

Aus dem Institut für Tierernährung
Universität Hohenheim
Fachgebiet: Tierernährung
Professor i. R. Dr. Dr. Dr. h.c. W. Drochner

**Untersuchungen zur Belastung von Getreidestroh mit *Fusarium*-Toxinen und
Ochratoxin A in Deutschland mit Verfügbarkeitsstudien**

DISSERTATION
zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Agrarwissenschaften

vorgelegt
der Fakultät Agrarwissenschaften

von
Sarah Sondermann
aus Minden

Hohenheim 2011

gefördert durch die BLE

Tag der mündlichen Prüfung:	14.12.2011
1. Prodekan:	Prof. Dr. A. Fangmeier
Berichterstatter, 1. Prüfer:	Prof. Dr. Dr. Dr. h.c. W. Drochner
Mitberichterstatter, 2. Prüfer:	Prof. Dr. Dr. S. Dänicke
3. Prüfer:	Prof. Dr. H. Schenkel

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Literaturübersicht.....	4
2.1	Stroheinsatz in der Tierernährung.....	4
2.2	Ergosterin.....	5
2.3	Ochratoxin A	6
2.4	<i>Fusarium</i> -Arten und ihre Biologie.....	8
2.4.1	<i>Fusarium</i> -Toxine.....	11
2.4.2	Vorkommen von <i>Fusarium</i> -Pilzen und -Toxinen auf Getreidestroh	14
2.4.3	Befallsfördernde und -hemmende Faktoren	15
2.4.3.1	Umwelteinflüsse.....	16
2.4.3.2	Ackerbauliche und pflanzenbauliche Maßnahmen.....	17
2.4.4	Maskierte Toxine	20
2.4.5	Toxizität der <i>Fusarium</i> -Toxine	21
2.4.6	Auswirkungen auf leistungsphysiologische Parameter beim landwirtschaftlichen Nutztier.....	22
2.5	Mykotoxine im Futter und Futtermittelrecht	28
3	Problemstellung.....	32
4	Material und Methoden.....	34
4.1	Sicherheitsmaßnahmen und Entgiftung	34
4.2	Versuch.....	34
4.2.1	Versuchsaufbau	34
4.2.2	Probenahme	36
4.2.3	Erfassung der Ernte- und Feldbearbeitungsparameter.....	37
4.2.4	Sensorische Beurteilung.....	37
4.2.5	Probenvorbereitung.....	39
4.3	Analysen	39
4.3.1	Verwendete Chemikalien für die Bestimmung der Trichothecene	39
4.3.2	Standardsubstanzen.....	40
4.3.3	Verwendetes Verbrauchsmaterial.....	40
4.3.4	Verwendete Geräte	41
4.4	Methoden	41
4.4.1	Bestimmung der Trockensubstanz	41

Inhaltsverzeichnis

4.4.2 Ergosterinbestimmung.....	42
4.4.3 Bestimmung der Trichothecene.....	44
4.4.4 Bestimmung des Zearalenons.....	47
4.4.5 Bestimmung des Ochratoxin A.....	48
4.4.6 Maskierte Toxine.....	49
4.5 Statistische Auswertung.....	53
5 Ergebnisse.....	54
5.1 Erfasste Witterungsparameter.....	54
5.2 Ergebnisse der sensorischen Prüfung.....	56
5.3 Ergebnisse der Trockensubstanzbestimmung.....	57
5.4 Ergosteringehalt und Korrelationen mit den analysierten Toxinen.....	57
5.5 Häufigkeit des Vorkommens und Gehalte von <i>Fusarium</i> -Toxinen und Ochratoxin A in den untersuchten Strohproben aus den Erntejahren 2007 und 2008.....	58
5.5.1 Vergleich der beiden Versuchsjahre.....	64
5.5.2 Häufigkeit und Vorkommen von <i>Fusarium</i> -Toxinen in Stroh in Abhängigkeit von der Getreideart.....	65
5.6 Toxingehalte von Stroh bei unterschiedlicher geographischer Lage innerhalb Deutschlands.....	73
5.7 Toxingehalte bei Gersten- und Weizenstrohproben nach unterschiedlichen pflanzen- und ackerbaulichen Maßnahmen.....	76
5.7.1 Toxingehalte von Stroh bei unterschiedlicher Vorfrucht.....	77
5.7.2 Toxingehalte von Stroh bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung.....	78
5.7.3 Toxingehalte von Stroh bei unterschiedlichen Lagerungsbedingungen....	78
5.8 Korrelationen der analysierten <i>Fusarium</i> -Toxinen.....	80
5.8.1 Korrelationen zwischen den analysierten <i>Fusarium</i> -Toxinen innerhalb einer Strohart.....	80
5.8.2 Korrelation der analysierten Toxine mit dem Hygienestatus.....	83
5.9 Versuchsergebnisse zu den maskierten Toxinen.....	84
5.9.1 Chemische Hydrolyse - Hydrolyse mit TFA.....	84
5.9.2 Enzymatische Hydrolyse - Behandlung mit Clara-Diastase.....	85
6 Diskussion.....	88
6.1 Sensorische Prüfung.....	88
6.2 Trockensubstanz.....	89

Inhaltsverzeichnis

6.3 Ergosteringehalt.....	89
6.4 Häufigkeit des Vorkommens von <i>Fusarium</i> -Toxinen in Stroh	91
6.4.1 Jahresunterschiede	93
6.4.2 Vergleich der Toxinspektren aller untersuchten Getreidestrohartentypen.....	94
6.4.3 Risikobewertung für <i>Fusarium</i> -Toxine aus Stroh.....	99
6.4.4 Bedeutung für die Tierernährung und Gesundheit	101
6.5 Toxingehalte von Stroh bei unterschiedlicher geographischer Lage innerhalb Deutschlands	103
6.6 Toxingehalte bei Strohproben nach unterschiedlichen pflanzen- und ackerbaulichen Maßnahmen.....	104
6.7 Korrelationen zwischen den analysierten <i>Fusarium</i> -Toxinen	107
6.7.1 Korrelationen in Weizenstroh	107
6.7.2 Korrelationen in Gerstenstroh.....	107
6.7.3 Korrelationen des Hygienestatus mit den Toxin- und den Ergosteringehalten	108
6.8 Versuchsergebnisse zu den maskierten Toxinen.....	109
7 Zusammenfassung.....	113
8 Summary	116
9 Literaturverzeichnis	119
10 Anhang.....	132
10.1 Verzeichnis der Abbildungen	132
10.2 Verzeichnis der Tabellen.....	133
10.3 Datenanhang	136

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

Im Folgenden sind die Abkürzungen, die über die internationalen üblichen SI-Einheiten hinaus verwendet wurden, aufgeführt.

ACN	Acetonitril
aw	Wasseraktivität
3-ADON	3-Acetyldeoxynivalenol
15-ADON	15-Acetyldeoxynivalenol
alpha-ZOL	alpha-Zearalenol
beta-ZOL	beta-Zearalenol
DAS	4,15-Diacetoxyscirpenol
DOM 1	12,13-de-epoxydeoxynivalenol
DON	Deoxynivalenol
EE	Essigester
FUS-X	Fusarenon X
HAc	Essigsäure
HCL	Salzsäure
HPLC	High Pressure Liquid Chromatography
HT-2	HT-2 Toxin
IgA	Immunglobulin A
KH ₂ PO ₄	Kaliumhydrogenphosphat
KOH	Kaliumhydroxid
MAS	15-Monoacetoxyscirpenol
MeOH	Methanol
MW	Mittelwert
n	Anzahl
n.s.	nicht signifikant
NEO	Neosolaniol
NIV	Nivalenol
s	Standardabweichung
SCIRP	Scirpentriol
T-2	T-2 Toxin
T-2,3	T-2 Triol

Abkürzungsverzeichnis

T-2,4	T-2 Tetraol
TFA	Trifluoressigsäure
TFAA	Trifluoressigsäureanhydrid
TS	Trockensubstanz
ZON	Zearalenon
Z4G	Zearalenon 4-sulfat

1 Einleitung

Unter Stroh versteht man den oberirdischen vegetativen Teil der reifen Getreidepflanze. Das Ernteaufkommen von Getreidestroh beträgt im bundesdeutschen Mittel ca. 8 % des Getreideaufkommens, deshalb gilt Stroh als wichtigstes Nebenprodukt des Getreideanbaus.

Die intensive Nutzung der einheimischen Rohstoffe zu einer effektiveren und kostengünstigeren Futterproduktion wird auf Grund der seit Jahrzehnten steigenden Futtergetreidepreise ökonomisch zunehmend interessanter. Die Intensität der Getreidestrohnutzung als Futtermittel schwankt jedoch je nach Ländern. In Entwicklungsländern herrscht ein stetiger Konzentratmangel in der Tierfütterung und auch die Futtervorratswirtschaft ist noch wenig entwickelt, deshalb wird Stroh hier als strukturreiche Nahrungskomponente bevorzugt eingesetzt.

In der intensiven Tierproduktion findet das Getreidestroh besonders in strukturarmen Rationen, bei Milchkühen in Perioden mit geringer Leistung (Trockensteher, Trächtigkeit), in der Jungtieraufzucht und bei einem Mangel an anderem Grobfuttermittel seinen Einsatz (Flachowsky, 1987).

In der Schweinehaltung wird Stroh zwar nicht als Rationskomponente eingesetzt, jedoch kann nach van Barneveld (2005) die Strohaufnahme von Schweinen, die auf Stroh gehalten werden, bis zu 14,1 % der Ration (Gesamttagesration) ausmachen.

Der pilzliche Verderb von Getreide vermindert nicht nur den Ertrag, sondern stellt auch durch die von Pilzen produzierten Toxine ein Risiko für die Gesundheit und Leistungsfähigkeit landwirtschaftlicher Nutztiere dar. *Fusarien* zählen zu den Feldpilzen und befallen verschiedene Teile der Getreidepflanze.

Zu den bekanntesten *Fusarium*-Toxinen zählen die Trichothecentoxine, mit Deoxynivalenol (DON) als häufigstem Toxin sowie das Zearalenon (ZON). Sie befallen die gesamte Getreidepflanze und können eine Vielzahl von Pflanzenkrankheiten hervorrufen. Untersucht und nachgewiesen wurden sie bisher jedoch vor allem auf dem Getreidekorn. Bisherige Untersuchungen von Stroh auf Mykotoxine in der Bundesrepublik Deutschland sind lückenhaft. Ein deutschlandweites flächendeckendes Screening wurde in dem Bezug noch nie durchgeführt. Neben DON und ZON sind noch

Einleitung

eine ganze Reihe weiterer Toxine, die weniger häufig vorkommen und nachgewiesen werden, zu berücksichtigen.

Das Auftreten verschiedener *Fusarium*-Arten und deren Toxinproduktion führt zu unterschiedlichen Effekten auf die Gesundheit. Die orale Aufnahme von Trichothecentoxinen kann zu einer verminderten Futteraufnahme, geringeren Zunahmen, Erbrechen sowie Durchfall führen. Auch eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber anderen Krankheiten wird in diesem Zusammenhang beschrieben. Das ZON wirkt sich auf Grund seiner östrogenähnlichen Struktur insbesondere auf das Rauscheverhalten und den gesamten Reproduktionsprozess von Sauen aus und kann so zu erheblichen Leistungseinbußen führen. Der Risikoeintrag kann über das Futter aber auch über kontaminierte Einstreu erfolgen. Wobei hier auch langjährig gehaltene Tiere berücksichtigt werden sollten, die einer möglichen Mykotoxinaufnahme über das Futter oder mykotoxinbelasteten Staub über viele Jahre ausgesetzt sein könnten. Letzteres könnte auch für den Menschen eine potentielle Gefahrenquelle darstellen.

Das von *Aspergillus*- und *Penicillium*-Arten produzierte Lagertoxin Ochratoxin A (OA) kann durch seine lange Halbwertszeit über den Konsum tierischer Nahrung oder kontaminiertem Getreide auch den Menschen belasten (Bauer, 1993).

Eine Reihe von Einflussfaktoren können die Intensität der Toxinbildung beeinflussen. Aus Untersuchungen an Getreidekörnern ist bekannt, dass besonders die klimatischen Bedingungen, aber auch die geographische Lage einen Effekt auf die Toxingehalte in den Körnern verursachen können. Die Auswirkungen dieser Einflussfaktoren auf den Toxingehalt von Getreidestroh sind bislang nicht untersucht worden. In pflanzlichem Material wurde eine Konjugation der Toxine an Zucker, Aminosäuren oder Sulfatgruppen festgestellt. Diese Toxine entziehen sich in der Routineanalytik von Futtermitteln der Detektion und gelten somit als maskiert. Einige Untersuchungen weisen jedoch darauf hin, dass diese Mykotoxinderivate im Intestinaltrakt der Tiere durch Einwirkung des Verdauungssaftes freigesetzt und so bioverfügbar werden. Erst der enorme Fortschritt in der Mykotoxinanalytik macht eine umfangreiche Analyse dieser maskierten Toxine möglich. Das tatsächliche Expositionsrisiko landwirtschaftlicher Nutztiere durch Futtermittel mit maskierten Toxinen ist kaum einzuschätzen.

Einleitung

Um das deutschlandweite Vorkommen von *Fusarium*-Toxinen und OA auf Stroh erfassen zu können, wurde ein Screeningversuch von Proben aus allen Bundesländern entsprechend dem Aufkommen des Strohs am gesamten Strohaufkommen in der Bundesrepublik Deutschland über zwei Erntejahre durchgeführt.

