 550 statistisch ausgewählten Weizen- und Roggenproben aus der Besonderen Ernteermittlung, die deutsche Getreideernte von 1993 und 1994 repräsentieren, sowie bei stichprobenartig untersuchten Gersten- und Haferproben konnten keine Fumonisine nachgewiesen werden (Meister und Symmank, 1996).

1.2.2 Silomais

In Ernteprodukten von Silomais ist häufig mit Fusariumtoxin-Kontaminationen zu rechnen. Fusariumtoxine werden meist erst in den letzten 4-6 Wochen vor Erreichen der Siloreife und vorwiegend in den vegetativen Teilen der Maispflanze (Blätter und Stengel) angereichert (Oldenburg, 1993). Dies steht in Zusammenhang mit einem verstärkten Fusariumbefall der gegen Ende der Reife absterbenden vegetativen Pflanzenteile des Maises bzw. mit dem Auftreten der von Fusarien verursachten Stengelfäule (Krüger, 1976; Schumann et al., 1991; Oldenburg, 1997). Eine Verzögerung der Ernte über die Siloreife hinaus birgt das Risiko einer weiteren Anreicherung von Fusariumtoxinen. Daher können Modelle (z.B. auf der Grundlage des Bedarfes an Tagesgradeinheiten, AGPM Info Nr. 237, Juli 1998), die dem Landwirt eine Vorhersage des optimalen Erntezeitpunktes ermöglichen, unnötige Risiken, die sich aus zu langen Standzeiten ergeben, vermeiden helfen.

In einem umfangreichen, zweijährigen und an mehreren Standorten in Deutschland durchgeführten Sortenversuch wurden mit großer Häufigkeit Fusariumtoxine, hauptsächlich Deoxynivalenol, Nivalenol und Zearalenon, in den Restpflanzen des Silomaises festgestellt (Tab. 1.5). Die mittleren Gehalte an Deoxynivalenol sowie Nivalenol lagen zwischen ca. 1 und 4 mg/kg TM und damit deutlich höher als die mittleren Zearalenon-Gehalte von 0,06-0,4 mg/kg TM.

Zusätzlich wurden geringe Mengen an α - und β -Zearalenol bis maximal 0,08 mg/kg TM in den Restpflanzenproben nachgewiesen. Die Kolben des Silomaises waren dagegen weitaus seltener und nur in geringen Konzentrationen bis maximal 0,17 mg/kg TM mit Zearalenon belastet.

In einer österreichischen Studie wurden in Blättern und Stengel von Silomais (nur Proben mit Stengelfäule) ebenfalls Mehrfach-Kontaminationen von Nivalenol und Deoxynivalenol in z.T. hohen Konzentrationen nachgewiesen (Tab. 1.5).

1.2.3 Körnermais

In Körnermais wurden mit großer Häufigkeit die Fusariumtoxine Deoxynivalenol, Zearalenon sowie Fumonisin B₁ nachgewiesen (Tab. 1.6). Diese gegenüber dem Silomais verstärkt auftretende Belastung der Körner mit Fusariumtoxinen ist auf die längere Kulturdauer des Körnermaises im Feld zurückzuführen. Ungewöhnlich hohe Gehalte an Deoxynivalenol (maximal ca. 9 mg/kg TM) und insbesondere an Zearalenon (maximal 26 mg/kg TM) wurde in Kolben- bzw. Körnermaisproben aus dem Erntejahr 1998 (Fusarium-Jahr) nachgewiesen (Tab. 1.6).

Aus der landwirtschaftlichen Praxis bzw. Sortenversuchen stammender Körnermais aus dem Jahr 1994 enthielt Fumonisine in Konzentrationen bis maximal 7,13 mg/kg.

Untersuchungen aus Österreich belegen, dass in Maiskörnern mit einem Vorkommen von weiteren, bisher wenig untersuchten Fusariumtoxinen, wie dem Beauvericin und dem Moniliformin, zu rechnen ist.

1.2.4 Gräser und Heu

Gräser und Heu können ebenfalls aufgrund von Infektionen mit Fusarien Zearalenon sowie Trichothecene enthalten (Tab. 1.7). In Frischgrasproben aus Sortenversuchen wurden mit großer Häufigkeit Zearalenon, und mit geringerer Häufigkeit T-2-Toxin und Diacetoxyscirpenol nachgewiesen. Zusätzlich zum T-2 Toxin wurden in Gras- bzw. Heuproben T-2 Triol und HT-2 Toxin gefunden. In einer Erhebungsstudie mit Heuproben aus der Praxis wurde in allen Proben Deoxynivalenol, maximal 1 mg/kg TM, nachgewiesen und in mehr als der Hälfte der Proben geringe Mengen an Zearalenon. Es ergaben sich dabei keine Unterschiede zwischen Heu von intensiv und extensiv bewirtschaftetem Grünland.

1.2.5 Silagen: Maissilagen (Ganzpflanze), Corn-Cob-Mix (CCM) und Grassilagen

Bei der Silierung von Mais und Gras sterben Fusarien unter anaeroben Verhältnissen rasch ab, so dass kaum mit einer zusätzlichen Bildung von Fusariumtoxinen im Silierverlauf zu rechnen ist. Die bereits im Ernteprodukt vorhandenen Fusariumtoxine bleiben jedoch im Silierprozeß meist erhalten und wurden in Maissilagen (Ganzpflanze, Corn-Cob-Mix) und Grassilagen nachgewiesen (Tab. 1.8). Eine Bildung von Metaboliten durch die Silage-Mikroflora sowie Reaktionen mit Inhaltsstoffen von Silagen sind möglich (Auerbach und Geissler, 1992).

Insgesamt ist jedoch das verfügbare Datenmaterial zum Vorkommen bzw. Umwandlung von Fusariumtoxinen im Silierprozeß noch sehr lückenhaft.

Tabelle 1.2: Vorkommen von Deoxynivalenol (DON) in Getreide aus Deutschland

Getreideart	Probenanzahl		Konzentration (mg/kg)		Jahr der Probenahme	Literatur
	Gesamt	% positiv	Mittelwert (pos. Pr.)	Bereich		
Weizen ⁴⁾	45-84 ¹⁾	69-96 ¹⁾	0,15-1,69 ¹⁾	0,003-20,54	1987-1993	Müller et al., 1997a
Weizen, konventionell ²⁾	51	88	0,42	0,10-1,20	1991	Marx et al., 1995
Weizen, ökologisch ³⁾	50	76	0,49	0,10-1,00	1991	Marx et al., 1995
Weizen ⁶⁾	21	90	0,76 ³⁾	0,14-2,84 ³⁾	1996	Kuhlmann et al., 1999
Weizen, BEE ⁶⁾	150	69	1,54 ³⁾	0,12-11,66 ³⁾	1998	Döll et al., 2000
Weizen, ökologisch ⁶⁾	46	54	0,76 ³⁾	0,13-4,22 ³⁾	1998	Döll et al., 2000
Weizen ⁷⁾	29	93	2,33 ²⁾	0,30-10,80	1998	Bischoff, 1999
Weizen ⁸⁾	52	85	6,82	0,10- 34,60	1998	Ellner, 1999
Weizen ⁹⁾	116	86	2,70	bis 10,80	1998	Reutter, 1999
Roggen, konventionell ²⁾	50	40	0,16	0,10-1,25	1991	Marx et al., 1995
Roggen, ökologisch ⁵⁾	50	56	0,43	0,10-0,50	1991	Marx et al., 1995
Roggen, BEE ⁶⁾	50	34	0,49 ³⁾	0,13-3,09 ³⁾	1998	Döll et al., 2000
Roggen, ökologisch ⁶⁾	19	11	0,13 ³⁾	0,12-0,13 ³⁾	1998	Döll et al., 2000
Gerste ⁴⁾	44-58 ¹⁾	71-98 ¹⁾	0,04-0,40 ¹⁾	0,002-4,76	1987-1992	Müller et al., 1997b
Hafer ⁴⁾	51-56 ¹⁾	49-85 ¹⁾	0,05-0,30 ¹⁾	0,003-1,48	1987-1992	Müller et al., 1998
Triticale ³⁾	24	83	0,99	bis 4,71	1998	Reutter, 1999

BEE - besondere Erntemittlung, 1) bezogen auf einzelne Jahre, 2) Mittelwert aller Proben, negative Proben mit der Hälfte der Nachweisgrenze einbezogen, 3) bezogen auf Trockensubstanz, 4) Proben aus Baden-Württemberg, 5) Proben aus Bayern, 6) Proben aus Thüringen, 7) Proben aus dem Weser-Ems-Gebiet, 8) Proben aus Mittel- und Norddeutschland, 9) Proben aus Schleswig-Holstein

Tabelle 1.3: Vorkommen von Zearalenon (ZON) in Getreide aus Deutschland

Getreideart	Probenanzahl		Konzentration (mg/kg)		Jahr der Probenahme	Literatur
	Gesamt	% positiv	Mittelwert (pos. Pr.)	Bereich		
Weizen ⁴⁾	45-84 ¹⁾	11-80 ¹⁾	0,003-0,18 ¹⁾	0,001-8,04	1987-1993	Müller et al., 1997a
Weizen, konventionell ⁵⁾	51	16	0,006	0,001-0,02	1991	Marx et al., 1995
Weizen, ökologisch ⁵⁾	50	36	0,02	0,001-0,11	1991	Marx et al., 1995
Weizen ⁶⁾	21	62	0,04 ³⁾	0,003-0,22 ³⁾	1996	Kuhlmann et al., 1999
Weizen, BEE ⁶⁾	135	7	0,07 ³⁾	0,02-0,25 ³⁾	1998	Döll et al., 2000
Weizen, ökologisch ⁶⁾	46	4	0,05 ³⁾	0,04-0,06 ³⁾	1998	Döll et al., 2000
Weizen ⁷⁾	230	63	0,10 ²⁾	0,01-5,50	1998	Bischoff, 1999
Weizen ⁸⁾	52	72	0,52	0,01-2,20	1998	Ellner, 1999
Weizen ⁹⁾	125	74	0,07	Bis 0,35	1998	Reutter, 1999
Roggen, konventionell ⁵⁾	50	18	0,004	0,001-0,007	1991	Marx et al., 1995
Roggen, ökologisch ⁵⁾	50	10	0,05	0,001-0,20	1991	Marx et al., 1995
Roggen ⁷⁾	27	37	0,04 ²⁾	0,01-0,41	1998	Bischoff, 1999
Gerste ⁴⁾	44-58 ¹⁾	7-68 ¹⁾	0,003-0,04 ¹⁾	0,001-0,31	1987-1992	Müller et al., 1997b
Gerste ⁷⁾	66	3	<0,01 ²⁾	0,01-0,03	1998	Bischoff, 1999
Hafer ⁴⁾	51-56 ¹⁾	20-37 ¹⁾	0,008-0,02 ¹⁾	0,001-0,22 ¹⁾	1987-1992	Müller et al., 1998
Triticale ⁷⁾	72	47	0,02 ²⁾	0,01-0,12	1998	Bischoff, 1999

Erklärungen siehe Tab. 1.2

Tabelle 1.4: Vorkommen von Trichotheceen außer DON in Weizen, Gerste und Hafer aus Baden-Württemberg in den Jahren 1987 bis 1993 (Müller et al., 1997a, 1997b und 1998)