Um den Verpilzungsgrad des Strohs ermitteln zu können, sollte an einer begrenzten Probenzahl der Ergosterin Gehalt, der als chemischer Indikator für die von Pilzen gebildete Biomasse dient, untersucht werden.

2 Literaturübersicht

2.1 Stroheinsatz in der Tierernährung

Als wichtigstes Nebenprodukt des Getreideanbaus fallen pro Erntejahr ca. 1823000 t Stroh (BVL, Wirtschaftsjahr 2001-2002) an. Dieser nicht unerhebliche Teil der Ernte wird in der Tierhaltung als Rationskomponente oder Einstreumaterial verwendet. Im Vergleich zu anderen rohfaserreichen pflanzlichen Futtermitteln ist der Gehalt an verdaulicher und umsetzbarer Energie sowie an Nettoenergie niedriger, der Rohnährstoffgehalt und der Bruttoenergiegehalt jedoch vergleichbar hoch.

Die Strohaufnahme bei Wiederkäuern hängt eng mit den Konzentratgaben in der Gesamtration zusammen. Mit zunehmender Konzentratzulage nimmt die Strohaufnahme ab.

In der Wiederkäuerfütterung kann Getreidestroh durch seine rohfaserreiche und energie- und proteinarmer Zusammensetzung vorwiegend bei Wiederkäuern mit geringem Leistungsniveau eingesetzt werden und die tägliche Strohaufnahme bis zu 5,5 kg betragen. In diese Gruppe fallen trockenstehende Kühe, weibliche Jungrinder, Milchkühe im letzten Laktationsdrittel oder auch niedertragende Mutterschafe. Stroh wird auch oft eingesetzt, um den Mindestrohfasergehalt von Futtrationen von 16% zu decken.

Auch bei Pferden wird Getreidestroh vorwiegend zur Sattfütterung eingesetzt und um den Mindestrohfasergehalt von 14% der Ration zu decken. Die Kaubedürfnisse des Pferdes sind mit ca. 0,5 kg Lang- oder Häckselstroh/100 kg Lebendmasse und Tag abgedeckt (Flachowsky, 1987).

In der Schweinehaltung wird Stroh zwar nur selten als Rationskomponente eingesetzt.

Als Futtermittel wird es vorwiegend eingesetzt, um Rohfaserlücken zu schließen und zur Sättigung niedertragender Sauen beizutragen (Flachowsky, 1987).

2.2 Ergosterin

Um den Verpilzungsgrad von Futtermitteln zu beurteilen, wird als chemischer Indikator für die von Pilzen gebildete Biomasse der Ergosteringehalt bestimmt. Ergosterin kommt in der Regel im Gewebe höherer Pflanzen nicht vor und stellt als Zellwandbestandteil von Pilzen einen zuverlässigen Indikator für den Pilzbefall dar (Opitz et al., 2004).

Müller und Schwadorf (1990) haben die Fähigkeit zur Ergosterinbildung in 61 Schimmelpilzarten, darunter in 12 *Fusarium* Arten nachgewiesen. Zu ihnen gehören u.a. *F. avenaceum*, *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. poae*, *F. sporotrichioides* und *F. roseum*.

Ab einem Ergosteringehalt von 6 mg/kg ist nach Müller und Lehn (1988) die Getreidekornqualität beeinträchtigt.

In ihren Untersuchungen von Getreidekornproben nach Selektion auf einen guten mykologischen Status kamen sie zu den in Tabelle 1 dargestellten mittleren Ergosteringehalten für Körner verschiedener Getreidearten.

Tabelle 1: Mittelwerte mit Angabe der Standardabweichung von Ergosteringehalten von Getreidekörnerproben der Getreidearten Weizen, Gerste und Hafer (Müller und Lehn, 1988)

Getreideart	Ergosteringehalt (mg/kg) MW ± s
Weizen	2,65 ± 0,97
Gerste	3,09 ± 1,04
Hafer	3,51 ± 2,03

Die von Müller und Lehn (1988) beschriebene Beeinträchtigung der Getreidekornqualität ab einem Ergosteringehalt von 6 mg/kg wird von Untersuchungen von Schnürer und Jonsson (1992) bestätigt, die ab diesem Ergosteringehalt die Bildung von Mykotoxinen beobachteten.

Literaturübersicht

Tabelle 2: Beurteilung des Ergosteringehaltes von Getreidekörnern (aus Reiman, 1994 von Schnürer und Jonsson, 1992)

Ergosteringehalt	Einstufung
> 15	muffiger Geruch (stark verschimmelt)
6 - 15	Nachweis von Mykotoxinen
3 - 6	Futterqualität
< 3	Nahrungsmittelqualität

Seitz und Bechtel (1985) analysierten DON und Ergosterin in Weizen nach vorheriger visueller Betrachtung und teilten die Weizenproben entsprechend der visuellen Bonitur in 3 Gruppen ein. In Tabelle 3 sind die ermittelten Werte dargestellt.

Tabelle 3: Gehalt an DON und Ergosterin in Weizenkörnerproben (Seitz und Bechtel, 1985)

Probe	Grad der visuellen Infektion	Ergosterin (mg/kg)	DON (mg/kg)
1	leicht	2,8	0,4
1	mittel	29,0	22,7
1	stark	103,0	68,7
2	leicht	2,7	0,7
2	stark	86,8	68,5
3	leicht	2,6	0,8
3	stark	71,3	39,9
4	stark	118,0	71,9

Diese aus dem Ergosteringehalt abgeleiteten Qualitätskriterien für Getreidekörner sind auf die Strohfraktion nicht übertragbar. Bisher liegen keine Arbeiten zu einer möglichen Beurteilung der Strohqualität über den Ergosteringehalt vor.

2.3 Ochratoxin A

Das OA ist ein ubiquitär vorkommendes Mykotoxin, welches im Zuge des Sekundärstoffwechsels von Pilzen der Spezies *Penicillium* und *Aspergillus* gebildet wird (Valero et al., 2007). Nach Searcy et al. (1969), zitiert von Reiss (1977), ist eine Biosynthese des heterozyklischen Bestandteils von OA aus Acetat- und

Literaturübersicht

Malonateinheiten und aus der Carboxylgruppe von Methionin anzunehmen. Die anschließende Verknüpfung des L-β-Phenylalanins sorgt für die toxische Wirkung dieses Toxins.

Da das OA vorwiegend bei der Lagerung gebildet wird, wird es als Lagertoxin bezeichnet.

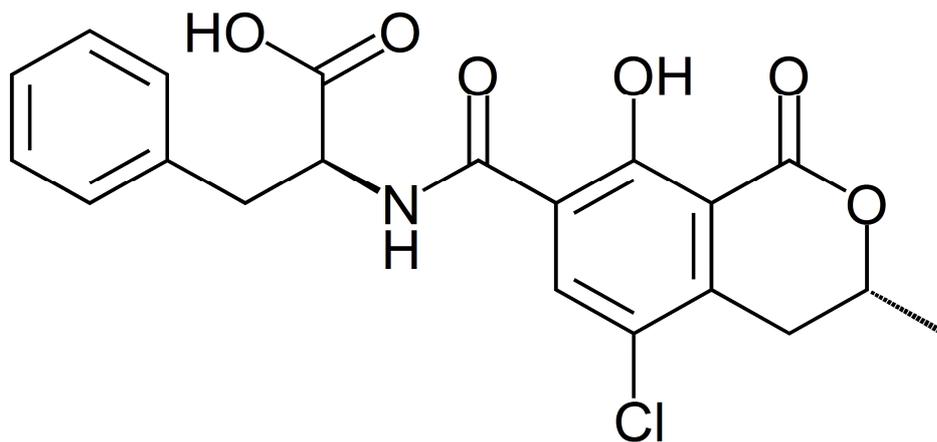


Abbildung 1: Chemische Struktur des Ochratoxin A

OA wird vor allem bei unsachgemäßer (feuchter) Lagerung gebildet. Die Voraussetzungen für die Bildung von OA sind besonders bei der Einlagerung von Futtermitteln zur Minimierung der Toxinbildung zu beachten.

Die OA-Produktion wird hauptsächlich durch die abiotischen Faktoren Temperatur und Wasseraktivität (aw) bestimmt. Einen Feuchtigkeitsgehalt von 15-19 % benötigen die das Lagertoxin produzierenden Pilze für ihr Wachstum (Magan und Aldred, 2007).

Birzele et al. (2000) führten in Deutschland einen Lagerversuch mit Getreidekörnern durch und beobachteten einzig bei der Lagerungsfeuchte von 20 % einen leichten Anstieg der OA Konzentration in einem Versuchsjahr.

Tassou et al. (2009) beobachteten keine OA-Produktion mehr bei einer Temperatur von 10°C oder weniger.

Die Hauptkontaminationsquelle für Tiere stellt Getreide (Futtermittel) dar und für den Menschen sind dies Getreide, Fleischprodukte und Kaffee. OA wird im Tier nur in sehr geringem Maß transformiert.

Bedingt durch sein großes Eiweißbindungsvermögen besitzt das OA eine hohe Affinität zu Serumalbumin. Dadurch lässt sich auch die lange biologische Halbwertszeit im Gewebe und Blutserum erklären (European Mycotoxin Seminar Series, 2005).

Die starke Bindung an Serumalbumin verursacht die lange Halbwertszeit im Blut der Schweine. Rückstände sind jedoch nicht nur im Blut, sondern auch in Herz, Niere, Muskeln und Leber zu finden (Bauer, 1993). Dadurch ist die Belastung des Menschen durch die Aufnahme von Lebensmitteln tierischer Herkunft bei diesem Mykotoxin besonders zu beachten.

2.4 *Fusarium*-Arten und ihre Biologie

Pilze der Gattung *Fusarium* gehören zu den Deuteromyceten und kommen weltweit mit großer Biotopvarianz vor. Man zählt die *Fusarien* zu den unvollständig bekannten Pilzen, zu den „fungi imperfecti“ (Wollenweber und Reinking, 1935).

Auf Pflanzen und Futtermitteln wachsen etwa 100 Pilzarten, von denen viele zur Toxinbildung fähig sind (Ulbrich et al., 2004).

Die Pilzflora des Getreides kann in Feld- und Lagerpilze eingeteilt werden. Zu den Ersteren gehören die *Fusarien* sowie *Alternaria* und *Cladosporium*, die sich hauptsächlich während der Reifung bis zur Ernte auf der Pflanze entwickeln können. Sie haben im Gegensatz zu den Lagerpilzen (z.B. *Penicillium*, (*Aspergillus*) und *Mucor*) einen höheren Anspruch an die Feuchtigkeit ihres Substrates (Reiss, 1981).

Fusarien können eine Vielzahl von Pflanzenkrankheiten, wie z.B. die partielle Taubährigkeit verursachen und sind dadurch, dass sie die weltweit bedeutendsten Futterpflanzen wie Gerste, Weizen und Mais befallen, auch von ökonomischer Relevanz (Barug et al., 2006). Im Getreide- und damit auch im Futteranbau spielen sie durch Ertrags- und Qualitätsminderung eine wichtige Rolle.

Sind Getreidepflanzen infiziert, können sich eine Vielzahl von *Fusarium*-Arten auf ihnen befinden (Köhl und Waalwijk, 2007). Verschiedene *Fusarium*-Spezies haben auch unterschiedliche Ansprüche an ihre Umwelt. *F. graminearum* bevorzugt wärmere und trockenere Regionen, wohingegen *F. culmorum* häufiger in kühleren und feuchteren Regionen lokalisiert wurde (Clement und Parry, 1998). Nach Hope et al. (2005) kann bei einem aw von 0,995 und 0,98 und einer Temperatur von 25 °C das größte Wachstum von *F. culmorum* verzeichnet werden. Das größte Wachstum von *F. graminearum* kann bei einem aw von 0,995 und derselben Temperatur nachge-

Literaturübersicht

wiesen werden. Bei 15 °C lag der aw für ein optimales Wachstum bei *F. culmorum* in einem größeren Bereich, im Vergleich zu *F. graminearum* (Hope et al., 2005).

Eine Infektion der Getreidepflanze kann auf unterschiedlichen Wegen stattfinden, wobei der Infektionsdruck meist von *Fusarium*-Sporen ausgeht, die sich auf Ernterückständen oder der Erdoberfläche befinden.

Pilze der Gattung *Fusarium* zeigen eine relativ hohe Kälteresistenz und können somit nach der Ernte auf Stroh- und Stoppelresten überwintern.

Fusarien produzieren sogenannte Konidien. Dabei handelt es sich um asexuelle Sporen, die der ungeschlechtlichen Vermehrung der Pilze dienen. Einige *Fusarien*-Spezies wie *F. graminearum* sind auch zu einer sexuellen Fortpflanzung durch Ascosporen fähig.

Neben Makrokonidien und Dauermycel werden von *F. culmorum* auch Chlamydosporen gebildet, deren Überlebensdauer in Ackerböden bis zu drei Jahren betragen kann. Die von *Fusarium* gebildeten Konidien werden vom Frühjahr bis zum Sommer mit Hilfe von Regenspritzern auf die unteren Blattetagen der Getreidepflanze transportiert. Da diese Art der Verbreitung nur über relativ kurze Distanzen möglich ist, erfolgt die weitere Infektion von Blattetage zu Blattetage Richtung Ähre.