Mykotoxin	Probenanzahl ¹⁾		Mittelwert (pos. Pr.)	Bereich
	Gesamt	% positiv		
3-Acetyl-DON	40-84	0-62	0,005-0,21	0,002-1,90
15-Acetyl-DON	40-84	0-30	0,004-0,07	0,001-0,18
Nivalenol	40-84	11-67	0,005-0,19	0,001-0,63
Fusarenon-X	40-84	0		
T-2 Toxin	40-84	0-61	0,006-0,24	0,002-1,69
HT-2 Toxin	40-84	0-29	0,009-0,30	0,002-2,02
Diacetoxyscirpenol	40-84	0		

1) bezogen auf einzelne Jahre und einzelne Getreidearten

Tabelle 1.5: Vorkommen von Fusariumtoxinen in Silomais

Art der Proben	Probenanzahl		Mykotoxin	Konzentration (mg/kg TM)		Jahr der Probenahme	Literatur
	Gesamt	% positiv		Mittelwert (pos. Pr.)	Bereich		
<u>Silomais</u> ¹⁾ Restpflanze	298	98	Zearalenon	0,39	0,005 - 2,97	1995	Oldenburg et al., 1996
	30	60	α -Zearalenol	0,02	0,010 - 0,03		
		90	β -Zearalenol	0,03	0,013 - 0,08		
	60	90	Nivalenol	1,44	0,34 - 3,35		
		92	Deoxynivalenol	1,13	0,12 - 3,51		
Kolben	170	8	Zearalenon	0,05	0,009 - 0,17		
<u>Silomais</u> ¹⁾ Restpflanze	299	76	Zearalenon	0,06	0,006 - 0,82	1996	Oldenburg, 1997b
	58	100	Deoxynivalenol	4,07	0,73 - 12,39		
	100	16	Zearalenon	0,03	0,007 - 0,10		
<u>Silomais</u> ²⁾ Blätter	6	67	Nivalenol	5,37	4,68 - 7,04		Lew et al., 1997
		83	Deoxynivalenol	0,93	0,26 - 2,55		
	6	33	Nivalenol	0,66	0,50 - 0,81		
		100	Deoxynivalenol	8,69	3,25 - 13,75		
Stengel							

1) 20 Sorten (konventionell und „stay green“) von 5 Standorten in Deutschland (Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Sachsen-Anhalt, Bayern)

2) Proben aus Österreich, nur Maispflanzen mit Stengelfäule

Tabelle 1.6: Vorkommen von Fusariumtoxinen in Körnermais

Art der Proben	Probenanzahl		Mykotoxin	Konzentration (mg/kg TM)		Jahr der Probenahme	Literatur
	Gesamt	% positiv		Mittelwert (pos. Pr.)	Bereich		
Körnermais ¹⁾	10	80	Deoxynivalenol	0,55	max. 0,91	Wahrsch. 1996/1997	Usleber et al., 1998
		80	Zearalenon	0,06	max. 0,09		
		80	Fumonisin B ₁	0,53	max. 2,60		
<u>Körnermais</u> ²⁾ Praxis	109	25	Fumonisin Σ B ₁ , B ₂ , B ₃	ca. 0,3	0,006 – 1,52	1994	Meister und Symmank, 1996
		208	Fumonisin Σ B ₁ , B ₂ , B ₃	(alle Proben)	0,007 – 7,13		
Sortenversuche Kolben ³⁾	85	95	Deoxynivalenol	0,73	max. 2,44	1996	Ellend et al., 1998
		70	Zearalenon	0,13	max. 0,75		
Kolben/ Körner- Mais ⁴⁾	98	44	Deoxynivalenol	0,40	max. 1,56	1997	Reutter, 1999
		12	Zearalenon	0,19	max. 0,90		
Kolben/ Körner- Mais ⁴⁾	21	67	Deoxynivalenol	1,74	max. 8,95	1998	
		21	Zearalenon	3,36	max. 26,00		
<u>Maiskörner</u> ⁶⁾ verpilzt	2	100	Beauvericin		26 ; 65	1995	Krska et al., 1996
<u>Maiskörner</u> ⁷⁾ mit Zünslerbefall am Kolben			Moniliformin		0,17 – 0,49	1991 – 1995	Lew et al., 1996

- 1) Proben für menschliche Ernährung aus deutschem Handel, Herkunft unbekannt
- 2) Proben aus der landwirtschaftlichen Produktion und Landessortenversuchen, Deutschland
- 3) Proben bestimmt für die Schweinefütterung, Österreich
- 4) Proben aus Schleswig-Holstein, Deutschland
- 6) Sammelproben von verschiedenen Genotypen von 2 Standorten in Österreich
- 7) Proben aus Österreich

Tabelle 1.7: Vorkommen von Fusariumtoxinen in Gras und Heu

Art der Proben	Probenanzahl		Mykotoxin	Konzentration (mg/kg)		Jahr der Probenahme	Literatur
	Gesamt	% positiv		Mittelwert (pos. Pr.)	Bereich		
Gras/Heu	19	20	T-2 Triol T-2 Toxin HT-2 Toxin	0,65 0,2 - 0,3 0,2			Thalmann, 1986
<u>Gräser</u> ¹⁾ <i>Lolium perenne</i> <i>Lolium multiflorum</i>		67 25 22	Zearalenon T-2 Toxin Diacetoxyscirpenol	0,01 - 4,75* 0,04 - 2,78* 0,003 - 0,06*		1991 - 1992	Engels und Krämer, 1996
<u>Heu</u> ²⁾ Intensiv Extensiv Intensiv Extensiv	9 55 9 55	100 100 67 58	Deoxynivalenol Deoxynivalenol Zearalenon Zearalenon	0,46* 0,53* 0,02* 0,02*	0,23 - 0,72* 0,24 - 1,07* 0,005 - 0,08* 0,005 - 0,22*	1997	Oldenburg, 1999

* bezogen auf die Trockenmasse (mg/kg TM)

1) Proben aus Sortenversuchen; 28 Sorten von Versuchsflächen in Nordrhein-Westfalen

2) Praxisproben aus Deutschland (Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen, Hessen, Baden-Württemberg, Mecklenburg-Vorpommern)

Tabelle 1.8: Vorkommen von Fusariumtoxinen in Maissilagen (Ganzpflanze), CCM und Grassilagen

Art der Proben	Probenanzahl		Mykotoxin	Konzentration (mg/kg)		Jahr der Probenahme	Literatur
	Gesamt	% positiv		Mittelwert (pos. Pr.)	Bereich		
Maissilagen (Praxis) ¹⁾	19	89	Zearalenon	0,05*	0,02 - 0,12*	1993 - 1995	Valenta und Oldenburg, 1995
Maissilagen (Praxis) ²⁾	25	84	Zearalenon	0,05*	0,01 - 0,17*	1994	
Maissilagen ³⁾	24	96	Zearalenon	0,13	max. 1,07	1998	Reutter, 1999
	24	79	Deoxynivalenol	1,61	max. 9,86		
CCM ⁴⁾	71	20	Zearalenon		0,025 - 0,5	1982	Thalmann, 1986
	28	4	Deoxynivalenol		0,21		
	42	5	Diacetoxyscirpenol		0,88 - 1,5		
CCM ⁵⁾	6	100	Zearalenon		0,033 - 3,1	1988/1989	Veldman et al., 1992
		17	Deoxynivalenol		0,13		
Frisches Gras und Grassilagen ⁴⁾		86	Zearalenon		0,01 - 1,86*	1990	Engels und Krämer, 1996
		41	Diacetoxyscirpenol		0,002 - 0,04*		

* auf die Trockenmasse bezogen (mg/kg TM)

- 1) Proben von einem Standort in Niedersachsen, Deutschland
- 2) Proben von verschiedenen Standorten in Niedersachsen und Bayern, Deutschland
- 3) Proben aus Schleswig-Holstein, Deutschland
- 4) Proben aus Deutschland
- 5) Proben aus den Niederlanden

1.3 Einfluss von Standortfaktoren und pflanzenbaulichen Maßnahmen auf die Mykotoxinbelastung von Futtermitteln

1.3.1 Standortfaktoren

Die spezifischen, kleinräumigen und sehr komplexen Bedingungen am Wuchsstandort der Kulturpflanze sind ausschlaggebend für das Ausmaß des Befalls mit Schimmelpilzen und bedingen damit den Grad der im Ernteprodukt letztendlich vorhandenen Mykotoxin-Kontaminationen.

Einen wesentlichen Einfluss haben Witterungsfaktoren, in die jedoch nicht steuernd eingegriffen werden kann. Ein Befall der generativen Pflanzenteile von Getreide, Mais und Gräsern mit Fusarien wird besonders durch Feuchtigkeit (Regen) und Temperaturen zum Zeitpunkt der Blüte beeinflusst. Dabei ist die Gesamtmenge an Niederschlag weniger ausschlaggebend als der zeitgenaue Niedergang von Regen zum Zeitpunkt der Blüte (Sutton, 1982). Von den hochpathogenen Fusariumarten, die am häufigsten auf Getreide, Mais und Gräsern zu finden sind, dominiert bei wärmeren Bedingungen und entsprechender Feuchtigkeit *F. graminearum*, während *F. culmorum* eher kühlere Bedingungen bevorzugt. Die weniger pathogen und auch weniger häufig vorkommenden Arten *F. sporotrichioides* und *F. poae* bevorzugen eher kühlere Temperaturen (Abramson, 1998). Nach Erkenntnissen der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau besteht ein hohes Infektionsrisiko durch *Fusarium graminearum*, wenn im Zeitraum des Ährenschiebens bis Ende der Blüte an einem Tag mindestens 5 mm Niederschlag fallen und Tagesdurchschnittstemperaturen über 18°C registriert werden (Beck et al., 1997a).

Die am jeweiligen Standort angewandten pflanzenbaulichen Verfahren beeinflussen in z.T. erheblichem Ausmaß das Befallsgeschehen und bieten Möglichkeiten, steuernd im Hinblick auf eine Vermeidung von Kontaminations-Risiken einzugreifen.

Im Folgenden werden aktuelle Forschungsergebnisse zu den Faktoren Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Sortenwahl, Pflanzenschutzmaßnahmen und Pflanzenernährung in ihrem Einfluss auf Fusariumtoxin-Kontaminationen zusammengefasst. Basierend auf diesem Erkenntnisstand werden Strategien zur Verhinderung bzw. Reduzierung von Fusariumbefall und Toxinkontaminationen in Getreide und Mais abgeleitet.

1.3.2 Infektionsdruck/Bodenbearbeitung

Der vom Boden ausgehende Infektionsdruck von Schimmelpilzen ist ein wichtiger Faktor, der Einfluss auf das Befalls-Geschehen im Vegetationsverlauf hat und durch Verfahren der Bodenbearbeitung wesentlich bedingt wird.

Im Rahmen eines Verbundprojektes der Universität Göttingen, der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA) und Mitgliedern des Arbeitskreises „Integrierter Pflanzenschutz-Getreide“ der Deutschen Phytomedizinischen Gesellschaft (DPG) wurde in den Jahren 1996-1998 an zahlreichen Standorten in Deutschland u.a. geprüft, inwieweit Fusariumtoxin-Gehalte in Ernteprodukten von zwei Winterweizen-Sorten durch einen künstlich erzeugten, vom Boden ausgehenden Infektionsdruck von Fusarien im Vergleich zum natürlichen Infektionsdruck (Kontrolle) beeinflusst werden. Als künstliches Inokulum wurden Haferkörner, infiziert mit mehreren toxinogenen Stämmen von *Fusarium culmorum* bzw. *F. graminearum*, gleichmäßig auf dem Boden der Bestände ausgebracht (genaue

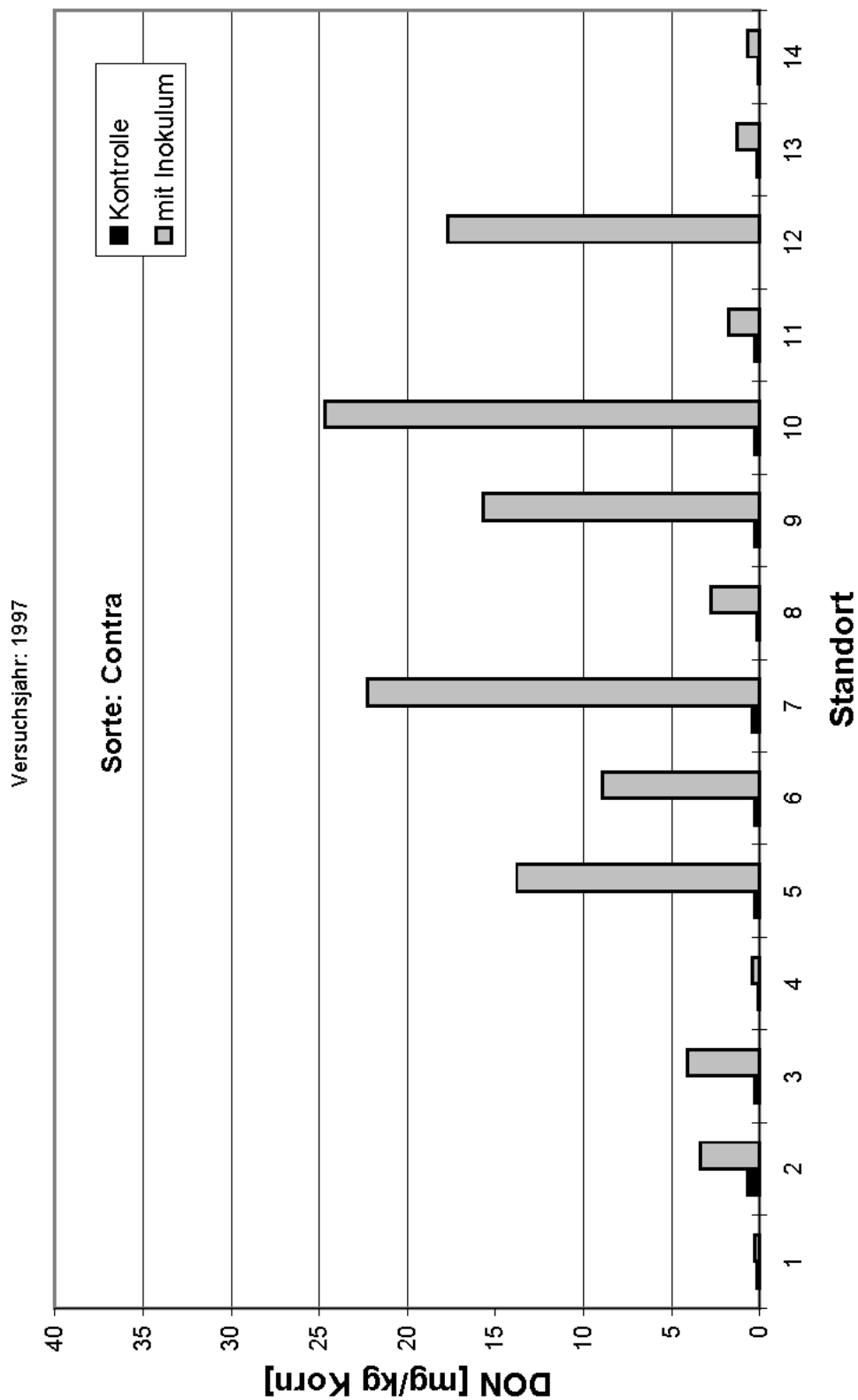


Abbildung 1.1: Einfluss des Boden-Inokulums auf den Deoxynivalenol-Gehalt in Winterweizen (Oldenburg, Weinert und Wolf, 1997, unveröffentlicht)

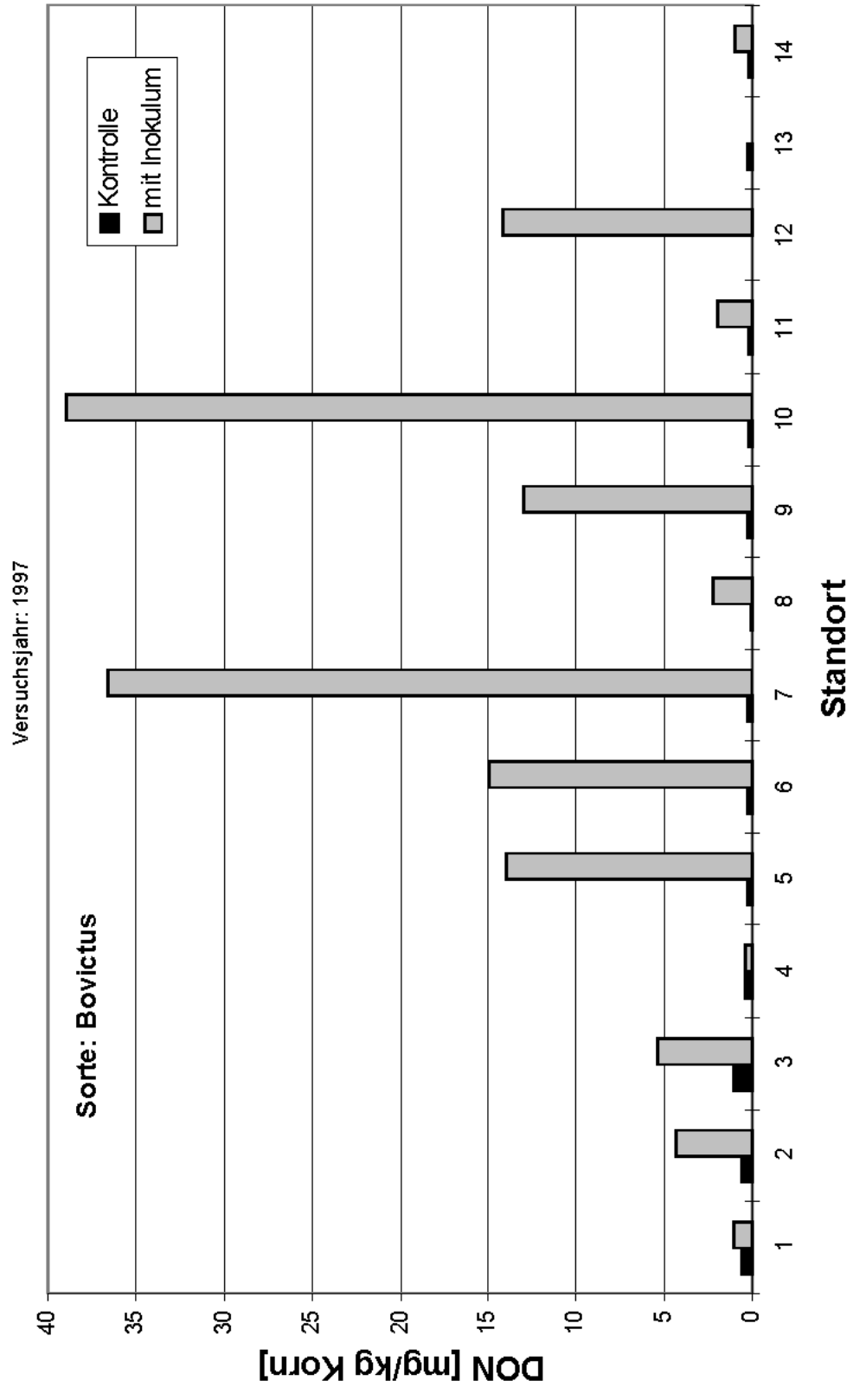


Abbildung 1.2: Einfluss des Boden-Inokulums auf den Deoxynivalenol-Gehalt in Winterweizen (Oldenburg, Weinert und Wolf, 1997, unveröffentlicht)

Beschreibung des Projektes siehe Kap. 1.3.5). Beispielhaft für alle drei Versuchsjahre sind in den Abbildungen 1.1 und 1.2 die Ergebnisse des Versuchsjahres 1997 dargestellt. Bei den natürlich infizierten Varianten (Kontrollen) wurden bei beiden Sorten an allen untersuchten Standorten nur geringe Deoxynivalenol-Gehalte im Bereich von 0,1 bis maximal 1,1 mg DON/kg Korn nachgewiesen. Daraus kann geschlossen werden, dass im Versuchsjahr 1997 vom Boden der untersuchten Standorte nur ein geringer natürlicher Infektionsdruck ausging. Bei den Varianten mit künstlich zugesetztem Boden-Inokulum wurden dagegen an den meisten Standorten deutlich höhere DON-Gehalte in den Körnern gefunden, maximal ca. 39 mg DON/kg Korn am Standort 10. Jedoch gab es auch Standorte (1, 4, 13, 14), an denen trotz des hohen künstlichen Infektionsdruckes am Boden nur relativ geringe DON-Gehalte im Bereich von 0,03 bis 1,1 mg DON/kg Korn in den Ernteprodukten nachgewiesen wurden. Dies ist wahrscheinlich auf Witterungsbedingungen zurückzuführen, die einen starken Fusariumbefall des Winterweizens verhinderten.

Diese Ergebnisse zeigen modellhaft, dass der vom Boden ausgehende Infektionsdruck einen erheblichen Einfluss auf den Kontaminationsgrad von Getreide mit Fusariumtoxinen hat, jedoch offenbar nur dann, wenn entsprechende Witterungsbedingungen einen Fusariumbefall begünstigen.

Nach Untersuchungen der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, Freising und München, wird ein hoher, vom Boden ausgehender Fusarien-Infektionsdruck unter Praxisbedingungen vor allem durch Ernterückstände von Mais auf der Bodenoberfläche aufgebaut (Beck et al., 1997b). Maisstoppeln bzw. Maisstroh sind meistens von Fusarien besiedelt und Nährboden für Vermehrungsorgane der Pilze (Ascosporen), die über einen langen Zeitraum den Ausgangspunkt für Fusarium-Infektionen der Folgefrucht sind. Bei einer Minimal-Bodenbearbeitung bleiben die befallsfördernden Ernterückstände auf der Bodenoberfläche erhalten. Untersuchungen in Praxisbetrieben ergaben, dass durch sauberes Unterpflügen von Mais-Ernterückständen der Fusarium-Befall von Weizen und die Deoxynivalenol-Gehalte im Vergleich zur Minimal-Bodenbearbeitung größtenteils um 90% reduziert werden konnten (Beck et al., 1997b).

1.3.3 Fruchtfolge

Der pflanzenbauliche Faktor Fruchtfolge im Hinblick auf Fusariumbefall und Fusariumtoxinkontaminationen von Getreide ist von der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, München und Freising, untersucht worden.

In einem umfangreichen, fünfjährigen (1992-1996) Monitoring-Programm, bei dem 1623 Winterweizen-Proben auf Deoxynivalenol-Gehalte untersucht wurden, ergaben sich mit ca. 0,5 mg DON/kg die höchsten Durchschnittswerte in Weizen nach Vorfrucht Körnermais, gefolgt von der Vorfrucht Silomais (ca. 0,3 mg DON/kg Weizen), während der Mittelwert über die untersuchten fünf Jahre bei ca. 0,2 mg DON/kg lag (Beck et al., 1997b). Bei den Vorfrüchten Kartoffel und Zuckerrüben lagen die DON-Gehalte im Weizen im Bereich des Mittels von 0,2 mg DON/kg Weizen. Bei den Vorfrüchten Gerste, Weizen und Raps wurden deutlich geringere Werte für DON ($\leq 0,1$ mg/kg Weizen) ermittelt im Vergleich zum fünfjährigen Mittel (Beck et al., 1997b). Demnach scheinen von engen Getreide-Fruchtfolgen ohne Mais keine befallsfördernden Risiken auszugehen. Da bei den in dieser Monitoring-Studie betrachteten Gerste-Weizen bzw. Weizen-Weizen-

Fruchtfolgen geringere Probenzahlen eingegangen sind und zudem die Art der Bodenbearbeitungsverfahren im Vergleich zu den Mais-Weizen-Fruchtfolgen nicht berücksichtigt wurde, sollten weitere Studien zur Absicherung dieser Aussage durchgeführt werden.