F. graminearum ist wie oben beschrieben auch zur Produktion von geschlechtlichen Fruchtkörpern, den Ascosporen befähigt. Diese flugfähigen Sporen werden über einen sehr langen Zeitraum aus den Perithezien freigesetzt und können mit dem Wind über lange Strecken transportiert werden. Auf Blätter gelangend können sie diese wieder infizieren und die ungeschlechtlichen Konidien bilden oder sie infizieren direkt die blühenden Ährchen (Schlüter et al., 2006).

Wird in den Ährchen eine Infektion hervorgerufen, entstehen Erkrankungen wie die Weiß- beziehungsweise Taubährigkeit (Parry et al., 1995).

Eine weitere Möglichkeit zur Infektion der Getreidepflanze kann auch systemisch von der Getreidewurzel bis in den Halm erfolgen. Nach Fischer (1977), zitiert von Schlüter et al. (2006), kann sich der Erreger bis zum Zentralzylinder auf interzellulärem Weg ausbreiten und 4 – 5 Tage nach Inokulation das Xylem erreichen. Clement et al. (1998) beobachteten inter- und intrazelluläre Hyphen, die im Inneren des Halmes und der Nodien wuchsen. Er konnte auch eine direkte Penetration der Hyphen durch die Epidermiszellwand feststellen. Auch der von Schlüter et al. (2006) zitierte Duben (1978) konnte *F. culmorum*, *F. graminearum* und *F. avenaceum* bis zu einer

Halmhöhe von 15 cm häufig nachweisen. Snijders (1990) konnte sowohl nach Bodeninokulation als auch nach Inokulation durch Verletzen ein durchgängiges, systemisches Wachstum von *F. culmorum* durch den Halmknoten von einem Internodium zum nächsten feststellen.

Gelangen *Fusarium*-Sporen an Saatgut oder auch an die unteren Abschnitte der Pflanze, können Keimlingsfäule und Halmbasiserkrankungen initiiert werden.

Mechanische Verletzungen können infolge von einem Insektenbefall zusätzliche Eintrittspforten für *Fusarium ssp.* schaffen (Miller, 1995).

Viele Untersuchungen bestätigen eine Infektion des Getreidekorns mit *Fusarium* hauptsächlich zum Zeitpunkt der Blüte. Für diese Beobachtung liegen für die Strohfraktion bislang keine Untersuchungen vor.

Verteilung innerhalb Deutschlands

Die Dominanz einzelner Spezies aus einem Spektrum von *Fusarium*-Pilzen in bestimmten Regionen ist stark an das Klima gebunden. *F. culmorum* bevorzugt im Frühjahr und Sommer feuchtes und kühles Wetter und zeigte über Jahrzehnte ein verstärktes Auftreten in Norddeutschland, wo im Vergleich zum Süden Deutschlands maritimere Wetterbedingungen herrschen. Die Infektion der Pflanze über Konidien ist vermehrt an das Vorhandensein von Regen gebunden. *F. graminearum* favorisiert wärmeres Wetter und ist durch die Ascosporen-Verbreitung nicht nur an hohe Niederschläge gebunden, sondern kann auch in Regionen Süddeutschlands die Getreidepflanze befallen (Schlüter et al., 2006).

Nicht nur das Wetter, auch die Vorfrucht beeinflusst das Auftreten von *Fusarien*. Besonders die Vorfrucht Mais ist stark befallen. Durch den zunehmenden Maisanbau im Norden Deutschlands kann hier immer häufiger auch *F. graminearum* nachgewiesen werden (Schlüter et al., 2006).

Untersuchungen an Weizenpflanzen im Rheinland ergaben einen Befall hauptsächlich mit *F. avenaceum*, *F. poae*, *F. culmorum* und *F. graminearum* (Birzele et al., 2002). Büttner (2006) untersuchte Weizen- und Roggenpflanzen in Bayern und identifizierte *F. poae* als die am Häufigsten vorkommende *Fusarium*-Art. *F. graminearum*, *F. avenaceum* und *F. culmorum* konnten im größeren Umfang nachgewiesen wer-

den. Auffällig war im Jahr 2004 ein vermehrtes Auftreten von *F. sporotrichioides* in beiden Getreidearten.

2.4.1 *Fusarium*-Toxine

Je nach Art und Stamm ist das Toxinbildungsvermögen unterschiedlich. Trichothecene sowie ZON sind die von *Fusarium* hauptsächlich gebildeten Toxine auf kleinkörnigem Getreide.

Tabelle 4: Von *Fusarium*-Spezies produzierte Trichothecentoxine und Zearalenon in Getreide (Bottalico, 1998; Torp und Nirenberg, 2004)

<i>Fusarium</i>-Spezies	Mykotoxine
<i>F. graminearum</i>	DON, ZON, NIV, FUS-X, 3-ADON, 15-ADON,
<i>F. culmorum</i>	DON, ZON, NIV, FUS-X, 3-ADON,
<i>F. equiseti</i>	DAS, ZON, NIV, MAS, FUS-X
<i>F. acuminatum</i>	T-2, HT-2, DAS, MAS, NEO
<i>F. sporotrichioides</i>	T-2, HT-2, NEO, MAS, DAS
<i>F. poae</i>	DAS, MAS, NIV, FUS-X, NEO
<i>F. crookwellense</i>	NIV, FUS-X, ZON,
<i>F. sambucinum</i>	DAS, T-2, NEO, ZON, MAS
<i>F. langsethiae</i>	HT-2, T-2

Die Trichothecene gehören zu der größten Gruppe der durch *Fusarium* gebildeten Mykotoxine. Die zur Stoffklasse der Sesquiterpenoide gehörenden Toxine besitzen ein tetrazyklisches 12,13-Epoxytrichothec-9-en-Gerüst mit einer Doppelbindung zwischen C₉ und C₁₀ und einer Epoxidgruppe zwischen C₁₂ und C₁₃. Bei gleichem Grundgerüst besitzen sie jedoch unterschiedliche Substituenten und lassen sich auf Grund dessen in vier verschiedene Gruppen (Typ A, B, C, D) einteilen (Döll und Dänicke, 2011). Auf Getreide sind vorwiegend die Trichothecene des Typ A (keine Ketogruppe an C8) und B (Ketogruppe an C8) nachgewiesen worden. Damit zeigt sich für diese beiden Gruppen eine vorrangige Relevanz für die Landwirtschaft (Gutleb et al., 2002). Zu den Toxinen des Typ A gehören T-2 Toxin (T-2), HT-2 (HT-2), T-2-Triol (T-2,3), T-2 Tetraol (T-2,4), 4, 15-Diacetoxyscirpenol (DAS), 15-Monoacetoxyscirpenol (MAS), Scirpentriol (SCIRP) und Neosolaniol (NEO). Zu den

Literaturübersicht

Toxinen des Typ B gehören DON, 15-Acetyldeoxynivalenol (15-ADON), 3-Acetyldeoxynivalenol (3-ADON), Nivalenol (NIV) und Fusarenon-X (FUS-X) (Schollenberger et al., 2006).

Nach Bottalico et al. (2002) wird DON in Weizen und Gerste (gewachsen in Nordeuropa) am häufigsten nachgewiesen und dominiert somit im Getreide.

Eine Untersuchung zum Toxinspektrum in Süddeutschland wurde von Müller et al. (1998, 2001) an Weizenkörnern durchgeführt. DON (86%) war das dominierende Toxin, gefolgt von NIV (38%), 3-ADON (24%), ZON (20%), HT-2 (6%) und T-2 (6%). Auf Grund des häufigen Befalls dieser Getreidearten und der toxischen Wirkung der *Fusarium*-Toxine rücken diese immer mehr in das Interesse der Nahrungs- und Futtermittelindustrie.

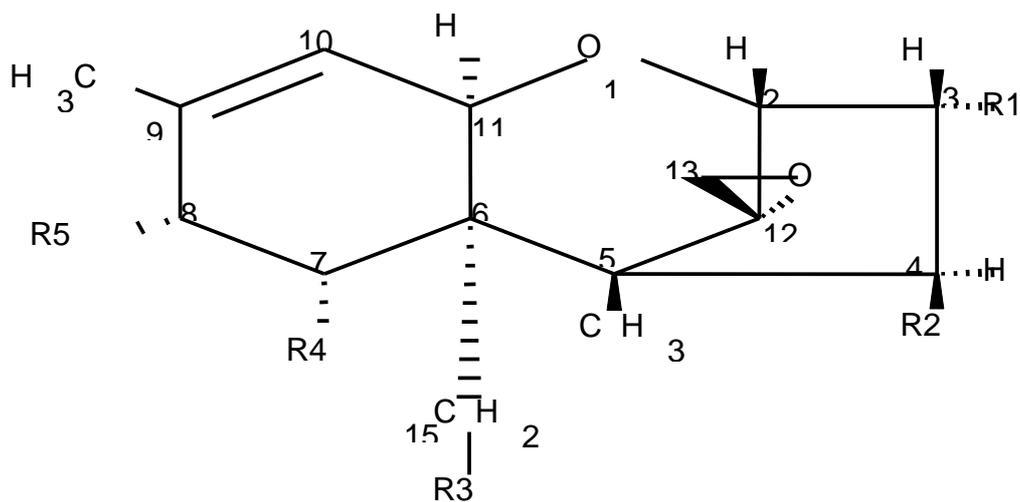


Abbildung 2: Chemische Struktur der Trichothecene

Literaturübersicht

Tabelle 5: Trichothecentoxine mit den charakteristischen Substituenten (Schollenberger et al., 2006)

Trichothecene	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅
Deoxynivalenol	OH	H	OH	OH	= O
3-Acetyldeoxynivalenol	OAc	H	OH	OH	= O
15-Acetyldeoxynivalenol	OH	H	OAc	OH	= O
Nivalenol	OH	OH	OH	OH	= O
Fusarenon-X	OH	OAc	OH	OH	= O
Scirpentriol	OH	OH	OH	H	H
15-Monoacetoxyscirpenol	OH	OH	OAc	H	H
4, 15-Diacetoxyscirpenol	OH	OAc	OAc	H	H
T-2 Tetraol	OH	OH	OH	H	OH
T-2 Triol	OH	OH	OH	H	OCOCH ₂ CH(CH ₃) ₂
HT-2 Toxin	OH	OH	OAc	H	OCOCH ₂ CH(CH ₃) ₂
T-2 Toxin	OH	OAc	OAc	H	OCOCH ₂ CH(CH ₃) ₂
Neosolaniol	OH	OAc	OAc	H	OH

Das ZON (C₁₈H₂₂O₅) ist auch ein als Macrolid bezeichnetes 6- (10-Hydroxy-6-oxo-trans-1-undecenyl)-β-Resorcyssäurelacton. ZON wurde erstmals aus Kulturen des Pilzes *Gibberella zeae* isoliert. Gebildet wird das Toxin auf dem Acetat-Malonat-Weg. Selbst bei gleichen Arten und Varietäten kann die Stärke der Toxinbildung großen Schwankungen unterliegen, wobei besonders von den Arten *F.graminearum* und *F.culmorum* die stärkste Gefahr einer Futtermittelkontamination ausgeht (Müller, 1998).

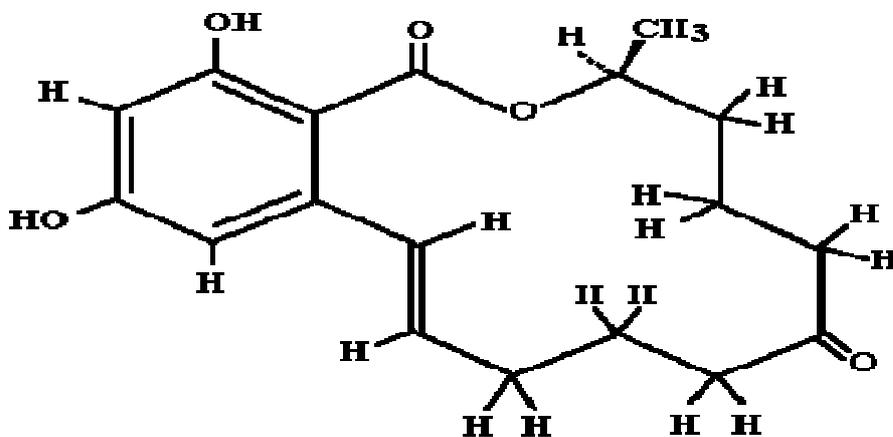


Abbildung 3: Chemische Struktur des Zearalenons

2.4.2 Vorkommen von *Fusarium*-Pilzen und -Toxinen auf Getreidestroh

Über das Vorkommen von *Fusarium*-Toxinen in Getreidekörnern wird weltweit berichtet. Die Anzahl an vergleichbaren Daten ist relativ hoch. Die Strohfraktion der Getreidepflanze wurde bis jetzt kaum auf Pilze und deren Mykotoxine untersucht.

Birzele et al. (2002) führten im Rheinland Untersuchungen an ganzen Weizenpflanzen durch und fanden auf der Stammbasis, den Blättern und den Körnern einen Befall mit verschiedenen *Fusarium*-Arten und stellten auch eine unterschiedliche Befallsintensität der einzelnen *Fusarium*-Arten fest.