Diese Ergebnisse lassen erkennen, dass der Mais eine wichtige Rolle als Risikofaktor im *Fusarium*-Infektions-Geschehen bei Getreide, insbesondere Weizen, einnimmt.

1.3.4 Sorte

1.3.4.1 Getreide

Sortenbedingte Resistenzeigenschaften gegenüber Pilzbefall spielen eine Rolle im Kontaminationsgeschehen, werden jedoch gegenüber den Faktoren Vorfrucht und Bodenbearbeitung als untergeordnet eingestuft (Beck et al., 1997a).

Die Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, München und Freising, hat im Rahmen von Landessorten-Versuchen in Bayern 29 Weizensorten auf Fusarien-Resistenz untersucht und eine relativ gute Beziehung zwischen *Fusarium graminearum*-Befallsbonituren und Deoxynivalenol-Gehalten im Korn festgestellt, so dass eine sortenspezifische Anfälligkeits-Rangfolge abgeleitet werden konnte (Beck et al., 1997a). Jedoch wurden diese Ergebnisse aufgrund des nur einjährigen Untersuchungszeitraums (1993) von den Autoren mit Vorbehalt interpretiert.

Inwieweit Resistenz-Einstufungen von Getreide-Sorten gegenüber *Fusarium*befall, die in der Regel auf optischen Ährenbonituren unter Feldbedingungen beruhen, mit *Fusarium*toxine-Kontaminationen im Ernteprodukt korrelieren, erscheint auch nach den Ergebnissen des in Kap. 1.2.3 dargestellten Verbundprojektes als nicht ausreichend geklärt. Geprüft wurden Deoxynivalenol-Gehalte in Körnern der Winterweizensorten Contra (anfällig gegen *Fusarium*), und Bovictus (resistent gegen *Fusarium*). Aus den Abbildungen 1.1 und 1.2 (Kap. 1.3.2.) geht hervor, dass bei der Sorte Bovictus entgegen der Erwartung, insbesondere bei hohem *Fusarium*-Infektionsdruck, häufig höhere Deoxynivalenol-Gehalte im Vergleich zur Sorte Contra resultierten. Auch unter natürlichen Infektionsbedingungen wurden bei der Sorte Bovictus ähnliche bzw. z.T. leicht höhere DON-Gehalte als bei der Sorte Contra festgestellt. Dies zeigt, dass Resistenz-Einstufungen nicht zwangsläufig mit entsprechend niedrigen oder hohen Toxingehalten korrelieren. Die Grundlagen für die Bewertung von Resistenzeigenschaften von Sorten sollten daher überprüft und ggf. modifiziert werden.

Neuere Winterweizensorten mit verkürzter Halmlänge, die sich durch gute Ertragseigenschaften sowie Blattresistenzen gegen Mehltau, Gelbrost und Braunrost auszeichnen, werden zunehmend auch in Deutschland angebaut. Aufgrund der verkürzten Infektionswege zwischen Boden und Ähre sind diese kurzstrohigen Sorten jedoch anfälliger gegenüber *Fusarium* als langstrohige Sorten (Rodemann, 1999). Sehr wahrscheinlich resultieren aus den höheren Befallsgraden auch höhere *Fusarium*toxine-Gehalte in diesen Sorten, hierzu liegt jedoch z.Z. nur wenig Datenmaterial vor. Bei einer Untersuchung zum Mykotoxingehalt von BEE-Weizen (Weizen aus der besonderen Ertermittlung) aus Thüringen aus dem Jahr 1998 wurde ein großer Einfluss der Sorte auf den DON-Gehalt festgestellt (Döll et al., 2000). Einige der bei dieser Erhebung vorkommenden Sorten wurden auch in einer Studie von Klagenhagen und Frahm (1999) zum Einfluss der Sorte auf den *Fusarium*befall untersucht. Die Ergebnisse beider Arbeiten stimmten gut überein. So wurden

bei der Sorte Ritmo (kurzstrohige Sorte) sowohl ein starker Fusariumbefall als auch hohe DON-Gehalte festgestellt; die Sorten Pegassos, Flair, Bussard und Batis waren nur gering befallen und auch die DON-Gehalte waren niedrig. Nur bei der Sorte Zentos waren die Ergebnisse entgegengesetzt.

1.3.4.2 Mais

In den letzten Jahren wurden Maissorten mit einer langsameren Abreife der Blätter („stay green“ Typen) gezüchtet, um den Energiebeitrag der Restpflanze zum Gesamt-Futterwert zu erhöhen. Bei diesen Sorten wurde vermutet, dass möglicherweise aufgrund des länger intakten Blattgewebes eine stärkere Widerstandskraft gegenüber Fusariumbefall resultiert.

Vom Institut für Grünland- und Futterpflanzenforschung der FAL, Braunschweig, wurde in Zusammenarbeit mit der Kleinwanzlebener Saatzucht (KWS), Einbeck, geprüft, ob der Mykotoxingehalt in frisch geerntetem Silomais vom Abreifeverhalten der Pflanzen beeinflusst wird (Oldenburg, 1997). Zur Untersuchung gelangten Ernteproben von insgesamt 20 frühen und mittelfrühen Sorten mit unterschiedlichem Abreifetypus, die im Jahr 1995 von der KWS Kleinwanzlebener Saatzucht AG (Einbeck) an fünf Standorten in Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Bayern in Versuchspartzen angebau wurden.

In Abb. 1.3 sind die in den einzelnen Sorten und an verschiedenen Standorten nachgewiesenen Zearalenon-Gehalte der Restpflanzenproben in Beziehung zur Schnelligkeit der Restpflanzenabreife dargestellt. Die Messdaten von Bernburg, Grucking, Lönningen, Ostbevern und Paderborn stellen die Mittelwerte aus 3 Wiederholungen pro Sorte am jeweiligen Standort dar. Die als „Mittelwert“ bezeichneten Daten sind das arithmetische Mittel aus den 5 standortspezifischen Daten jeder Sorte und dienen als Basiswerte für die berechnete Trendlinie.

Tendenziell wurden bei Sorten mit langsamer Abreife der Restpflanze geringere Konzentrationen an Zearalenon gefunden als bei Sorten mit schneller Abreife der Restpflanze. Es ergaben sich jedoch häufig erhebliche Unterschiede im Kontaminationsgrad einzelner Sorten an den verschiedenen Standorten, die auf standortspezifische Einflüsse, wahrscheinlich Witterungsbedingungen, zurückzuführen sind. Am Standort Ostbevern wurde im Vergleich zu den Standorten Grucking und Lönningen die engste Beziehung zwischen der Zearalenonanreicherung und dem sortenspezifischen Abreifeverhalten der Restpflanze erreicht. An den Standorten Bernburg und Paderborn waren dagegen keine deutlichen Unterschiede in den Zearalenongehalten der einzelnen Sorten und damit auch keine Beziehung zum Abreifeverhalten des Mais erkennbar.

Einige Sorten (Sorten 3, 9 und 17) zeigten abweichend vom Charakter des Abreifeverhaltens der Restpflanze besonders hohe Konzentrationen an Zearalenon, so dass bei diesen Sorten wahrscheinlich eine genotypisch-bedingte, besondere Anfälligkeit gegenüber Fusarien vorliegt.

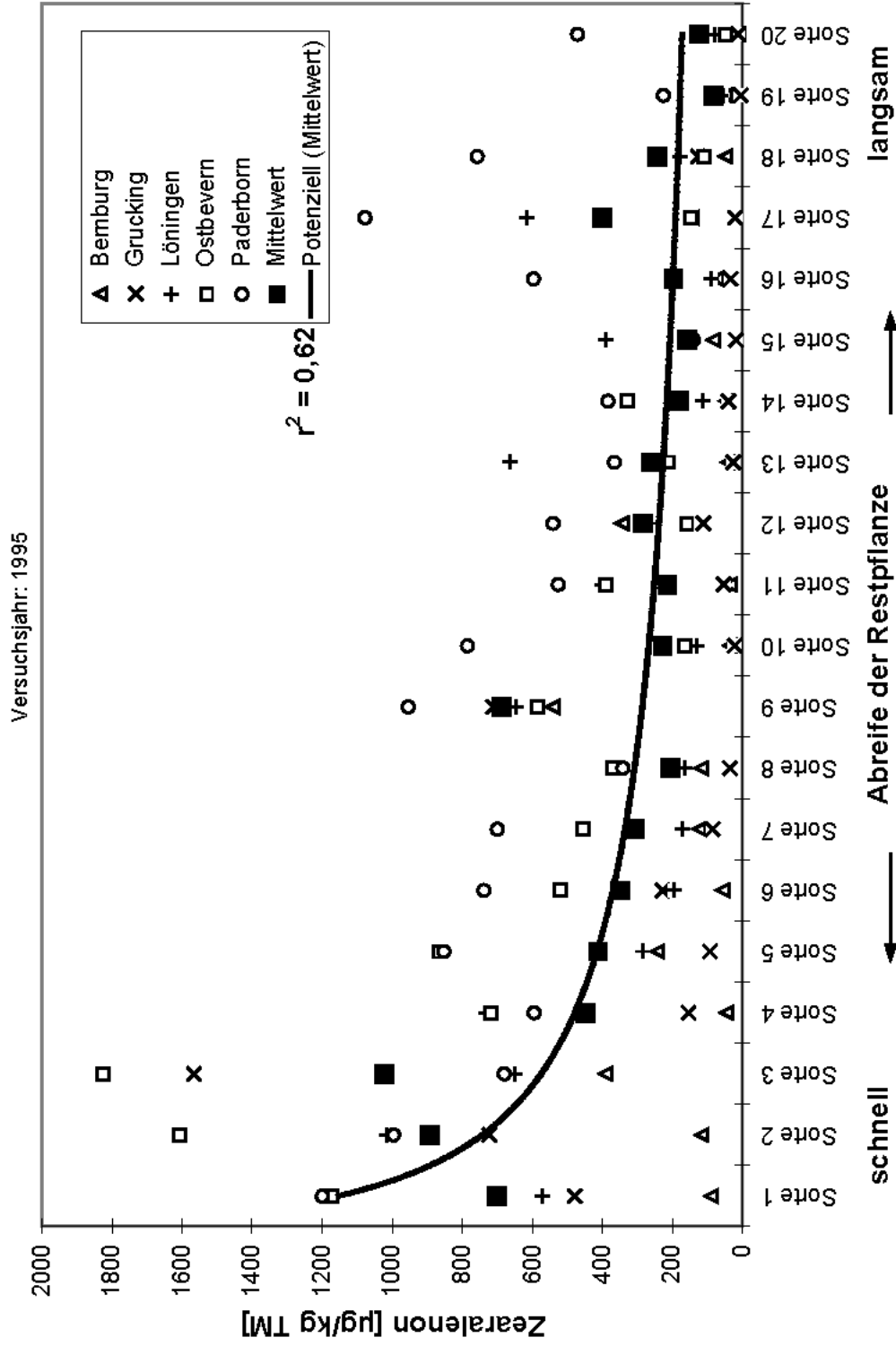


Abbildung 1.3: Zearalenon in Silomais (Restpflanze) (Oldenburg, 1997)

Eine neue gentechnisch veränderte Maissorte (Bt-Mais, Novartis Seeds), die gegenüber Fraßschäden durch die Maiszünslerlarve resistent ist, soll auch gegenüber Fusariumbefall bzw. Fusariumtoxin-Kontaminationen als Folge von Insektenfraßschäden geschützt sein. Diesbezügliche Untersuchungen sind auch in Deutschland bereits in Arbeit, konkrete Ergebnisse stehen aber noch aus. Aus einer amerikanischen Studie lässt sich folgern, dass derartige Sortenresistenzen jedoch nur in den Verbreitungsgebieten des Maiszünslers eine Reduzierung des Fusariumtoxin-Kontaminationsrisikos erwarten lassen (Munkvold et al., 1997, 1999). Die durch die phytopathogenen Fusariumarten (können aktiv in gesundes Pflanzengewebe eindringen) hervorgerufenen Kontaminationsrisiken bleiben wahrscheinlich trotz Maiszünsler-Resistenzen beim Mais weiterhin bestehen.

Dennoch eröffnen Forschungen über gentechnisch erzeugte Resistenzen in Kulturpflanzen gegenüber Schaderregern neue und vermutlich verbesserte Möglichkeiten, der praktischen Landwirtschaft unempfindlichere Sorten zur Verfügung zu stellen.

1.3.4.3 Gräser

Sortenspezifische Unterschiede von Gräsern in Bezug auf Fusariumbefall und Fusariumtoxin-Gehalte wurden in begrenztem Umfang vom Institut für Pflanzenkrankheiten der Universität Bonn untersucht (Engels, 1994). Die Prüfung von 13 Sorten Welsches Weidelgras und 18 Sorten Deutsches Weidelgras an zwei Standorten in Nordrhein-Westfalen im Jahr 1991 ergab im Fusariumbefall keine signifikanten sortenspezifischen Unterschiede. Die Gehalte an Zearalenon, T-2 Toxin und Diacetoxyscirpenol in den Gräserarten zeigten zwar z.T. deutliche sortenspezifische Unterschiede, diese wurden jedoch vom Autor aufgrund der geringen Probenzahl ebenfalls als nicht signifikant eingestuft (Engels, 1994).

1.3.5 Pflanzenschutzmaßnahmen

Das Potential einer Bekämpfung des Fusariumbefalls von Getreide mit Fungiziden und einer möglicherweise damit einhergehender Minderung des Toxin-Kontaminationsrisikos ist in den letzten Jahren mit z.T. widersprüchlichen Ergebnissen untersucht worden (Obst et al., 1992; Mauler-Machnik und Zahn, 1994; Gareis und Ceynova, 1994; Parry et al., 1995; Mesterhazy und Bartok, 1996). Die Bekämpfungsergebnisse sind aufgrund der methodisch unterschiedlich aufgebauten Versuche (Unterschiede bezüglich der Sorte, der künstlich inokulierten Fusarium-Arten und Stämme, der Inokulationstechniken, der Fungizid-Dosierungen, der Applikationsformen und der Anwendungstermine) häufig nur schwer miteinander vergleichbar (Parry et al., 1995; Mesterhazy und Bartok, 1996). In den meisten Fällen wurde bisher den Azolfungiziden die beste Wirksamkeit gegenüber Ährenfusariosen zugeschrieben (Mesterhazy und Bartok, 1996). Den Zusammenhängen zwischen Fungizidstrategien und Toxinkontaminationen in Getreide wurde bisher vereinzelt nachgegangen (Obst et al., 1992; Mesterhazy und Bartok, 1996; Meier et al., 1999).

In dem bereits in den Kap. 1.3.2 bzw. 1.3.4.1 erwähnten Verbundprojekt der Universität Göttingen, der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA), der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) und Mitgliedern des Arbeitskreises „Integrierter Pflanzenschutz-Getreide“ der Deutschen Phytomedizinischen Gesellschaft (DPG) wurde versucht, die

Auswirkungen von Fungizidmaßnahmen auf den Fusariumtoxin-Gehalt in Ernteprodukten von Weizen unter standardisierten Bedingungen an zahlreichen Standorten in Deutschland über mehrere Jahre zu quantifizieren (Oldenburg et al., 1999).

Es wurden dreijährige (1996-1998), bundesweite Feldversuche an 12-17 Standorten pro Jahr in Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern, Hessen, Nordrhein-Westfalen, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Rheinland-Pfalz, Baden-Württemberg und Bayern durchgeführt, bei denen 20 m² große Parzellen in 4-facher Wiederholung mit zwei gegenüber Ährenfusariose unterschiedlich anfälligen Winterweizensorten (Contra, Bovictus) angelegt wurden. Auf diesen Parzellen wurden die Auswirkungen von drei unterschiedlichen, praxisrelevanten Fungizidstrategien im Vergleich zu einer Kontrolle ohne Fungizidapplikation untersucht (Tabelle 1.9).

Tabelle 1.9: Übersicht über die Fungizidvarianten

Variante	Fungizide	Menge (l/ha)	Termin (EC)
Kontrolle/Unbehandelt	-	-	-
A	Stadienabhängiger Maximalaufwand 3x Azolfungizidapplikation	Sportak Alpha+Zenit M Sportak Delta Folicur	1,5+0,5 1,25 1,0 31-37 49-55 63-67
B	Azolfungizide nach Bekämpfungsschwelle	Sportak Delta+/oder Zenit M Folicur	1,25/0,5-0,7 1,0 31-49 51-61
C	andere Fungizide nach Bekämpfungsschwelle	Desmel/Alto +/oder Zenit M Dyrene/Alto + Zenit M	0,6/ 0,5-0,7 4,0 +0,5 31-49 51-61

In der Variante A wurden zu drei festgelegten Entwicklungsstadien des Weizens Azolfungizide appliziert, wobei das Fungizid Folicur (Wirkstoff: Tebuconazol) zum vermutlich optimalen Bekämpfungstermin der Vollblüte eingesetzt wurde. In den Varianten B und C wurden die Fungizide zeitlich variabler und praxisüblich nach dem Überschreiten der Bekämpfungsschwelle durch Blattkrankheitserreger eingesetzt; die zweite Fungizidapplikation wurde jedoch spätestens zu Blühbeginn durchgeführt.

Dieses Basisprogramm wurde zudem in zwei getrennten Blöcken durchgeführt, einerseits unter natürlichen Infektionsbedingungen und andererseits mit zusätzlichem Inokulum auf dem Boden, um einen ausreichenden Infektionsdruck zur Beurteilung der Fungizideffekte zu erreichen. Dazu wurden nach der Methode von Dr. Obst (Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau) Haferkörner, infiziert mit mehreren geprüften Stämmen von *Fusarium culmorum* bzw. *F. graminearum*, verwendet. Pro m² Versuchsfläche wurden jeweils 5 g mit *F. culmorum* bzw. mit *F. graminearum* infizierte Haferkörner gleichmäßig im Bestand zum Entwicklungsstadium Bestockung bis Beginn Schossen (EC 25-30) ausgestreut.

Die Parzellen wurden mit einem Mähdrescher beerntet, und ein Ernteanteil von jeweils 500 g Körnern wurde vermahlen. Für die Toxin-Analysen wurden aus den 4 Wiederholungen Mischproben hergestellt. In diesem Probenmaterial wurden die Fusariumtoxine Deoxynivalenol (DON) und fallweise Zearalenon (ZON) bestimmt.

Um die Wirkung der Fungizidmaßnahmen zu vergleichen, wurden ausschließlich die Varianten mit zusätzlichem Haferkorn-Inokulum (Kontrolle und unterschiedliche Fungizid-Applikationen) betrachtet, da aufgrund der hohen Varianz der DON-bzw. ZON-Gehalte in den Weizenkörnern niedrige bis hohe Kontaminationssituationen dargestellt werden konnten.

Die Versuche wurden hinsichtlich des DON-Gehaltes gruppenspezifisch aufgeteilt in Gruppe 1: <2 mg/kg Korn; Gruppe 2: 2-4,9 mg/kg Korn; Gruppe 3: 5-15 mg/kg Korn; Gruppe 4: >15 mg/kg Korn (Abbildung 1.4).

Bei hohen Deoxynivalenol-Kontaminationen von ≥ 5 mg/kg Korn (Gruppen 3 und 4) erbrachten die Fungizidmaßnahmen deutliche Minderungen in den DON-Gehalten der Weizenkörner im Vergleich zu den unbehandelten Kontrollen. Die Fungizid-Variante A, bei dem das Fungizid Folicur zur Vollblüte appliziert wurde, ergab die beste Wirkung (im Mittel 60 bis 65 % Senkung der DON-Werte). Bei mittleren bis niedrigen DON-Gehalten <5 mg/kg Korn (Gruppen 1 und 2) wurden nur mit den Fungizid-Varianten A und B (Azolfungizide) Reduzierungen in den DON-Gehalten der Weizenkörner festgestellt. Mit der Fungizid-Variante A wurden wiederum die besten Ergebnisse erzielt (im Mittel 30-35% Senkung der DON-Werte), wenngleich die Verminderungen der DON-Gehalte durch die Fungizidmaßnahmen der Variante B nur wenig schwächer ausfielen. Die Absenkung der DON-Gehalte war über alle Fungizid-Strategien bei den Gruppen 1 und 2 deutlich geringer als bei den Gruppen 3 und 4 mit hoher DON-Belastung.

Den Einfluss der Fungizidmaßnahmen auf den Zearalenon-Gehalt der Weizenproben zeigt Abbildung 1.5. Die erhobenen Daten wurden hinsichtlich des Zearalenon-Gehaltes gruppenspezifisch aufgeteilt in die Gruppe 1 (≤ 100 µg/kg Korn) und die Gruppe 2 (> 100 µg/kg Korn).

Die Anwendung der Fungizid-Variante A führte sowohl bei der höheren Zearalenon-Belastung der Gruppe 2 als auch bei den niedrigen Zearalenon-Belastung der Gruppe 1 zu deutlichen Reduzierungen in den ZON-Gehalten der Weizenkörner im Vergleich zur Kontrolle (im Mittel 55% Senkung der Zearalenon-Konzentration). Die Fungizid-Varianten B und C waren demgegenüber weniger erfolgreich.

Seit dem Sommer 1998 sind Azolfungizide mit Wirkung gegen Fusarien (Wirkstoffe Tebuconazol, Metconazol, Epoxyconazol) zugelassen (Zulassungsstand BBA, Dr. Garbe, persönliche Mitteilung).