2003 führten Köhl und Waalwijk (2007) Untersuchungen zur *Fusarium*-Besiedlung von abgereiften Weizenpflanzen durch und beobachteten in den Stängeln und Blättern im Vergleich zu den analysierten Körnern (fast ausschließlich *F. culmorum*) eine erheblich höhere Konzentration an *Fusarium*-Pilzen. Zudem wurden neben *F. culmorum* auch *F. graminearum* und *F. avenaceum* nachgewiesen. In den abgestorbenen Blättern, welche ebenfalls zur Strohfraktion zählen, wurde eine viel höhere Konzentration an *Fusarium* im Vergleich zu den analysierten Körnern ermittelt. Auch das *Fusarium*-Spektrum unterschied sich in den beiden Fraktionen. Neben *F. culmorum* wurde in den abgestorbenen Blättern auch *F. graminearum* und *F. avenaceum* gefunden. Diese Untersuchung konnte auch zeigen, dass sich der höchste Gehalt der Erreger zum Zeitpunkt der Ernte auf den Strohteilen konzentrierte. „Die Ähren erwiesen sich als infiziert, aber *Fusarium graminearum* besiedelte in viel stärkerem Maße die abgereiften Halmteile“ (Köhl und Waalwijk, 2007).

Schlüter et al. (2006) führten Untersuchungen zum Befall von Halminternodien (Weizenpflanzen) durch *F. culmorum* und *F. graminearum* durch und beobachteten ein systematisches Wachstum von *F. graminearum* im Halm. Nur 1,6 bis 7,0 % der Halminternodien waren mit *F. graminearum* befallen, jedoch wurde ein hoher Anteil dieses Erregers in der Ähre gefunden. Hingegen wies der Befall mit *F. culmorum* eine Häufigkeit von 20 bis über 30% auf, wobei die basalen Internodien häufiger befallen waren als die oberen. Bei einigen Trieben wurde sogar ein durchgehender Befall von der Basis bis zur Ähre beobachtet. Die Ursache für diese Beobachtung beschrieben die Autoren als Folge der unterschiedlichen Entwicklungszyklen der beiden Schaderreger.

Diese Untersuchungen machen deutlich, dass sich das *Fusarium*-Spektrum der einzelnen Fraktionen der Getreidepflanze unterscheiden kann.

Bisher wurden nur wenige Untersuchungen zum Toxingehalt von Stroh durchgeführt. Dabei wurden zumeist die Toxine DON und ZON analysiert.

White et al. (2007) fanden in 40 Strohproben, gesammelt in Mittel- und Südengland, mittlere DON-Gehalte in Weizenstroh von 460 µg/kg und Maximumwerte über 1900 µg/kg. ZON zeigte bei dieser Untersuchung einen Mittelwert von 23 µg/kg und einen Maximumwert von 498 µg/kg. Töpfer et al. (2007) fanden bei einer Untersuchung der Strohfraktion von Weizen- und Triticalepflanzen in Deutschland (Baden-Württemberg) mittlere DON-Gehalte von 1,37 mg/kg bzw. 1,96 mg/kg (n=68/4) und mittlere ZON-Gehalte von 0,039 mg/kg bzw. 0,171 mg/kg (n=49/4). In Gerstenstroh lagen die Werte unterhalb der Nachweisgrenze.

Das Vorkommen weiterer Toxine, z.B. der T-2 und SCIRP Gruppe wurde kaum untersucht.

2.4.3 Befallsfördernde und -hemmende Faktoren

Die meisten Forschungen auf dem Gebiet der befallsfördernden und -hemmenden Faktoren wurden für das Getreidekorn durchgeführt. Dabei wurden eine Reihe von Faktoren ermittelt, die den Befall und die Toxinbildung beeinflussen.

Koch et al. (2006) führten Untersuchungen von Einflussfaktoren und deren Intensität auf die Produktion von DON in Weizenkörnern durch und kamen zu folgender Rangierung:

Jahresspezifischer Regenfall während der Blüte = *Fusarium*-Infektion/-Anfälligkeit der Vorfrucht = *Fusarium*-Anfälligkeit der Weizensorte > Bodenbearbeitung ≥ Fungizidapplikation während der Blüte.

Bisher wurde der Einfluss acker- und pflanzenbaulicher Maßnahmen sowie die Auswirkungen der Wetterbedingungen auf den Befall und den Toxingehalt von Stroh nicht hinreichend beschrieben.

Eine direkte Übertragung der *Fusarien* von der Korn- auf die Strohfraktion ist bisher nicht nachgewiesen und umstritten. Eindeutige Untersuchungen hierzu fehlen.

2.4.3.1 Umwelteinflüsse

Der Grad der Infektion der Getreidepflanze hängt von den Umwelteinflüssen ab. Zu einer hohen Infektion und damit auch Kontamination der Getreideähre kommt es besonders bei der Kombination aus Regen und moderaten Temperaturen während der Blüte (Mansfield et al., 2005). Über die Infektionsbedingungen des Getreidehalms ist wenig bekannt.

Niederschlag

Durch das Transportieren der Konidien auf die unteren und oberen Pflanzenabschnitte mit Hilfe von Regentropfen kommt dem Niederschlag für die Infektion der Getreidekörner eine wichtige Bedeutung zu. Die Regenmenge bestimmt nach Paulitz (1996) auch die Abgabe der Ascosporen von *F. graminearum*. Für die Bildung und Reifung der Perithezien und Ascosporen wird Regen benötigt, doch an Tagen mit Regenfällen von mehr als 5 mm stoppt die Abgabe von Ascosporen. Auch für die Verbreitung von Konidien wird stärkerer Niederschlag benötigt, um die Konidien von Blatt zu Blatt Richtung Ähre befördern zu können.

Direkte Untersuchungen zum Einfluss des Niederschlages auf den Toxingehalt von Stroh liegen bis jetzt nicht vor.

Willcock und Magan (2001) fanden bei der Untersuchung von sterilem Stroh heraus, dass die schnellste Besiedlung der Internodien mit *F. culmorum* bei einem aw von 0,995 und 0,98 stattfand.

Temperatur

Optimale Temperaturverhältnisse zwischen 20 und 30°C sorgen für die Bildung und Reifung des Inokulums. Die Toleranzgrenzen der einzelnen *Fusarium*-Arten variieren jedoch. Der ideale Temperaturbereich für *F. graminearum* liegt zwischen 24 und 28°C (Mansfield et al., 2005). Nach Schaafsma und Hooker (2007) reduzieren Temperaturen von mehr als 32°C und weniger als 12°C die DON-Kontamination von Getreidekörnern. Für eine Halminfektion sind bisher keine optimalen Temperaturverhältnisse bekannt.

Lagerung

Der Feuchtigkeitsgehalt von Getreide sollte zur Einlagerung (Weizen, Gerste, Hafer) nicht über 14-14,5 % liegen (Magan und Aldred, 2007). In besonders regenreichen Jahren kann aber auch das Wachstum der so genannten Feldpilze, wie z.B. *Fusarium*, während der Lagerung beobachtet werden.

Ein in Deutschland von Birzele et al. (2000) durchgeführter Lagerversuch belegt bei einer 6-wöchigen Lagerung von Getreidekörnern bei einem Wassergehalt von 17 % und 20 % eine Zunahme der DON Konzentration. Der höchste Anstieg im DON Gehalt wurde bei der feuchteren Lagerung bei einem Wassergehalt von 20 % in den letzten beiden Versuchswochen beobachtet.

Bei der Untersuchung von Rohweder et al. (2011) nimmt während der Lagerung des Strohs im Freien der Trockensubstanzgehalt signifikant ab im Vergleich zur Innenlagerung, z.B. in einer Scheune mit Werten von bis zu 47 %. Diese Bedingungen können einen signifikanten Anstieg des ZON initiieren (Rohweder et al., 2011). Die Toxine DON, 15-ADON, 3-ADON konnten in dem geernteten Getreidestroh detektiert werden, zeigten jedoch in dem anschließenden Versuch keinen Einfluss der Lagerung.

Eine Zunahme der *Fusarium*-Besiedlung von Stroh nach der Ernte ist nach Köhl und Waalwijk (2007) nicht zu erwarten. „Nach der Ernte nahm *Fusarium graminearum* in den Halmteilen nicht weiter zu, sondern überraschenderweise sogar ab.“ (Köhl und Waalwijk, 2007)

2.4.3.2 Ackerbauliche und pflanzenbauliche Maßnahmen

Strohart

Die Getreidearten Weizen, Gerste, Triticale, Roggen und Hafer unterscheiden sich in ihrer Besiedlung mit Erregerpopulationen und ihrer Anfälligkeit für Kontaminationen mit *Fusarium*-Toxinen. Untersuchungen zu Toxinspektren wurden bislang ausschließlich bei Getreidekörnern durchgeführt.

F. graminearum ist die dominierende *Fusarium*-Art auf Weizenkörnern und auch *F. culmorum* kann auf dieser Getreideart identifiziert werden (Köhl und Waalwijk, 2007 und Mastél und Michels, 2000). Eine weitere Untersuchung in Süddeutschland wurde von Müller et al. (1998, 2001) an Weizenkörnern durchgeführt. DON (86%) war das

Literaturübersicht

dominierende Toxin, gefolgt von NIV (38%), 3-ADON (24%), ZON (20%), HT-2 (6%) und T-2 (6%).

Das Erregerspektrum von Gerste unterscheidet sich von dem von Weizen. Vor allem die Arten *F. poae*, *F. tricinctum*, *F. sporotrichioides* und *F. avenaceum* treten in der Gerste verstärkt auf, die die hochtoxischen Typ A-Trichothecene HT-2 und T-2 bilden können. Lediglich *F. culmorum* konnte als DON-Bildner häufiger nachgewiesen werden (Heß et al., 2009). Auch Mastél und Michels (2000) beobachteten *F. sporotrichioides* als dominierende Art in Gerste. Diese Unterschiede in den Erregerpopulationen der beiden Getreidearten erklärt auch die geringere DON-Kontamination der Gerste gegenüber dem Weizen. Edwards (2009) untersuchte in den Jahren 2002 bis 2005 446 Gerstenkörnerproben auf ihren Toxingehalt und detektierte DON in 57 %, NIV in 25 %, HT-2 in 36 % und T-2 in 12 % der Proben. In der Studie von Müller et al. (1997) zeigte sich zwischen den Jahren 1987 bis 1992 ein höherer DON-Gehalt in Gerstenkörnern von 71-98 %. NIV wurde in 11-41 %, HT-2 in 0-9 %, T-2 in 2-29 % und ZON in 7-68 % der Gerstenkornproben detektiert.

Hafer ist besonders für die Typ-A produzierenden *Fusarium*-Arten anfällig (Perkowski und Basinski, 2002). Über die Kontamination von Haferstroh mit *Fusarium*-Pilzen sind bislang kaum Daten bekannt. Untersuchungen von Torp und Nierenberg (2004) bestätigen das bevorzugte Auftreten von *F. langsethiae* auf den Körnern der Haferpflanze. Im Vergleich zu Gersten- und Weizenkörnern kann in Haferkörnern in der Regel ein höherer Befall mit Trichothecenen des Typ A festgestellt werden (Schollenberger et al., 2003; Müller et al., 1998; Gareis et al., 1989; Miedaner, 1999). Töpfer (2006) ermittelte in ihren Untersuchungen an Haferstroh eine Kontamination mit 700 µg/kg DON.

Über die Strohfraktion der Getreidepflanze sind bislang kaum Untersuchungen zur Häufigkeit des Vorkommens von Toxinen durchgeführt worden. Die Datenbasis auf diesem Forschungsgebiet ist sehr begrenzt.

Töpfer et al. (2007) untersuchten sowohl den DON- als auch den ZON-Gehalt von Stroh unterschiedlicher Getreidearten. Im Mittel wurde in Triticale, gefolgt von Weizen und Hafer, die höchsten Werte beobachtet. In Gerstenstroh wurde kein DON nachgewiesen. Auch das ZON wies in Triticalestroh höhere Mittelwerte auf im Vergleich zum Weizenstroh.

Vorfrucht

Untersuchungen von Getreideproben von Beck und Lepschy (2000) über mehrere Erntejahre zeigten eine stark befallsfördernde Wirkung der Vorfrucht Mais. Maisernterückstände auf der Bodenoberfläche gelten nach Ansicht der Autoren als entscheidendes Kriterium für eine Infektion der Getreideblüte mit *F.graminearum*. Maisstroh verrottet auf der Bodenoberfläche auf Grund seiner Partikelgröße nach dem Häckseln nur schwer und eignet sich deshalb bestens als Nährmedium für Pilze. Körnermais hinterlässt im Vergleich zum Silomais nach der Ernte mehr organisches Material und der Pilz hat eine längere Wachstumsperiode, daher erweist sich der Körnermais als schlechteste Vorfrucht (Meinert, 2003). Auch Untersuchungen von Maisstoppeln (Ernterückstände) von Köhl und Waalwijk (2007) bestätigten einen Befall hauptsächlich mit *F.graminearum* und *F.avenaceum*. Dill-Macky und Jones (2000) fanden bei einer Fruchtfolge von Weizen nach Mais höhere DON-Konzentrationen im Vergleich zu einer Fruchtfolge von Weizen nach Weizen. Ein erhöhter Infektionsdruck durch die Vorfrucht Mais ist bei Stroh bislang nicht untersucht worden.

Bodenbearbeitung

Die Art der Bodenbearbeitung kann ausschlaggebend für Infektionen der Pflanze mit *Fusarium* sein. Koch et al. (2006) führten Untersuchungen zum Einfluss der Bodenbearbeitung auf den DON-Gehalt von Winterweizenkörnern durch und beobachteten eine erhöhte Infektionsgefahr nach Direktsaat, also ohne wendende Bodenbearbeitung. Die DON-Konzentration war um das 2,7-fache höher bei der Direktsaat im Vergleich zur wendenden Bodenbearbeitung mit dem Pflug. Untersuchungen von Hirschfeld et al. (2005) zum Einfluss der Bodenbearbeitung auf den *Fusarium*-Gehalt im Getreide kamen zu ähnlichen Ergebnissen. Die Bodenbearbeitung mit dem Pflug konnte den DON-Gehalt der Triticale um mehr als das Zweifache verringern im Vergleich zur minimalen Bodenbearbeitung mit dem Grubber. Die Einarbeitung der Inokulumquelle in tiefere Bodenschichten unterbindet die Freisetzung von Konidien und Ascosporen und somit die Infektion der Getreidepflanze.

Über die Auswirkung der Bodenbearbeitung auf den Toxingehalt von Stroh liegen nur wenige Daten vor. Durch dieselben Voraussetzungen (Einarbeitung der Inokulumquelle) für beide Fraktionen könnte die Bodenbearbeitung auf den Toxingehalt von Stroh auch einen Effekt hervorrufen. Erste Ergebnisse ermittelten Berner et al. (2005) mit ihren Untersuchungen zum Einfluss der Bodenbearbeitung

Literaturübersicht

auf den DON-Gehalt von Weizenkörnern und Weizenstroh. Die wendende Bodenbearbeitung mit dem Pflug führte sowohl bei den Körnern als auch beim Stroh zu einer Reduzierung des DON-Gehaltes.

Tabelle 6: Einfluss der Bodenbearbeitung auf den DON-Gehalt von Weizenkörnern und Weizenstroh (Berner et al., 2005)

	DON-Gehalt im Weizenkorn (mg/kg)	DON-Gehalt im Weizenstroh (mg/kg)
Pflugvariante	0,07	0,31
Reduzierte Bodenbearbeitung	0,12	0,48

2.4.4 Maskierte Toxine

Pflanzen sind in der Lage, sich durch Abwehrmechanismen gegen das Eindringen von Fremdstoffen oder deren toxische Wirkung zu schützen. Um die Toxizität der Mykotoxine zu reduzieren, werden diese chemisch modifiziert (Gareis, 1994). Dieser chemische Prozess der Detoxifizierung kann durch Konjugation der Mykotoxine an polare Substanzen wie Zucker, Aminosäuren oder Sulfate geschehen, die anschließend in Vakuolen gelagert werden können (Berthiller et al., 2005). Diese gebunden/modifizierten Toxine werden als maskiert bezeichnet, da sie aufgrund ihrer veränderten Form in der Routineanalytik nicht erfasst werden.

Mitte der achtziger Jahre wurde man auf die maskierten Toxine aufmerksam, da klinische Beobachtungen von Mykotoxikosen in Nutztieren oft nicht mit dem geringen Gehalt an Toxinen im Futter korrelierten.

Nach Versuchen von Gareis (1994) konnte bewiesen werden, dass Schweine in der Lage sind, nach oraler Gabe von ZON-Glucosid dieses in freies Zearalenon vollständig aufzuspalten. Die Mikroflora im Duodenum sorgt für die Freisetzung des ZON aus der Verbindung und erhöht somit die Bioverfügbarkeit.

Ähnliche Ergebnisse sind auch von dem DON-3-Glucosid bekannt, welches durch einige Intestinalbakterien zum DON umgewandelt werden kann (Berthiller et al., 2009).

Somit sollten die maskierten Toxine als potentielle Gefahrenquelle in der Tierernährung angesehen werden.

Um Erkenntnisse zur Toxinwirkung und zum Abbau und zur Umwandlung von Toxinen im Tier zu gewinnen, muss ein *in vitro*-Test die natürlichen Bedingungen im Verdauungstrakt der Tiere möglichst nah widerspiegeln. Döll et al. (2004) stellten in ihren Untersuchungen zur Ermittlung der Wirkeffizienz von Detoxifikationsmitteln den Verdauungstrakt nach, indem sie den pH-Wert, die Temperatur und auch die Verweildauer des Verdauungssaftes in den unterschiedlichen Abschnitten des Verdauungstraktes wie im natürlichen Organismus des Schweins in einem *in vitro* System einstellten. Um Maskierungen von Toxinen im tierischen Verdauungstrakt aufdecken zu können, kann ein *in vitro*-Modell wie oben beschrieben genutzt werden.

2.4.5 Toxizität der *Fusarium*-Toxine

Anhand der Tabelle 7 ist zu erkennen, dass gerade die Trichothecentoxine des Typ-A eine um ein Vielfaches höhere Toxizität besitzen im Vergleich zu DON und ZON. Somit können auch vergleichsweise niedrige Toxinkonzentrationen eine toxische Wirkung auf das Tier ausüben. DAS besitzt unter den Toxinen der SCIRP Gruppe die höchste Toxizität. Untersuchungen von Richardson et al. (1990) belegen eine um ein Vielfaches höhere hauttoxische Wirkung des DAS im Vergleich zum MAS. Die Toxizität der SCIRP Gruppe ist mit der der Toxine HT-2 und T-2 annähernd vergleichbar (Schollenberger et al., 2007).

Literaturübersicht

Tabelle 7: Orale akute Toxizität einiger *Fusarium*-Toxine und Ochratoxin A (Sinha und Bhatnagar, 1999; Pfohl-Leszkowicz und Manderville, 2007; Kuiper-Goodman et al., 1987)

Toxin	Tierart	LD ₅₀ (mg/kg)
<u>Typ-B Trichothecene</u>		
DON	Maus	46,0
3-ADON	Maus	34,0
15-ADON	Maus	34,0
NIV	Ratte	19,5
FUS-X	Maus	4,5
	Huhn	33,8
<u>Typ-A Trichothecene</u>		
T-2	Ratte	5,2
	Huhn	5,0
HT-2	Huhn	7,2
DAS	Ratte	7,3
	Huhn	3,8
ZON	Ratte	5490
OA	Ratte	30,3

In der Natur kommen eine Vielzahl von *Fusarium*-Toxinen vor, doch routinemäßig erfasst werden im kleinkörnigen Getreide meist nur DON und ZON. Da diese zwei Toxine auch als Gradmesser für mögliche Belastungen gelten, werden sie als „Leittoxine“ bezeichnet.

Eine darüber hinausgehende zusätzliche Erfassung der Trichothecene des Typs A neben den Leittoxinen scheint durch deren zumeist höhere Toxizität dringend notwendig.

2.4.6 Auswirkungen auf leistungsphysiologische Parameter beim landwirtschaftlichen Nutztier

Trichothecene sind - wie erwähnt - zytotoxische Substanzen. Sie können im Organismus zu einer Hemmung der Proteinbiosynthese eukaryontischer Zellen führen,

Literaturübersicht

verursacht durch die Bindung der Trichothecene an die ribosomale 60S-Untereinheit der Polypeptidyltransferase. Die Peptidkettenverlängerung kann durch die Auflösung der Polyribosomenstruktur am Anfangsschritt der Translation gestört sein oder auch durch eine Fixierung der Polyribosomen in der Elongation-Terminationsphase. Daraufhin kommt es zum Ablösen von der RNA und einem Mangel an Enzymen, welcher negativ die DNA-Synthese beeinflusst. Zellen mit einer hohen Teilungsrate, wie z.B. die des Immunsystems, sind davon besonders betroffen (Dänicke et al., 2/1999). Für die Toxizität verantwortlich ist die 12,13-epoxid Gruppe des Trichothecenmoleküls (Feinberg und Mc Laughlin, 1989).

Das zytotoxische Potential der Trichothecene zeigt sich in starken Irritationen der Schleimhaut nach oraler Aufnahme mit Symptomen wie Übelkeit und blutigem Durchfall. Nekrosen des Magen- und Darmepithels werden häufig beschrieben.

Die Schwächung der körpereigenen Abwehr kann zu einer höheren Anfälligkeit gegenüber anderen Krankheiten führen (Morgavi et al., 2007). Auch eine höhere Empfindlichkeit gegenüber Infektionskrankheiten wird nach DON-Intoxikationen festgestellt. Diese sind auf die entzündungsfördernde Reaktion zurückzuführen (European Mycotoxin Seminar Series, 2005).

Versuche mit DON belastetem Futter an Schweinen zeigten steigende IgA-Konzentrationen im Blutserum (Drochner et al., 2004). Nephropathien können die Folge sein. In einem von Drochner et al. (2004) durchgeführten Versuch wurden 36 Schweine mit einem Gewicht von ca. 9,8 kg in vier Behandlungsgruppen mit jeweils 9 Tieren aufgeteilt. Die erste Gruppe bekam eine toxisfreie Diät (0 µg/kg DON), die zweite Gruppe Futter mit einem Gehalt von 300 µg/kg DON, die dritte Futter mit einem Gehalt von 600 µg/kg DON und die vierte Gruppe Futter mit einem DON-Gehalt von 1200 µg/kg. Der Versuchszeitraum betrug 56 Tage. Mit zunehmendem DON-Gehalt wurde eine signifikante Reduzierung des Glucoselevels im Blut festgestellt. Schon ab einem Gehalt von 600 µg DON/kg Futter zeigte sich eine signifikante Erhöhung der Immunglobulin A (IgA) Konzentration im Blut der Versuchstiere. Auch eine dosisabhängige Zunahme des Hämoglobinlevels wurde statistisch nachgewiesen. Dieser Effekt war höher in der Versuchsgruppe der Tiere, die 300 µg DON/kg Futter erhielten im Vergleich zu den Tieren, die 1200 µg DON/kg Futter bekamen.

Die Integrität der Leber kann durch DON beeinflusst werden. Drochner et al. (2006) beobachteten eine dosisabhängige, signifikante Zunahme des Leberparameters

Literaturübersicht

Aspartataminotransferase im Blut von Schweinen nach DON-Gaben über das Futter in unterschiedlichen Dosierungen. In einer zweijährigen Studie an Mäusen, denen über das Futter DON in Höhe von 0, 1, 5 und 10 mg/kg verabreicht wurde, konnte eine Abnahme des relativen Lebergewichtes bei einer DON-Konzentration von 5 und 10 mg/kg beobachtet werden (JECFA, 2001).

Je nach aufgenommener Toxinmenge und Belastung unterscheidet man zwischen der akuten und der chronisch toxischen Wirkung. Akute DON-Intoxikationen (intravenös) können beim Schwein binnen weniger Minuten zum Erbrechen führen (Goyarts und Dänicke, 2006). Goyarts und Dänicke (2006) führten Untersuchungen zur chronischen (DON-Gabe über mehr als 4 Wochen) und akuten (einmalige DON-Gabe) DON Wirkung (oral) an Schweinen durch und ermittelten eine Eliminationshalbwertszeit von $6,3 \pm 2,4$ h und $5,3 \pm 2,4$ h in der chronisch mit DON und in der akut mit DON gefütterten Gruppe. Die mittlere Invasionshalbwertszeit lag bei $0,38 \pm 0,26$ h in der chronisch mit DON gefütterten Gruppe und bei $0,73 \pm 0,61$ h in der akut mit DON gefütterten Gruppe. In der praktischen Nutztierhaltung dürften jedoch chronische Intoxikationen deutlich häufiger auftreten als akute Intoxikationen, da in der Mischfutterindustrie stetige Kontrollen von Getreide- und Mischfutterchargen auf Mykotoxine durchgeführt werden.

Je nach Tierart, dem Auftreten der einzelnen Mykotoxine im verabreichten Futtermittel und ihrer Toxizität lassen sich unterschiedliche Befunde feststellen.

Gerade Monogastriden sind durch ihre eingeschränkte Möglichkeit zur Degradierung der Toxine im Vergleich zu Wiederkäuern, Hühnern und Pferden gefährdet (siehe Tabelle 8).

Mykotoxikosen, also durch Mykotoxine hervorgerufene Vergiftungserscheinungen stellen gerade bei der Tierart Schwein ein ernst zu nehmendes Problem dar. Besonders diese Tierart reagiert unter den landwirtschaftlichen Nutztieren am sensitivsten auf mit *Fusarium*-Toxinen belastetes Futter.

Die Aufnahme von Mykotoxinen kann über den Magen-Darmtrakt erfolgen oder inhalativ über die Lunge. Es liegen kaum Studien vor, in denen diese beiden Aufnahmewege direkt verglichen wurden. Amuzie et al. (2008) beobachteten bei Mäusen nach intranasaler Exposition von DON eine höhere DON-Plasmakonzentration im Vergleich zur oralen Aufnahme dieses Toxins.

Literaturübersicht

Besonders in der Schweinemast führen durch Toxine hervorgerufene geringere Fut-
teraufnahmen und geringere tägliche Zunahmen zu Ertragseinbußen. Verursacht
wird dies auch durch den geringeren Nährstofftransport durch die entzündete Darm-
schleimhaut. Denn Mykotoxine können Irritationen des Gastrointestinaltraktes verur-
sachen und so den Stofftransport durch die Darmwand verringern (Hunder et al.,
1991). Wird DON in sehr hohen Dosen im Organismus resorbiert, erreicht es im Ge-
hirn die *Area postrema* und löst über Dopaminrezeptoren Brechreiz aus. Auf Grund
dieser Symptomatik wird es auch als „Vomitoxin“ bezeichnet (European Mycotoxin
Seminar Series, 2005).