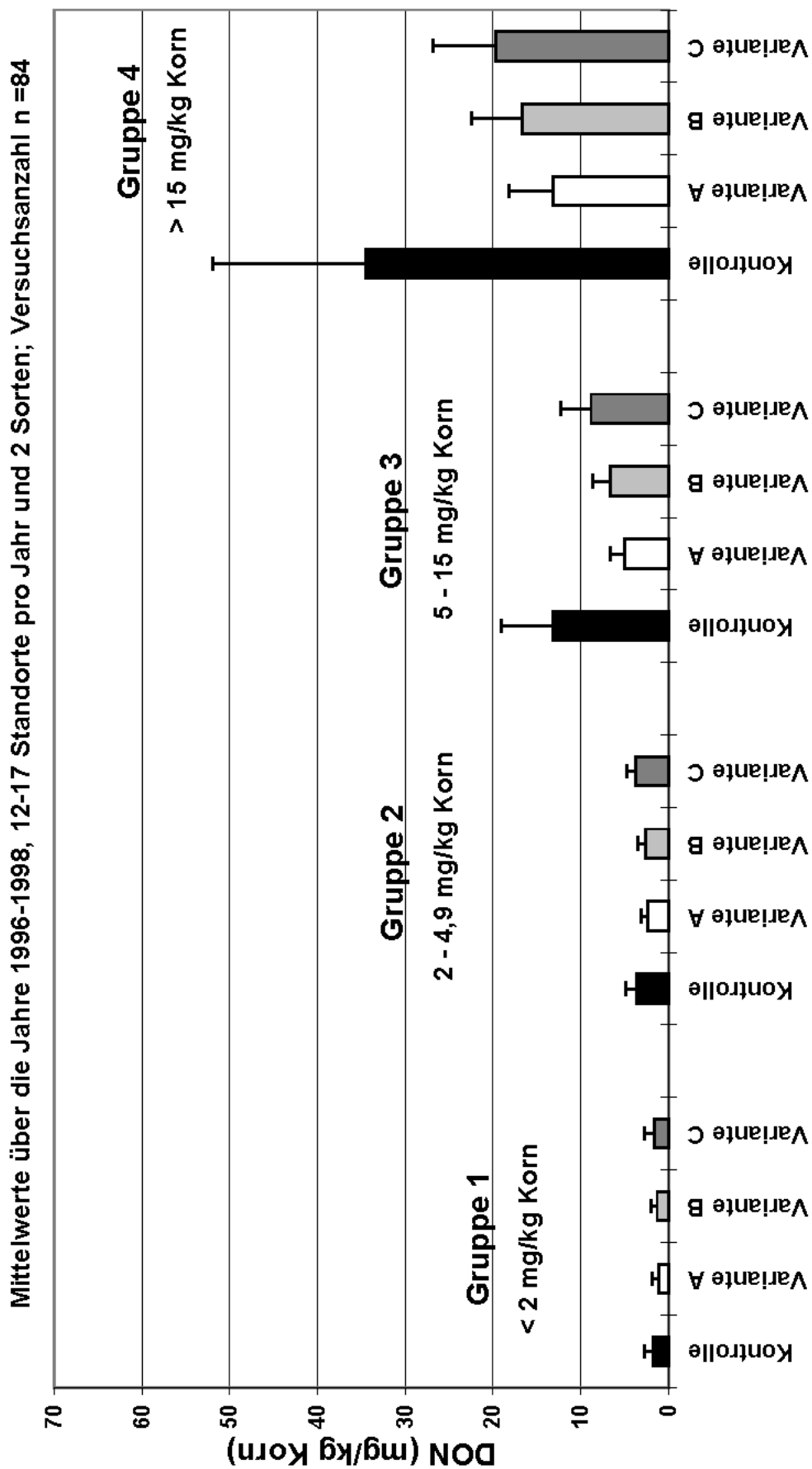


Abbildung 1.4: Einfluss der Fungizidbehandlung auf den DON-Gehalt in Weizen (Oldenburg et al., 1999)

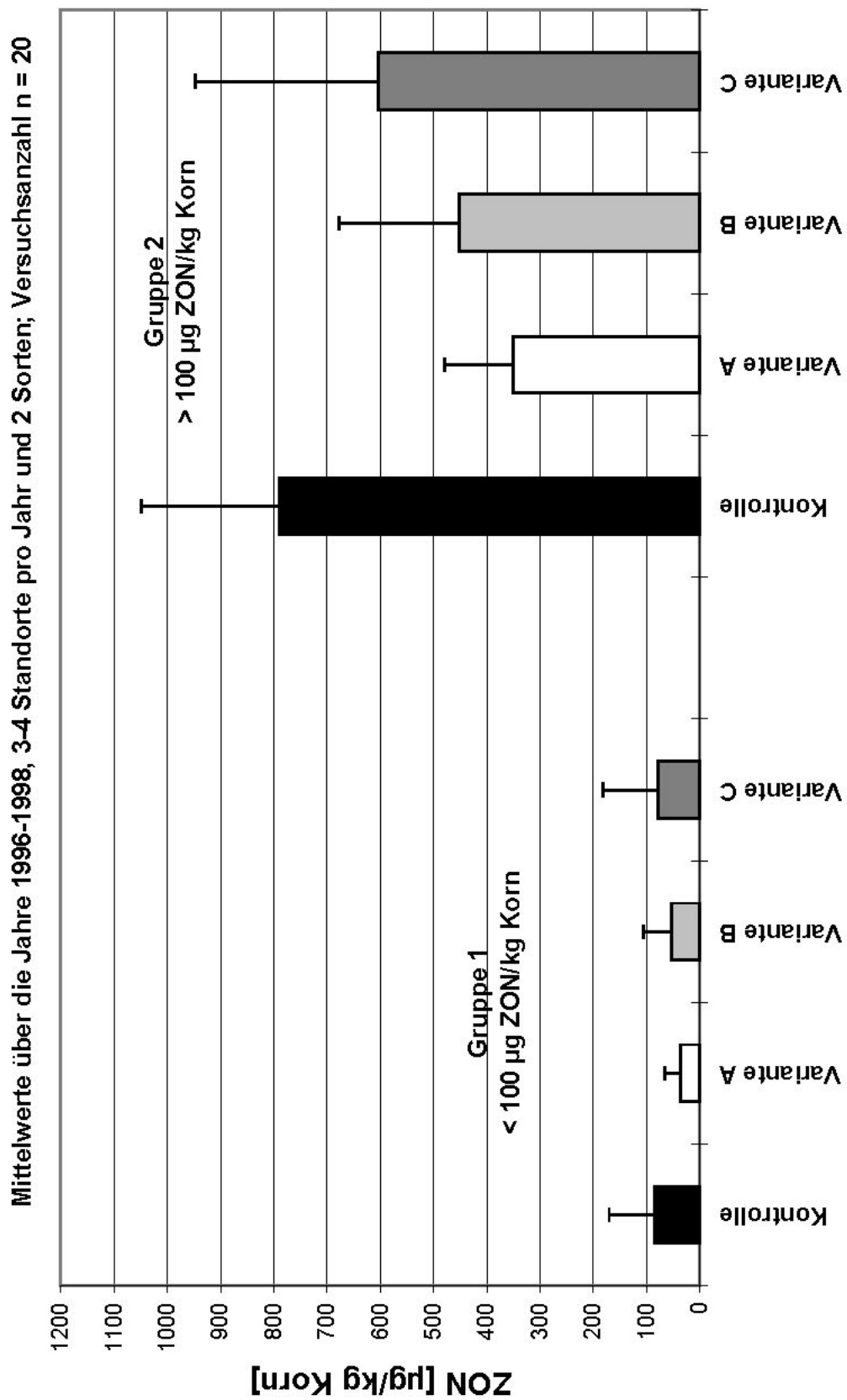


Abbildung 1.5: Einfluss der Fungizidbehandlung auf den Zearalenon-Gehalt in Weizen (Oldenburg et al., 1999)

1.3.6 Düngung/Pflanzenernährung

Eines der Grundprinzipien zur Verhinderung von Mykotoxinbildung ist die Erhöhung der Widerstandskraft der Pflanzen gegen Pilzbefall. Dies kann erreicht werden durch krankheitsreduzierende Kulturmaßnahmen wie die kulturpflanzen-spezifische Nährstoff-Versorgung. Wachstum und Entwicklung einer Pflanze hängen entscheidend von ihrer Ernährung ab. Auch Anfälligkeit und Krankheitsverlauf werden vom Ernährungszustand beeinflusst, jedoch lässt sich nicht verallgemeinernd sagen, dass besonders gut ernährte Pflanzen auch besonders widerstandsfähig gegenüber Krankheiten sind. Eher ist die Feststellung begründet, dass die Ernährungsbedingungen, die das Pflanzenwachstum begünstigen, auch Krankheiten fördern. Das gilt insbesondere für Krankheiten, die von biotrophen Organismen verursacht werden.

Mit den folgenden Aussagen werden allgemeine Tendenzen aufgezeigt:

Es ist allgemein bekannt, dass eine zu hohe Stickstoffversorgung sowie eine zu hohe Wasserversorgung die Pflanzen zwar zu Wachstum anregen, aber auch anfällig machen für Krankheiten und über geringe Standfestigkeit zu Lager führt und somit wiederum Krankheitsanfälligkeit provoziert. Ein nicht zu extremer Stickstoffmangel oder Kaliüberschuss begünstigt dagegen die Widerstandsfähigkeit gegenüber Schaderregern. Die Ursachen der befallsfördernden Wirkung hoher N-Gaben und befallsmindernden Wirkung hoher Kalidüngung sind noch nicht befriedigend geklärt (Schoenbeck, 1979). Für die N-Effekte werden vor allem verlängertes vegetatives Wachstum, dichter Pflanzenbestand, grosslumiges, lockeres und dünnwandiges Gewebe, erhöhter Anteil und veränderter Anteil an löslichen N-Verbindungen verantwortlich gemacht. Die Wirkungen des Kaliums sind denen des Stickstoffs entgegengesetzt (Schoenbeck, 1979). Phosphorsäure bestimmt im allgemeinen keine Reaktionslage der Pflanze gegenüber Pilzbefall. Die Wirkung eines Nährstoffes darf jedoch nicht isoliert betrachtet werden. Sie kann zum einen in verschiedenen Konzentrationsbereichen unterschiedlich sein und zum anderen vom Fehlen oder Vorhandensein anderer Nährstoffe abhängen.

Beeinflusst von der Ernährung bilden die Pflanzen in unterschiedlicher Masse und pflanzenspezifisch sekundäre Inhaltsstoffe, die zwar einen Pilzbefall nicht verhindern können, die aber die Pathogene unschädlich machen oder gar abtöten können.

Beispielsweise wurde über Schwefeldüngung zur Gesunderhaltung von Pflanzen berichtet (Schnug et al., 1995). Hierzu müssten allerdings noch gezielte Versuche angestellt werden, um die Theorie der fungiziden Wirkung von pflanzeigenen H₂S- oder anderen VSC (volatile sulphur compounds)-Emissionen zu untermauern.

Die Wirkung von Art und Menge der in der landwirtschaftlichen Praxis eingesetzten Düngemittel auf Schimmelpilzbefall und Mykotoxinbildung bei Getreide, Mais und Gräsern ist bisher kaum untersucht.

Der allgemeinen Tendenz entsprechend scheinen sowohl überhöhte als auch zu niedrige Stickstoff-Dosierungen einen Fusariumbefall von Getreide und Mais zu begünstigen (Warren und Kommedahl, 1973; Cook, 1980, Obst, 1988, Hinterholzer, J. 1992). Als weiteres Risiko können

Blattverätzungen durch flüssige Stickstoff-Dünger einen Fusariumbefall verstärken (Obst, 1988; Diehl, 1989). Gezielte Düngungs-Versuche mit N-Gaben zwischen 0 und 150 kg N ha⁻¹ ergaben bei Dosierungen oberhalb des N-Optimums für den Ertrag (77 kg N ha⁻¹) einen Anstieg der Ährenfusariose bei einigen Sorten Winterweizen (Teich et al., 1987). Bei einem Extensivierungs-Versuch mit Wiesen gras an einem Standort in Nordrhein-Westfalen wurden bei unterschiedlichen N/P/K-Düngungsstufen bis maximal 240/60/150 kg ha⁻¹ weder in Bezug auf Fusariumbefall noch in Bezug auf Fusariumtoxin-Gehalte (Zearalenon, T-2 Toxin, Diacetoxyscirpenol) signifikante Unterschiede festgestellt (Engels, 1994).