Tabelle 8: Empfindlichkeit landwirtschaftlicher Nutztiere gegenüber Mykotoxinen (Dänicke et al., 1999)

	Schwein		Rind	Huhn
	Zucht	Mast		
DON	++	+++	-	+
ZON	+++	++	-	+
OA	++	+++	-	++

Empfindlichkeit: +++ = stark, ++ = deutlich, + = mäßig, - = gering (Die Rangierung bezieht sich zwi-
schen den Mykotoxinen innerhalb einer Tierart auf die praktische Bedeutung und zwischen den Tierar-
ten auf vergleichbare Toxinkonzentrationen im Futter)

Die geringere Toxizität des DON (und weiterer Trichothecentoxine) bei Wiederkäuern
(siehe Tabelle 8) im Vergleich zu Monogastriden lässt sich durch die Möglichkeit der
Transformation durch die im Vormagensystem vorhandenen Mikroorganismen erklä-
ren. So kann unter anderem das DON-Molekül durch Öffnung des Epoxids unter
Wirkung des Enzyms Epoxidreduktase zum so genannten 12,13-de-
epoxydeoxynivalenol (DOM 1) degradiert werden. Durch die Degradierung dieser für
die Toxizität verantwortlichen Epoxidgruppe weist das DOM 1 eine geringere schäd-
liche Wirkung auf (Diaz, 2005).

Literaturübersicht

Tabelle 9: Auswirkungen unterschiedlich hoher Trichothecengehalte im Futter auf das Krankheitsbild verschiedener Tierarten (LfL, 2007)

Tierart	Gehalte mg/kg Futter	Krankheitserscheinungen
Rinder:		
- Kälber	über 10	Blutgerinnung beeinträchtigt
- Milchkühe	über 10	Übergang in die Milch
	über 5	geringere Futterraufnahme und Milchleistung
Schafe	über 10	weniger Leukozyten höhere Krankheitsanfälligkeit
Geflügel:		
- Hühner	über 20	Zunahmen und Lebendgewicht reduziert
	über 5	Rückstände in Eiern
	über 0,4	geringere Futterraufnahme Futter weniger bevorzugt
- Puten	bis 5	werden noch toleriert
Schweine	über 1	Futterverweigerung, geringere Zunahmen und Durchfall möglich

Das ZON hat in erster Linie eine östrogene Wirkung. Auch bei diesem Toxin ist das Schwein, insbesondere Sauen jeden Alters, das empfindlichste Nutztier. Die beobachteten Effekte, wie z.B. die Schwellung und Rötung der Vulva und die Schwellung des Gesäuges werden durch die Interaktion des ZON mit dem Östrogenrezeptor verursacht. Des Weiteren kann es zu Fruchtbarkeitsstörungen durch Hemmung der Entwicklung des Gelbkörpers (Corpus luteum) kommen. Stark kontaminiertes Futter kann bei Ebern zu einer Atrophie des Hodens und einer geringeren Spermienkonzentration führen (LfL, 2007).

Literaturübersicht

Nach einer oralen Exposition wird ZON in Geweben wie der Leber metabolisiert. Die Hauptmetaboliten sind das alpha-Zearalenol (alpha-ZOL) und das beta-Zearalenol (beta-ZOL), wobei das Verhältnis von alpha- zu beta- ZOL variiert (EFSA, 2004). Anders als beim DON steigt nach der Metabolisierung des ZON zum alpha-ZOL im Organismus dessen östrogene Aktivität. Verursacht wird dies durch die höhere Bindungsaffinität des alpha-ZOL im Vergleich zum ZON. Je nach Tierart ist das Ausmaß der Umwandlung des ZON in das toxischere alpha-ZOL unterschiedlich (European Mycotoxin Seminar Series, 2005). ZON besitzt auch eine kanzerogene Wirkung, wobei man davon ausgeht, dass Tumore eine Konsequenz des östrogenen Effekts des Toxins darstellen (JECFA, 2001).

Tabelle 10: Auswirkungen unterschiedlich hoher ZON-Gehalte im Futter auf das Krankheitsbild verschiedener Tierarten (LfL, 2007)

Tierart	Gehalte mg/kg Futter	Krankheitserscheinungen
Schwein:		
- Ferkel	über 0,05	Zystenbildung am Eierstock
- Jungsauen	über 3,6	Fruchtbarkeitsstörungen
Rinder:		
- Kalbinnen	über 1,5 zusammen mit 1,0 Trichothecenen	vorzeitige Euterentwicklung und Sterilität
- Milchkühe	über 14,0 über 25,0	Fruchtbarkeitsstörungen Übergang in die Milch (0,006%)
Puten:	über 800	Balzverhalten verändert und stärker verfärbte Fleischzapfen und Kehllappen

Akute Ochratoxikosen durch das von *Aspergillus* und *Penicillium* produzierte OA äußern sich in Form von Nierenerkrankungen, Darmkatarrh und Immunsuppression. 0,5

mg/kg OA können bei Schweinen zu einer eingeschränkten Nierenfunktion führen. Bei Konzentrationen von 1 – 4 mg/kg wurden eine Hellfärbung der Leber und Nekrosen beobachtet. In den Zielzellen verlieren die Peroxisomen ihre Membranbeschaffenheit, wodurch deren Inhalt ins Cytosol gelangt. Dies führt bei den Tieren zu einer erhöhten Wasseraufnahme und Urinabgabe. *In vitro* führt OA zur Inhibition der Proliferation der T- und B-Lymphozyten. Ab 2 mg/kg kann es zu Gewichtsverlusten kommen. Kanzerogene Wirkungen wurden vor allem bei Nagern beschrieben (Pfohl-Leszkowicz und Manderville, 2007).

Die lange Halbwertszeit dieses Toxins wird durch die Bindung an Proteine erreicht. Protozoen im Pansen der Wiederkäuer sorgen für eine schnelle Degradierung des OA zu dem weniger toxischen Ochratoxin- α , sodass die Sensitivität dieser Tierart gegenüber OA sehr gering ist (siehe Tabelle 8).

In Studien, in denen die Wirkung von Mykotoxinen im Tier untersucht wird, werden häufig nur die Toxine DON und ZON im Futter ermittelt. Es treten in diesen Studien jedoch auch oftmals unerwartete Effekte auf oder es bleiben erwartete Effekte aus. Als Erklärung für diese Effekte werden dann Mischkontaminationen der Futtermittel vermutet.

Über die additiven oder synergistischen Effekte mehrerer Toxine auf den Organismus beim Schwein ist bislang nur sehr wenig bekannt.

Lusky et al. (1997) konnten bei ihrer Studie an Schweinen bei einer gleichzeitigen Gabe von 0,25 mg ZON und 0,1 mg OA pro kg Futter über eine Dauer von 90 Tagen keinen Einfluss auf die Tiergesundheit feststellen. Ein Potenzierungseffekt der beiden Toxine konnte nicht nachgewiesen werden.

2.5 Mykotoxine im Futter und Futtermittelrecht

In Deutschland existieren für die *Fusarium*-Toxine sowie OA keine Höchstwerte in Futtermitteln. Von der EU wurden im Jahr 2006 lediglich wissenschaftlich abgeleitete Orientierungswerte für Gehalte an DON, ZON, OA und Fumonisin im Futter für Schweine, Rinder und Geflügel herausgegeben. Diese von der EU festgelegten Richtwerte wurden mit dem Ziel eingeführt, die Leistung und Gesundheit der Tiere unter den üblichen Produktionsbedingungen nicht zu beeinträchtigen.

Literaturübersicht

Bei der Unterschreitung der Orientierungswerte in der Futtermittelration soll keine Beeinträchtigung der Leistung und Gesundheit der Tiere zu erwarten sein.

Erstmalig wurden hier nicht nur die Gehalte in der Gesamttagesration berücksichtigt, sondern auch Einzelfuttermittel. So liegt der EU Orientierungswert für DON im Stroh bei 8 mg/kg, für ZON bei 2 mg/kg und für OA bei 0,25 mg/kg.

Da Orientierungswerte keine Höchstgehalte im futtermittelrechtlichen Sinn darstellen, gilt für die Toxine auch nicht das Verschneidungsverbot.

Da für die Toxine HT-2 und T-2 bislang nur wenige Daten über das Vorhandensein in zur Verfütterung an Tiere bestimmte Erzeugnisse vorliegen, wurden bis zum jetzigen Zeitpunkt noch keine Orientierungswerte herausgegeben.

Literaturübersicht

Tabelle 11: Auszug aus den Richtwerten der EU (2006) zu Mykotoxingehalten in Futtermitteln

Mykotoxin	Zur Fütterung bestimmte Erzeugnisse	Richtwerte in mg/kg für ein Futtermittel mit einem Feuchte- gehalt von 12 %
Deoxynivalenol	Futtermittelausgangserzeugnisse (*)	
	- Getreide und Getreideerzeugnisse (**) außer Maisnebenprodukten	8
	- Maisnebenprodukte	12
	Ergänzungs- und Alleinfuttermittel außer:	5
	- Ergänzungs- und Alleinfuttermittel für Schweine	0,9
	- Ergänzungs- und Alleinfuttermittel für Kälber (< 4 Monate), Lämmer und Ziegenlämmer	2
Zearalenon	Futtermittelausgangserzeugnisse (*)	
	- Getreide und Getreideerzeugnisse (**) außer Maisnebenprodukten	2
	- Maisnebenprodukte	3
	Ergänzungs- und Mischfutter	
	- Ergänzungs- und Alleinfuttermittel für Ferkel und Jungsauen	0,1
	- Ergänzungs- und Alleinfuttermittel für Sauen und Mastschweine	0,25
	- Ergänzungs- und Alleinfuttermittel für Kälber, Milchkühe, Schafe (einschließlich Lämmer) und Ziegen (einschließlich Ziegenlämmer)	0,5
Ochratoxin A	Futtermittelerzeugnisse (*)	
	- Getreide und Getreideerzeugnisse (**)	0,25
	Ergänzungs- und Alleinfuttermittel	
	- Ergänzungs- und Alleinfuttermittel für Schweine	0,05
	- Ergänzungs- und Alleinfuttermittel für Geflügel	0,1

Literaturübersicht

(*) Bei Getreide und Getreideerzeugnissen, die unmittelbar an Tiere verfüttert werden, ist auf Folgendes zu achten: Ihre Verwendung in einer Tagesration sollte nicht dazu führen, dass das Tier einer höheren Menge an diesen Mykotoxinen ausgesetzt ist als bei einer entsprechenden Exposition, wenn in einer Tagesration nur die Alleinfuttermittel verwendet werden.

(**) Der Begriff „Getreide und Getreideerzeugnisse“ umfasst nicht nur die unter der Überschrift 1 „Getreidekörner, deren Erzeugnisse und Nebenerzeugnisse“ des nicht ausschließlichen Verzeichnisses der wichtigsten Futtermittel-Ausgangserzeugnisse in Teil B des Anhangs zur Richtlinie 96/25/EG des Rates vom 29. April 1996 über den Verkehr mit Futtermittelausgangserzeugnissen (ABl. L 125 vom 23.5.1996, S. 35) aufgeführten Futtermittelausgangserzeugnisse, sondern auch andere aus Getreide gewonnene Futtermittelausgangserzeugnisse, vor allem Getreidegrünfutter und -raufutter.

(***) Der Begriff „Mais und Maiserzeugnisse“ umfasst nicht nur die aus Mais gewonnenen Futtermittelausgangserzeugnisse, die unter der Überschrift 1 „Getreidekörner, deren Erzeugnisse und Nebenerzeugnisse“ des nicht ausschließlichen Verzeichnisses der wichtigsten Futtermittelausgangserzeugnisse in Teil B des Anhangs zur Richtlinie 96/25/EG aufgeführt sind, sondern auch andere aus Mais gewonnene Futtermittelausgangserzeugnisse, vor allem Maisgrünfutter und -raufutter.

3 Problemstellung

In der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung wird Stroh als Einstreumaterial und als Strukturkomponente in Futterrationen eingesetzt. Als Folge einer unzureichenden Datenbasis ist eine Abschätzung der Mykotoxin-Exposition von Nutztieren durch Getreidestroh kaum möglich. Untersuchungen von White et al. (2007) und Berner et al. (2005) deuten darauf hin, dass mit einer erhöhten Kontamination der Getreidekörner auch die Restfraktion der Getreidepflanze hohe Toxinkonzentrationen enthalten kann.

Diese Untersuchungen stützen sich jedoch fast ausschließlich auf die Toxine DON und ZON, daher werden diese Toxine als Leittoxine angesehen. Mit einer Produktion von weiteren Toxinen ist zu rechnen. Bis jetzt sind noch keine Untersuchungen zum Vorkommen von Typ A-Trichothecenen wie HT-2, T-2 und den Toxinen der SCIRP Gruppe im Getreidestroh bekannt.

Hier besteht noch ein großer Forschungsbedarf, da gerade die hochtoxischen A-Trichothecene ein erhebliches Gesundheitsrisiko bergen. Daher besteht ein großes Interesse an gesicherten Erkenntnissen zum Vorkommen eines breiten Spektrums an Toxinen im Getreidestroh.

Ziel des Versuches war es, durch eine repräsentative Erhebung die Toxinkontamination des Getreidestrohs in der gesamten Bundesrepublik Deutschland zu ermitteln, um dadurch das Expositionsrisiko landwirtschaftlicher Nutztiere durch das Futtermittel Stroh besser einschätzen zu können. Dazu wurden insgesamt 201 Strohproben auf ein Spektrum an 13 Trichothecentoxinen sowie ZON und OA in Zusammenarbeit mit dem FLI Braunschweig analysiert.

Durch eine repräsentative Probenahme, durchgeführt von amtlichen Probenehmern und eine repräsentative Anzahl an Proben sollte eine Datenbasis für gesetzliche Regelungen geschaffen werden.

Es wurde Stroh von zwei Erntejahren untersucht, um Jahresschwankungen miterfassen zu können, da zahlreiche Studien zum Teil hohe Schwankungen im *Fusarium*-Toxinaufkommen in Getreidekörnern zwischen einzelnen Erntejahren belegen. Um diese Jahresschwankungen auch für die Strohfraktion der Getreidepflanze zu analysieren, wurden die beiden Erntejahre 2007 und 2008 untersucht.

Problemstellung

Eine Reihe von Untersuchungen bestätigen einen Einfluss des Klimas und der geographischen Lage auf den Toxingehalt von Getreidekörnern. Um den möglichen Einfluss der geographische Lage innerhalb Deutschlands auf den *Fusarium*-Toxingehalt von Getreidestroh beurteilen zu können, wurden Proben aus allen Bundesländern ausgewertet und regional verglichen.

Auf den Körnern unterschiedlicher Getreidearten wurden unterschiedliche *Fusarium*-Arten und damit auch unterschiedliche *Fusarium*-Toxine detektiert. Die erhaltenen Strohproben wurden deshalb separat nach Getreideart untersucht, um mögliche Unterschiede im Toxinspektrum analysieren zu können.

Einflussfaktoren wie pflanzen- und ackerbauliche Maßnahmen wurden für die Strohfraction kaum untersucht und nachgewiesen, sodass hierzu kaum Aussagen getroffen werden können.

Um Informationen zum Einfluss acker- und pflanzenbaulicher Maßnahmen auf den Toxingehalt von Stroh zu erhalten, wurde zu jeder Strohprobe ein Fragebogen ausgefüllt, dessen Informationen mit den ermittelten Toxingehalten korreliert wurden.

Es sollten Anhaltspunkte gewonnen werden, ob der Toxingehalt im Stroh mit zunehmender Lagerdauer steigt. Durch Korrelation der analysierten Toxingehalte mit der Lagerdauer sollten Informationen ermittelt werden.

Die Bioverfügbarkeit von Mykotoxinen aus zellwandreichen Futtermitteln ist bislang kaum untersucht. Die Freisetzung potentiell vorhandener maskierter Toxine aus den Strohproben sollte durch chemische Hydrolyse mit Hilfe von *in vitro*-Modellen untersucht werden, um eine mögliche Freisetzung im Gastrointestinaltrakt und die damit verbundene höhere Toxinbelastung im Vergleich zur Routineanalytik ermitteln zu können.

4 Material und Methoden

4.1 Sicherheitsmaßnahmen und Entgiftung

Die in diesem Projekt untersuchten Proben waren potenziell mit Mykotoxinen belastet. Vorsichtshalber wurden deshalb alle Arbeitsschritte unter einem Abzug durchgeführt und bei allen Arbeitsprozessen Laborhandschuhe getragen. Außerdem wurde bei jedem Arbeitsschritt mit dem potenziell verpilzten Material, bei dem es zur Staubaufwirbelung kommen konnte (z.B. Mahlen), eine Atemschutzmaske getragen.

Laborgeräte und Glasgeräte, die mit Probenmaterial in Kontakt kamen, wurden mit einer 4% aktiven Chlor enthaltenden Natriumhypochloritlösung (Lauge:Wasser = 1:2) mindestens 2 Stunden entgiftet. Anschließend wurden die Gegenstände mit Wasser abgespült und in einer Laborspülmaschine gereinigt.

Alle Einwegmaterialien wurden in Plastiktüten gesammelt und anschließend in dicht verschlossenen Gefäßen als Sondermüll entsorgt.

4.2 Versuch

4.2.1 Versuchsaufbau

In den Erntejahren 2007 und 2008 wurde ein deutschlandweiter Screeningversuch mit amtlich entnommenen Strohproben durchgeführt um die Belastung von Getreidestroh mit *Fusarium*-Toxinen und OA zu ermitteln.

Insgesamt wurden die Proben auf ein Spektrum an 13 Trichothecentoxinen sowie ZON und OA untersucht. Zusätzlich fand für ausgewählte Proben eine Analyse auf maskierte Toxine und eine Ergosterinbestimmung zur Ermittlung des Verpilzungsgrades statt.

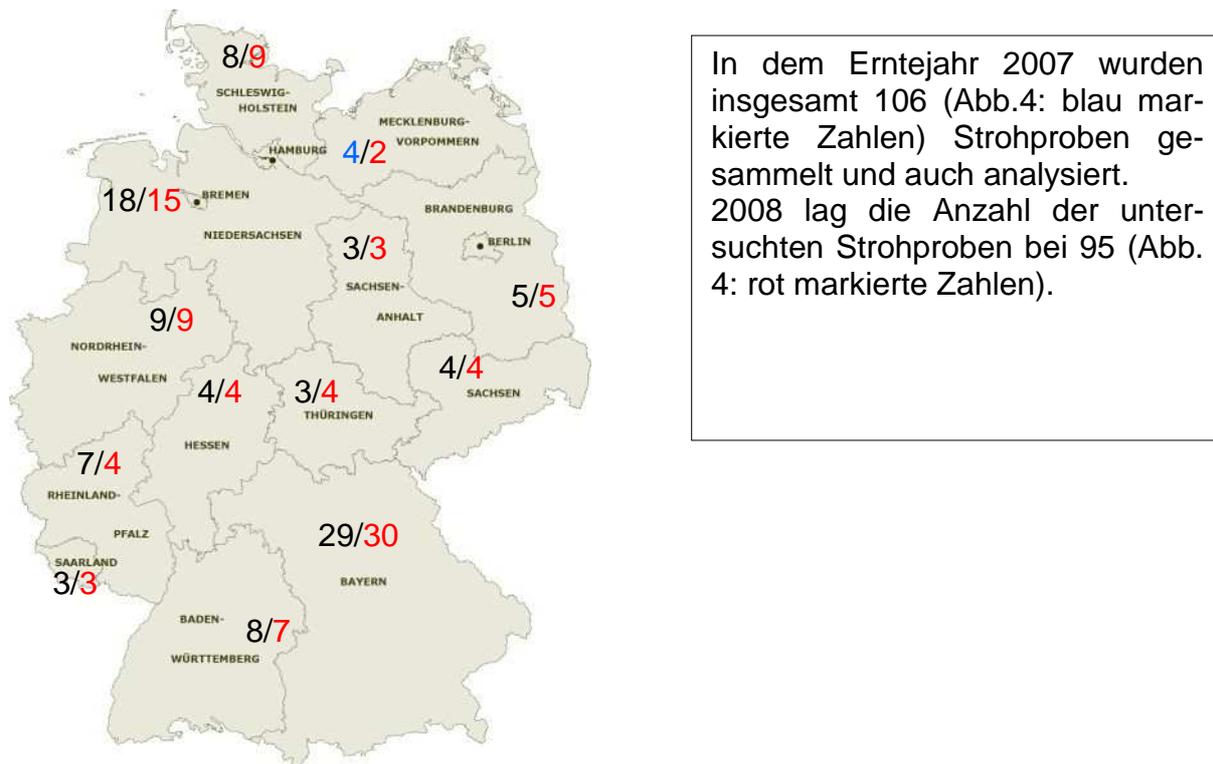
Ausgehend vom Strohaufkommen der Bundesländer am gesamten Strohaufkommen in der Bundesrepublik (siehe Tab. 12) wurde die Zahl der Proben prozentual auf die Bundesländer aufgeteilt. 50 % der Proben eines Erntejahres sollten bis Ende Dezember des jeweiligen Erntejahres an das Institut für Tierernährung der Universität Hohenheim geschickt werden und die restlichen 50 % bis zum April des Folgejahres. Um Jahresschwankungen miterfassen zu können wurden Strohproben aus 2 Erntejahren untersucht. 2007 wurden 47 Weizen-, 41 Gersten-, 7 Triticale-, 5 Roggen- und

Material und Methoden

4 Haferproben sowie 2 Proben ohne Angabe der Strohart untersucht. 2008 wurden 33 Weizen-, 38 Gersten-, 5 Triticale-, 7 Roggen-, 7 Haferproben- und 1 Dinkelprobe sowie 4 Proben ohne Angabe der Strohart untersucht. Insgesamt wurden über die beiden Versuchsjahre 80 Weizenstroh-, 79 Gerstenstroh-, 11 Haferstroh-, 12 Roggenstroh-, 12 Triticalestroh- und 1 Dinkelstroh sowie 6 Strohproben ohne Angabe der Strohart untersucht. Bei den Proben handelte es sich nicht Verdachtsproben.

Tabelle 12: Strohaufkommen und Zahl der Proben je Bundesland und Erntejahr

	Strohaufkommen 1000 t	% vom gesamten Strohaufkommen	% vom Getreideaufkommen	Zahl der Proben
Schleswig-				
Holstein	160	8,8	11,3	9
Hamburg	2	0,1	0	0
Niedersachsen	337	18,5	5	18
Nordrhein-				
Westfalen	179	9,8	4,3	10
Hessen	69	3,8	8,5	4
Rheinland-Pfalz	65	3,6	12,2	4
Baden-				
Württemberg	155	8,5	8	9
Bayern	520	28,5	12,1	29
Mecklenburg-				
Vorpommern	77	4,2	9,1	4
Brandenburg	84	4,6	9,1	5
Sachsen-Anhalt	51	2,8	6,2	3
Sachsen	73	4	9,5	4
Thüringen	51	2,8	7,3	3
Summe	1823	100	7,6	103



In dem Erntejahr 2007 wurden insgesamt 106 (Abb.4: blau markierte Zahlen) Strohproben gesammelt und auch analysiert. 2008 lag die Anzahl der untersuchten Strohproben bei 95 (Abb. 4: rot markierte Zahlen).

Abbildung 4: Anzahl der Strohproben je Bundesland und Erntejahr

4.2.2 Probenahme

Die Entnahme der Strohproben erfolgte durch die amtlichen Probennehmer der jeweiligen Bundesländer gemäß der Verordnung über Probenahmeverfahren und Analysemethoden für die amtliche Futtermittelüberwachung (FuttMProbV; in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. März 2000.BGB1. IS. 226, zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 14. März 2007 BGB1. IS. 335). Gemäß § 5 dieser Verordnung wurde zunächst eine Mindestanzahl von 20 Einzelproben (für Stroh) aus der zu beprobenden Partie gezogen. Die Sammelprobe, die aus den Einzelproben zu bilden war, betrug für das Futtermittel Stroh mindestens 1 kg. Aus jeder Sammelprobe wurden mindestens 3 Endproben mit einer Mindestmenge von 250 g gebildet. Diese Mindestmenge wurde auf Grund der vielfältigen Nutzung (Analysen) meist auf das Doppelte erhöht, um eine ausreichende Probenmenge zu erhalten. Entsprechend §8 der FuttMProbV sind die Proben so zu entnehmen und auch zu bilden, dass sie gegenüber der Partie nicht verändert oder verunreinigt werden.

4.2.3 Erfassung der Ernte- und Feldbearbeitungsparameter

Vom Institut für Tierernährung der Universität Hohenheim wurde in Zusammenarbeit mit dem FLI Braunschweig ein Fragebogen erstellt, der Aufschluss über die Parameter Getreideart, Sorte, Bodenbearbeitung, Erntezeitpunkt, Lagerort und Pestizideinsatz geben sollte. Diese wurden von den amtlichen Probenehmern in Zusammenarbeit mit den Landwirten ausgefüllt und der Strohprobe beigelegt (siehe Anhang).

Des Weiteren wurden Wetterdaten für die 13 an der Untersuchung beteiligten Bundesländer beim Deutschen Wetterdienst erfragt. Die angegebenen Parameter wurden dann nach der Analyse des Strohs mit den Toxinwerten korreliert.

4.2.4 Sensorische Beurteilung

Jede eingesandte Strohprobe wurde makroskopisch beurteilt. Dazu wurden je Probe ca. 200 g unvermahlendes Stroh nach der Methode nach Kamphues et al. (2004) sensorisch analysiert. Die Untersuchung mittels sensorischer Prüfung der vier Parameter Griff, Geruch, Farbe und Verunreinigung wurde bezüglich des Futterwertes und des Hygienestatus vorgenommen, eine Beschreibung ist der Tabelle 13 zu entnehmen.

Material und Methoden

Tabelle 13: Sensorische Prüfung von Stroh (Kamphues et al., 2004)

Parameter	Futterwert (Energiegehalt und Akzeptanz)	Pkt	Hygienestatus (bzw. gesundheitliche Risiken)	Pkt
Griff	arttypisch (höherer Blattmasseanteil)	12	trocken-spröde	0
	sperrig (wenig Blattmasse)	5	leicht klamm (nesterweise)	-2
	holzig-reisigartig	0	klamm-feucht, elastisch	-5
Geruch	Typischer Strohgeruch	3	frei von Fremdgeruch	0
	flach	0	leichtdumpf- muffige Nuance	-5
			schimmelig-modrig	-10
Farbe	intensiv-leicht goldig hell	3	leicht gedunkelt	0
	ausgeblichen	1	schmutzig grau-braun- schwärzlich	-5
			nesterweise grau-weiße/ schwarz-rote Verfärbungen	-10
Verunreinigungen	frei von Verunreinigungen	2	Besatz mit Schimmel, Käfern, Milben, Unkraut	
	leichte Sandbeimengungen	1	frei	0
	stärkere Sand-Erd-Beimengungen	0	mittlerer Besitz starker Besitz	-5 -10

Nach der Beurteilung wurden die Pluspunkte und Minuspunkte addiert und entsprechend Tabelle 14 untergliedert.