1.4 Bewertung der standortspezifischen bzw. pflanzenbaulichen Einflussfaktoren

Für Getreide, insbesondere Weizen, kann auf Basis des aktuellen und in diesem Bericht dargestellten Stands der Forschung eine Rangfolge von standortspezifischen und pflanzenbaulichen Faktoren in ihrem Einfluss auf Fusariumbefall und Fusariumtoxin-Kontaminationen abgeleitet werden, die sich aus unserer Sicht wie folgt darstellt:

Witterung ⇒ Infektionsdruck/Bodenbearbeitung ⇒ Vorfrucht Mais ⇒ Pflanzenschutz ⇒ Sorte ⇒ Pflanzenernährung

Der Witterung, in die nicht steuernd eingegriffen werden kann, wird als Einflussfaktor auf den Fusariumbefall von Kulturpflanzen die größte Bedeutung beigemessen. Nur bei bestimmten Witterungsbedingungen, insbesondere zum Zeitpunkt der Blüte (vgl. Kap. 1.3.1) kommt es zu überdurchschnittlichem Fusariumbefall und damit erhöhten Fusariumtoxin-Gehalten in Getreide („Fusarium-Jahre“). Vorausgesetzt, dass für Wachstum und Verbreitung von Fusarien geeignete Witterungsbedingungen vorherrschen, hat offenbar der vom Boden ausgehende Infektionsdruck, der durch Verfahren der Bodenbearbeitung entscheidend beeinflusst werden kann, eine prioritäre Bedeutung (vgl. Kap. 1.3.2). Ein hoher Fusarium-Infektionsdruck geht insbesondere von nicht untergepflügten Ernterückständen der Kulturpflanze Mais aus. Daher stellt der Mais als Vorfrucht im Getreidebau ein wesentliches befallsförderndes Risiko dar (vgl. Kap. 1.3.3). Dieses Risiko kann jedoch durch konventionelle Bodenbearbeitung (Pflug) nach der Maisernte entscheidend herabgesetzt werden. Durch termingerechte Anwendung von Azolfungiziden können Fusariumbefall und auch Fusariumtoxin-Gehalte in Getreide deutlich gesenkt, jedoch auch bei geringem Fusariumbefall nicht vollständig verhindert werden (vgl. Kap. 1.3.5). Pflanzenschutzmittel, die hochspezifisch und mit geringem Aufwand sicher gegen Fusarien und Toxinbildung wirken, sind bisher nicht verfügbar. Die Ergebnisse aus Sortenversuchen mit Getreide und Mais zeigen, dass mit einer geeigneten Sortenwahl durchaus das Risiko einer Fusariumtoxin-Kontamination reduziert werden kann. Andere Einflussfaktoren scheinen jedoch die auf Sortenunterschieden beruhenden Effekte relativ häufig zu überlagern (vgl. Kap. 1.3.4). Die Pflanzenernährung scheint im Hinblick auf Fusariumbefall und Toxinanreicherungen nach bisherigen Erkenntnissen nur bei deutlichen Über- bzw. Unterdosierungen von essentiellen Nährstoffen und eher indirekt durch allgemeine Schwächung oder Stärkung der Pflanzenabwehr gegenüber Schaderregern eine Rolle zu spielen (vgl. Kap. 1.3.6).

Diese Rangfolge der standortspezifischen bzw. pflanzenbaulichen Faktoren in ihrem Einfluss auf Fusariumbefall und Toxinkontamination beruht auf dem momentanen Kenntnisstand. Sie interpretiert aktuelle Forschungsergebnisse mit dem Ziel, der praktischen Landwirtschaft Entscheidungshilfen für die Erzeugung von hygienisch und qualitativ hochwertigen Produkten zur Verfügung zu stellen. Änderungen in landwirtschaftlichen Produktionsverfahren sowie neue wissenschaftliche Erkenntnisse, die bestehende Forschungslücken schließen, haben Einfluss auf die Bewertung der Risikofaktoren und können diese Einschätzungen verändern.

Auf Basis der momentanen Erkenntnisse ergeben sich für die praktische Landwirtschaft folgende Empfehlungen zur Vorbeugung bzw. Vermeidung von Risiken, die zu erhöhtem Fusariumbefall von Kulturpflanzen im Feld und damit verbundenen erhöhten Fusariumtoxin-Gehalten in Ernteprodukten führen:

- 1) Unterpflügen von Ernterückständen, insbesondere Mais, in den Boden/
Verzicht auf pfluglose Bodenbearbeitung
- 2) Vermeidung von engen Mais/Getreide-Fruchtfolgen
- 3) Vorbeugende, termingerechte Anwendung von geeigneten Fungiziden, wenn enge Mais/Getreide-Fruchtfolgen kombiniert mit pflugloser Bodenbearbeitung praktiziert werden
- 4) Wahl von standortgerechten, gegen Fusariumbefall weniger anfälligen Sorten, soweit verfügbar
- 5) Vermeidung von Unter- bzw. Überdosierungen von Nährstoffen
- 6) keine Verzögerung der Ernte über den nutzungsspezifischen Reifezeitpunkt hinaus

1.5 Schlussfolgerungen

Ein vorsorgliches Erkennen wesentlicher Risikofaktoren in der landwirtschaftlichen Produktion, die zu Pilzbefall und Mykotoxinbelastung von Futter- bzw. Nahrungsmitteln führen können, setzt systematische Studien über das Vorkommen, begünstigende pflanzenbauliche und konservierungstechnische Bedingungen und den weiteren Verbleib der Mykotoxine in der Nahrungskette voraus. In den letzten Jahren wurden verstärkte und erfolgreiche Anstrengungen unternommen, diese Thematik durch grundlegende Erhebungsstudien, spezifische Ursachenforschung sowie Suche nach und Prüfung von technischen Lösungsmöglichkeiten zu bearbeiten. Dennoch blieben nicht zuletzt aufgrund der äußerst komplexen Wechselwirkungen zwischen Kulturpflanzen und ihrer Umwelt, der Vielfalt der Schaderreger und ihrer Stoffwechselprodukte, sowie den zahlreichen Einflussfaktoren in der gesamten Produktionskette viele Fragestellungen offen.

Dementsprechend ergibt sich weiterhin ein großer Forschungsbedarf.

Wesentliche Forschungslücken bestehen insbesondere zu folgenden Punkten:

Erhebungsstudien/Monitoring

- Vorkommen von bisher wenig untersuchten Fusariumtoxinen in Getreide, incl. Mais (z.B. Fumonisine, Moniliformin)
- Vorkommen von Toxinen weiterer wichtiger Feldpilz-Gattungen, z.B. *Alternaria* in Getreide und Mais
- Vorkommen von Mykotoxinen in Silagen, insbesondere CornCobMix
- Vorkommen von Mykotoxinen in Gräsern und Heu
- Vorkommen von Mykotoxinen in Futtermischungen („Futtertrog“-Analysen)

Züchterische und pflanzenbauliche Einflussfaktoren

- Verbesserung der Resistenzeigenschaften von Kulturpflanzen gegenüber pilzlichen Schaderregern/Aufklärung von spezifischen Resistenzmechanismen/Klärung des Potentials von gentechnisch veränderten Kulturpflanzen
- Erarbeitung verbesserter Grundlagen zur Einstufung/Charakterisierung von Resistenzeigenschaften von Kulturpflanzen gegenüber Schaderregern
- Suche und Überprüfung von neuen Wirkstoffen/Fungiziden zur Bekämpfung von Fusarien
- Untersuchung enger Getreide-Fruchtfolgen unter Anwendung verschiedener Bodenbearbeitungsverfahren in ihrem Einfluss auf Fusariumtoxingehalte in den Ernteprodukten
- Prüfung der durch Düngung und Eigenabwehr der Pflanzen mittels verschiedener sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe beeinflussten Reaktionen gegenüber pilzlichen Schaderregern/Klärung der grundlegenden Frage „Was ist eine ausreichende, ausgewogene Düngung?“, und zwar spezifisch für jede Kulturart, beginnend mit den wichtigsten Brot- und Futtergetreiden
- Untersuchungen zum Einfluss des ökologischen bzw. konventionellen Anbaus auf den Mykotoxingehalt von Getreide unter vergleichbaren Bedingungen (Sorte, Region usw.)

Konservierungstechnische Einflussfaktoren

- Verbleib bzw. Umwandlung der unter Feldbedingungen in Kulturpflanzen gebildeten Mykotoxine im Silierprozeß
- Prüfung von biologischen und chemischen Siliermitteln in Bezug auf Lagerpilzbefall (*Penicillium*, *Aspergillus*, *Monascus*) und Mykotoxinkontaminationen in Silagen

1.6 Literatur

- ABRAMSON, D. (1998): Mycotoxin formation and environmental factors. In: Mycotoxins in Agriculture and Food Safety, Sinha, K.K., Bhatnagar, D. (eds.) Marcel Dekker, Inc., New York, Basel, Hongkong, 255-277.
- AUERBACH, H. und GEISLER, C. (1992): Mykotoxine in Rauh- und Saftfuttermitteln für Wiederkäuer. *Übersichten zur Tierernährung* **20**, 167-208.
- BECK, R.; LEPSCHY, J. und OBST, A. (1997a): Gefahr aus der Maisstoppel. *DLG-Mitteilungen* **5**, 34-38.
- BECK, R.; LEPSCHY, J. und OBST, A. (1997b): Fusarien schon im Herbst aufs Korn nehmen. *Dlz agrarmagazin Heft 9*, S. 28-32.
- BISCHOFF, M. (1999): Untersuchungsergebnisse der LUFA Oldenburg; persönliche Mitteilung
- COLE, R.J. and COX, R.H. (1981): Handbook of Toxic Fungal Metabolites. Academic Press, New York.
- CHELKOWSKI, J. (1998): Distribution of *Fusarium* species and their mycotoxins in cereal grains. In: Mycotoxins in Agriculture and Food Safety, Sinha, K.K., Bhatnagar, D. (eds.), Marcel Dekker, Inc., New York, Basel, Hong Kong, 45-64.
- COOK, R.J. (1980): *Fusarium* foot rot of wheat and its control in the Pacific Northwest. *Plant Disease* **64**, No. 12, 1061-1066.
- DIEHL, T. (1989): Getreidefusariosen. Im Vormarsch? *Agrar praxis* **2**, 50-55.
- DÖLL, S.; VALENTA, H.; KIRCHHEIM, U. und FLACHOWSKY, G. (2000): *Landbauforschung Völkerrode*, in Vorbereitung.
- ELLEND, N.; GALSTERER, G. und BINDER, E.-M. (1998): Mykotoxine in österreichischem Mais-Eine Zweijahresübersicht. Proceedings 20. Mykotoxin-Workshop, Detmold, 8.-10. Juni 1998, 126-130.
- ELLNER, F. (1999): 1998 – Ein Jahr für *Fusarium*toxine. Proceedings 21. Mykotoxin-Workshop am 7.-9. Juni 1999 in Jena, 1-4.
- ENGELS, R. (1994): Das Vorkommen von *Fusarium* spp. und ausgewählten *Fusarium*-Toxinen in Futtergräsern der Gattung *Lolium* (Weidelgras). Dissertation aus der Abteilung Landwirtschaftliche und Lebensmittel-Mikrobiologie des Instituts für Pflanzenkrankheiten an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, 127 S.
- ENGELS, R. und KRÄMER, J. (1996): Incidence of *Fusaria* and occurrence of selected *Fusarium* mycotoxins on *Lolium* spp. in Germany. *Mycotoxin Research* **12**, S. 31-40.
- GAREIS, M. und CEYNOVA, J. (1994): Einfluß des Fungizids Matador (Tebuconazole/Triamenol) auf die Mykotoxinbildung durch *Fusarium culmorum*. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* **198**, 244-248.
- GAREIS, M.; BAUER, J., ENDERS, C. and GEDEK, B. (1989): Contamination of cereals and feed with *Fusarium* mycotoxins in European countries. In: *Fusarium Mycotoxins, Taxonomy and Pathogenicity*, Chelkowski, J. (ed.), Elsevier, Amsterdam, 441-472.
- GUPTA, S.; KRASNOFF, S.B.; UNDERWOOD, N.L.; RENWICK, J.A.A. and ROBERTS, D.W. (1991): Isolation of beauvericin as an insect toxin from *Fusarium semisectum* and *Fusarium moniliforme* var. *subglutinans*. *Mycopathologia* **115**, 185-189.
- HINTERHOLZER, J. (1992): Pflanzenbauliche Aspekte zum Toxinproblem bei Mais. In: *Veröffentlichungen der Bundesanstalt fuer Agrarbiologie Linz/ Donau*, 69-80.
- KLINGENHAGEN, G. und FRAHM, J. (1999): *Fusarium*befall von Getreide, Bedeutung und Bekämpfung. *Getreide Magazin*, **5**. Jg. (2), 74-76.
- KRSKA, R.; SCHUHMACHER, R.; GRASSERBAUER, M.; LEMMONS, M. and RUCKENBAUER, P. (1996): *Fusarium* mycotoxin beauvericin: optimisation of analytical methodology and natural occurrence in maize ears in Austria. Proceedings of the IX International IUPAC Symposium on Mycotoxins and Phycotoxins, Rome, May 27-31

- KRÜGER, W. (1976): Zum Auftreten der Wurzel- und Stengelfäule des Maises in der Bundesrepublik Deutschland 1969-1973. *Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft*, Heft 172, 1-49.
- KUHLMANN, I.; VALENTA, H.; GOLL, M., OLDENBURG, E. und FLACHOWSKY, G. (1999): Untersuchungen zum Schimmelpilzbesatz und Mykotoxingehalt in Getreide aus Thüringen und Sachsen-Anhalt von 1996. Proceedings 21. Mykotoxin-Workshop am 7.-9. Juni 1999 in Jena, S. 229-231.
- LEW, H. (1994): Zur Taxonomie, Häufigkeitsverteilung und Toxigenität der Getreidefusarien. Proceedings zum 16. Mykotoxin-Workshop und Symposium „Mykotoxine in der Nahrungskette“, Hohenheim, 16.-18.05. 1994, LAF-Informationen, Sonderheft 1, 77-80.
- LEW, H.; ADLER, A. und EDINGER, W. (1996): Proceedings 18. Mykotoxin-Workshop, Kulmbach, 10.-12. Juni 1996, 31-35.
- LEW, H.; ADLER, A.; BRODACZ, W. und EDINGER, W. (1997): Zum Vorkommen von Nivalenol in Getreide und Mais. Proceedings 19. Mykotoxin-Workshop, München, 02.-04.06. 1997, Märtlbauer, E. und Usleber, E. (Hrsg.), 6-9.
- LOGRIECO, A., MORETTI, A., RITIENI, A.; CHELKOWSKI, J.; ALTOMARE, C., BOTTALICO, A., and RADAZZO, G. (1993): Natural occurrence of beauvericin in preharvest *Fusarium subglutinans* infected corn ears in Poland. *J. Agric. Food Chem.* **41**, 2149-2152.
- MARX, H., GEDEK, B. UND KOLLARCZIK, B. (1995): Vergleichende Untersuchungen zum mykotoxikologischen Status von ökologisch und konventionell angebautem Getreide. *Lebensm. Unters. Forsch.* **201**, 83-86.
- MAULER-MACHNIK, A. und ZAHN, K. (1994): Ährenfusariosen an Weizen – neue Erkenntnisse zur Epidemiologie und zur Bekämpfung mit Folicur (Tebuconazole), *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer* **47** (1994) 133-160.
- MEIER, A.; BIRZELE, B.; OERKE, E.-C. und DEHNE, H.-W. (1999): Auftreten von *Fusarium* spp. und Mykotoxin-Gehalte von Winterweizen und Möglichkeiten zur Bekämpfung. Proceedings 21. Mykotoxin-Workshop, Jena, 7.-9. Juni 1999, 19-25.
- MEISTER, U. und SYMMANK, H. (1996): Fumonisine in Getreide. Proceedings 18. Mykotoxin-Workshop, Kulmbach, 10.-12. Juni 1996, 26-30.
- MESTERHÁZY, A. und BARTÓK T. (1996): Bekämpfung von Ährenfusariosen des Weizens durch Fungizide und deren Effekt auf die Toxinverseuchung der Körner, *Pflanzenschutz-nachrichten Bayer* **49**, 187-206.
- MÜLLER, H.M.; REIMANN, J.; SCHUMACHER, U. and SCHWADORF, K. (1997a): *Fusarium* Toxins in Wheat Harvested During Six Years in an Area of Southwest Germany. *Natural Toxins* **5**, 24-30
- MÜLLER, H.M.; REIMANN, J.; SCHUMACHER, U. and SCHWADORF, K. (1997b): Natural occurrence of *Fusarium* Toxins in Barley Harvested During Five Years in an Area of Southwest Germany. *Mycopathologia* **137**, 185-192.
- MÜLLER, H.M.; REIMANN, J.; SCHUMACHER, U. and SCHWADORF, K. (1998): Natural occurrence of *Fusarium* Toxins in oats harvested during five years in an area of southwest Germany. *Food Addit. Contam.* **15**, 801-806.
- MUNKVOLD, G.P.; HELLMICH, R.L. and RICE, L.G. (1999): Comparison of fumonisin concentrations in kernels of transgenic bt maize hybrids and nontransgenic hybrids. *Plant Disease* **83**, 130-138.
- MUNKVOLD, G.P.; HELLMICH, R.L. and SHOWERS, W.B. (1997): Reduced fusarium ear rot and symptomless infection in kernels of maize genetically engineered for european corn borer resistance. *Phytopathology* **87**, 1071-1077.
- OBST, A. (1988): Wie man Ährenfusariosen vermeidet. DLG-Mitteilungen 9, 470-471.
- OBST, A.; LEPSCHY-V. GLEISSENTHAL, J. und HUBER, G. (1992): Zur gezielten Bekämpfung der Ährenfusarien bei Weizen-Beobachtungen und Versuchsergebnisse aus Bayern. *Gesunde Pflanzen*, **44**. Jahrgang, Heft 2, 40-47.

- OLDENBURG, E. (1993): Occurrence of zearalenone in maize. *Mycotoxin Research* **9**, 72-78.
- OLDENBURG, E. (1997): Schimmelpilze – Gefahr für Futterqualität und Tiergesundheit. Durch vorbeugende Maßnahmen kann das Befallsrisiko gesenkt werden. *Mais* **25** (4), 134-136.
- OLDENBURG, E. (1997b): Fusarientoxine in Silomais - Einfluß von Sorte und Standort. Jahresbericht 1997 der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL), 29.
- OLDENBURG, E.; LEPSCHY, J.; VALENTA, H. und WEIßBACH, F. (1996): Fusarientoxine in Silomais - Abhängigkeit von Sorte und Standort. Proceedings 18. Mykotoxin Workshop, Kulmbach, 10.-12. Juni 1996, 174-179.
- OLDENBURG, E., WEINERT, J. und WOLF, G.A. (1999): Einfluß von Pflanzenschutzmaßnahmen auf den Fusariumtoxin-Gehalt in Weizen. Proceedings 21. Mykotoxin-Workshop, Jena, 7.-9. Juni 1999, 30-34.
- OLDENBURG, E. (1999): Fungal secondary metabolites in forages: occurrence, biological effects and prevention. In: Contributions of Grassland and Forage Research to the Development of Systems of Sustainable Land Use, Papers of the International Symposium held in Braunschweig 5/6 May 1999, *Landbauforschung Völkenrode*, Sonderheft 206, 91-109.
- PARRY, D.W., JENKINSON, P. and MCLEOD, L. (1995): Fusarium ear blight (scab) in small grain cereals-a review. *Plant Pathology* **44**, 207-238.
- REUTTER, M. (1999): Zearalenon und Deoxynivalenol in Getreide und Futtermitteln Schleswig-Holsteins: Untersuchungen aus dem Erntejahr 1998. Proceedings 21. Mykotoxin-Workshop, Jena, 7.-9. Juni 1999, 5-9.
- RODEMANN, B. (1999): Mykotoxine in Getreide. *ForschungsReport* (Ernährung, Landwirtschaft, Forsten) **2**, 6-9.
- SCHNUG, E.; HANEKLAUS, S.; BOOTH, E. and WALKER, K.C. (1995): Sulphur Supply and Stress Resistance in Oilseed Rape, Proc. Ninth Intern. Rapeseed Congress, Norwich, S.229-231.
- SCHOENBECK, F. (1979): Pflanzenkrankheiten, B.G. Teubner Stuttgart.
- SCHUMANN, K., JANKE, C. und GOSSMANN, M. (1991): Untersuchungen zum endogenen Pilzbefall an Silomais - Fusarium-Flora. *Arch. Phytopathol. Pflanzenschutz* **2**, 135-141.
- SCUDAMORE, K.A. und LIVESEY, C.T. (1998): Occurrence and significance of mycotoxins in forage crops and silage: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **77**, 1-17.
- SUTTON, J.C. (1982): Epidemiology of wheat head blight and maize ear rot caused by *Fusarium graminearum*. *Can. J. Plant Pathol.* **4**, 195.
- TEICH, A.H.; SAMPSON, D.R.; SHUGAR, L.; SMID, A.; CURNOE, W.E. and KENNEMA, C. (1987): Yield, quality and disease response of soft white winter wheat cultivars to nitrogen fertilization in Ontario, Canada. *Cereal Research Communications* **15**, No.4, 265-272.
- THALMAN, A. (1986): Fusarientoxine in Futtermitteln und Lebensmittelrohstoffen. In: Agrar- und Umweltforschung in Baden-Württemberg, Band **14**, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, 43.
- USLEBER, E., SCHNEIDER, E. und MÄRTLBAUER, E. (1998): Untersuchungen zum Vorkommen von Deoxynivalenol, Zearalenon und Fumonisin in Speisegetreide. Proceedings 20. Mykotoxin-Workshop, Detmold, 08.-10. Juni 1998, 131-135.
- VALENTA, H. und OLDENBURG, E. (1995): Bestimmung von Zearalenon, α -Zearalenol und β -Zearalenol in Maissilage mit HPLC und GC/MS. In: Grünland als Produktionsstandort und Landschaftselement, Kongreßband 1995 Garmisch-Partenkirchen, 107. VDLUFA-Kongreß, Garmisch-Partenkirchen, 18.-23.09.1995, 957-960.
- VELDMAN, A., BORGGREVE, G.J., MULDER, E.J. and VAN DE LAGEMAAT, D. (1992): Occurrence of the mycotoxins ochratoxin A, zearalenone and deoxynivalenol in feed components. *Food Additives and Contaminants* **9**, 647-655.
- WARREN, H.L. and KOMMEDAHL, T. (1973): Fertilization and wheat refuse effects on Fusarium species associated with wheat roots in Minnesota. *Phytopathology* **63**, 103-108.