Tabelle 14: Einteilung der Proben bezüglich des Futterwertes und des Hygienestatus nach Punkten

Futterwert	Punkte	Hygienestatus	Punkte
günstig	15 - 20	einwandfrei	0
durchschnittlich	8 - 14	leichte Mängel	-1 bis -5
deutlich gemindert	4 - 7	deutliche Mängel	-6 bis -10
sehr gering	4	massive Mängel	-11 bis -30

Von Proben, deren Hygienestatus eine Punktzahl unter -11 aufweist, geht nach Kamphues et al. (2004) ein hohes Gesundheitsrisiko aus. Diese Proben sollten deshalb nicht mehr als Einstreu oder Futtermittel verwendet werden. Weisen die Stroh-

proben laut der sensorischen Beurteilung deutliche Mängel (-6 bis -10 Punkte) auf, so ist eine mykologische Untersuchung zu empfehlen.

4.2.5 Probenvorbereitung

Nach gründlicher Durchmischung wurde ein Teil der gelieferten Strohproben zur sensorischen Untersuchung genutzt und blieb somit unvermahlen.

Ein Teil der von den Bundesländern zugesandten Strohproben (ungemahlen) wurde an einer Mühle der Firma Retsch GmbH auf 1 mm Siebgröße vermahlen und gründlich durchmischt, so dass eine Homogenität der Probe gewährleistet war. Nach jedem Mahlvorgang wurde die Mühle gründlich mit einem Hochdruckluftreiniger gesäubert, um eine Verunreinigung der Einzelprobe zu vermeiden. Je Probe wurden 70 g abgewogen und an das Friedrich-Loeffler-Institut nach Braunschweig geschickt. Dort erfolgte die Analyse der Toxine OA und ZON. Das restliche Probenvolumen wurde in Plastikboxen bei - 20°C bis zur Analyse eingefroren.

4.3 Analysen

4.3.1 Verwendete Chemikalien für die Bestimmung der Trichothecene

Die verwendeten Chemikalien für die Probenaufarbeitung der Trichothecentoxine und des Ergosterins, einschließlich ihres Reinheitsgrades und der Herstellerfirmen, sind im Folgenden aufgelistet:

Hexan	reinst	Baker
Ethanol	reinst	Alkohol Süd
Ethanol	zur Analyse, absolut	Merck
Methanol	für die Flüssigchromatographie	Baker
Essigsäureethylester	reinst	Baker
Acetonitril	zur Analyse	Baker
Essigsäure	zur Analyse	Merck
Natriumsulfat	wasserfrei, zur Analyse	Merck
Kaliumhydroxid-Plättchen	zur Analyse	Merck
Natriumhydrogencarbonat	zur Analyse	Merck
Natriumsulfat	Wasserfrei; zur Analyse	Merck

Material und Methoden

Pancreatin	-	Sigma
Pepsin	-	Fluka
Clara-Diastase	-	Fluka
Trifluoressigsäure	zur Analyse	Merck
Natriumchlorid	zur Analyse	Merck
Salzsäure	zur Analyse	Merck
Kaliumhydrogenphosphat	zur Analyse	Merck
Natronlauge	zur Analyse	Merck
Methylacetoacetat	zur Analyse	Merck
Ammoniumacetat	zur Analyse	Merck
Derivatisierung:		
Verrucarol	zur Analyse	Sigma
Trifluoressigsäureanhydrid (TFAA)	zur Analyse	Carl Roth
Toluol	für die Spektroskopie	Merck

4.3.2 Standardsubstanzen

NIV, FUS-X, DON, 15-ADON, 3-ADON, SCIRP, MAS, DAS, T-2,4, NEO, T-2,3, HT-2, T-2 und Ergosterin wurden von der Firma Sigma bezogen.

4.3.3 Verwendetes Verbrauchsmaterial

Einmalhandschuhe (Careanserve medical industry); Faltenfilter MN 185mm (Macherey-Nagel); Staubmaske EN 149:2001 FFP3 (3M); Florisilkartusche MEGA-BE-FL 5 GM, 20 ML Bond Elut Solid Phase Extraktion (Varian inc.); Kationenaustauscherkartusche MEGA-CBA 1 GM, 6 ML Bond Elut Solid Phase Extraktion (Varian inc.); MultiSep 225 Trichothecenkartusche (Romer Labs); Plastikvorratsbehälter; Pasteurpipetten kurz (Brand GmbH und CoKG), Reaktionsgefäße 1,5 ml (Eppendorf)

4.3.4 Verwendete Geräte

Geräte zur Probenvorbereitung und –aufarbeitung

Mühle des Typs SM1 (Retsch GmbH); Analysenwaage PT 2100 (Satorius AG); Horizontalschüttler KS 501 (IKA Labortechnik); Rotationsverdampfer Rotavapor R 114 Schüttler (IKA Werke); Megafuge 20R (Heraeus instruments); Ultraschallbad Sonorex Super RK 255 (Häberle Labortechnik); Digital-pH-Meter pH 720 (inoLab); Trockenschrank Typ UT 6760 (Heraeus instruments); Reinstwassersystem Nano pure Infinity (Werner GmbH); Whirlmix Vortex Mixer neo Lab 7-2020 (ITF Labortechnik); Heizblock TGS Metallblock-Thermostat (Labortechnik Barkey GmbH & Co.KG); Schüttelwasserbad Typ 1083 (Gesellschaft für Labortechnik mbH); Vakuumeinheit zur Festphasenextraktion (Baker).

Analysengeräte

Ergosterin: HPLC mit Diodenarraydetection, 1100 series (Agilent); Säule Nucleosil 100 LiChroCART, 5C18/250 × 4 mm (VWR); Photometer DU 640 (Beckman);

Trichothecentoxine: GC/MS; Magnum ION Trap, GC 3400 (Varian); MS (Finnigan).

Maskierte Toxine: HPLC mit FLD, 1100 series (Agilent); Merck 6200 A Intelligent Pump; Aqua 5µ C18 125 A, 250 mm × 3.0 mm, 1,5 ml (Phenomenex); FLD G1321A (Agilent); Säulenofen (G1316A)

4.4 Methoden

4.4.1 Bestimmung der Trockensubstanz

Die Trockensubstanz (TS) wurde für jede Probe gravimetrisch nach der amtlichen Methode für Futtermitteluntersuchungen (Naumann und Basler, 1976) bestimmt. 5g des vermahlenden Probenmaterials wurden in Wägeschalen eingewogen. Bei 103°C wurde die offene Schale für 4 Stunden im Trockenschrank getrocknet. Anschließend wurden die Aluminiumwägeschalen zur Abkühlung für ca. 1 Stunde in den Exsikator gestellt und dann auf einer Analysenwaage zurück gewogen. Mit Hilfe der folgenden Gleichung wurde der TS-Wert berechnet.

Berechnung:

TS: Trockensubstanz (%)

A: Masse der Aluminiumschale (g)

B: Einwaagengewicht + Aluminiumschale (g)

C: Auswaagengewicht + Aluminiumschale (g)

$$TS = 100 \cdot \frac{C - A}{B - A}$$

4.4.2 Ergosterinbestimmung

Aufarbeitung

49 Proben verschiedener Getreidearten aus dem Screeningversuch (aus dem Jahr 2007) wurden auf ihren Ergosterin Gehalt analysiert.

Die Aufarbeitung begann mit der Verseifung des Ergosterins und damit der Freisetzung des Ergosterins aus seinen Estern. Dazu wurden 4 g des homogenisierten Probenmaterials eingewogen und mit 40 ml methanolischer KOH-Lösung (100g KOH und 750 ml Methanol) und 25 ml Ethanol für 30 min bei 80°C im Wasserbad unter Rückflusskühlung verseift.

Bei dem darauf folgenden Arbeitsschritt wurde die auf Raumtemperatur abgekühlte Probe mit Hexan über einer Porzellannutsche mit Rundfilter in eine Laborflasche abgenutscht und zweimal mit Methanol nachgespült.

Die Probenlösung wurde in einen Scheidetrichter überführt und mit 20 ml Wasser nachgespült. Die Extraktion mit 20-25 ml Hexan im Scheidetrichter wurde zweimal durchgeführt. Die ergosterinhaltigen Hexanphasen wurden über einen Faltenfilter mit wasserfreiem Natriumsulfat filtriert und mit Hexan nachgespült.

Die vereinigten Hexanextrakte wurden am Rotationsverdampfer bei 40°C auf ca. 2 ml eingengt und mit wenig Hexan in ein Rollrandgläschen überführt. Unter Stickstoffbegasung bei 40°C wurden die Proben im Heizblock bis zur vollständigen Trocknung eingengt.

Messung

Die Proben wurden mittels Reversed-Phase Liquid Chromatographie in Kombination mit UV- und Diodenarraydetektion qualitativ und quantitativ analysiert.

Der Rückstand der Strohproben wurde in 10 ml Methanol gelöst, nach gründlicher Durchmischung 2 ml in Reaktionsgefäße pipettiert und für 15 min bei $35500 \times g$ zentrifugiert. Nach der Überführung des Überstandes in Probenvials wurde der Ergosteringehalt mittels High Pressure Liquid Chromatography (HPLC) bestimmt.

Chromatographiebedingungen

HPLC-Säule	Nucleosil 100, C18, 5 μm , 250 \times 4 mm
HPLC-Eluent	Methanol für die Chromatographie/Wasser; 95/5; v/v
Flussrate	1,5 ml/min
UV-Detektion	282 nm
Injektionsvolumen	20 μl

Auswertung

Eine Ergosterinstammlösung wurde am Tag der Messung jeweils frisch hergestellt. Hierfür wurden 25 mg Ergosterinstandard in 50 ml absolutem Ethanol gelöst und die Lösung 1:20 verdünnt. Zur Bestimmung des exakten Ergosteringehaltes wurde die Verdünnung photometrisch vermessen. Bei 310 nm erhält man mit der Extinktion E1 eine Aussage über Verunreinigungen sowie ein Grundrauschen. Durch Messung bei 282 nm (Maximum Ergosterin) erhält man die Extinktion E2 und kann durch Differenz der beiden Extinktionen diese in die Gleichung einsetzen. Mit Hilfe dieser Gleichung kann in der unverdünnten Stammlösung der exakte Ergosteringehalt ermittelt werden.

$$C(\text{ng}/\mu\text{g}) = (MG \cdot E \cdot F) / e \cdot d = (397 \cdot (E_2 - E_1) \cdot 20) / 11,9 \cdot 1$$

E= Extinktion

e= molarer Extinktionskoeffizient (11,9)

C= Konzentration (ng/ μg)

d= Schichtdicke (1 cm)

F= Verdünnungsfaktor (20)

MG= Molargewicht Ergosterin (397 g/mol)

Aus der Stammlösung wurden durch Verdünnung sechs Standardlösungen hergestellt und zur Kalibrierung eingesetzt. Die Nachweisgrenze betrug 0,25 mg/kg Ergosterin. Die Ergebnisse für die Ergosterin-Gehalte wurden auf einen TS-Gehalt von 88,0 % bezogen.

4.4.3 Bestimmung der Trichothecene

Probenaufarbeitung

Am Institut für Tierernährung und Futtermittelkunde der Universität Hohenheim erfolgte die Analyse der 13 Trichothecentoxine NIV, FUS-X, DON, 15-ADON, 3-ADON, SCIRP, MAS, DAS, T-2,4, NEO, T-2,3, HT-2 und T-2 nach Schollenberger et al. (1998, 2005).

5 g des auf 1 mm gemahlene Stroh wurden in eine 250 ml Schraubflasche eingewogen, mit 100 ml Acetonitril (ACN)/Wasser (H_2O_{bidest}) 75/25 (v/v) versetzt und anschließend am Horizontalschüttler 1 h geschüttelt. Der Extrakt wurde über einen Faltenfilter abfiltriert. 63 ml des Filtrats wurden in einen 250 ml Scheidetrichter überführt und mit 50 ml Hexan 10 sec. geschüttelt. Nach der Phasentrennung wurde die wässrige Phase in einen 250 ml Rundkolben abgelassen, mit 60 ml Ethanol versetzt und bei einer Badtemperatur von 40°C zur Trockene abrotiert.

Der Rückstand wurde in 2,5 ml Methanol (MeOH) aufgenommen, ca. eine halbe Minute im Ultraschallbad gelöst und quantitativ in ein 5 ml Zentrifugenröhrchen überführt. Danach wurde für 10 min bei $3360 \times g$ und 20°C zentrifugiert. 2 ml des Überstandes wurden in ein Zentrifugenglas mit Schraubverschluss überführt, mit 18 ml Essigester (EE) versetzt und unter den genannten Bedingungen erneut zentrifugiert. 0,5 g Natriumsulfat (getrocknet, bei 130°C für 4h) wurden auf eine Florisilkartusche (MEGA-BE-FL, 5 GM, 20 ML, Bond Elut Solid Phase Extraktion; Varian inc.) gegeben und diese mit 20 ml Hexan konditioniert. 12 ml des abzentrifugierten Probenextraktes wurden auf die Kartusche gegeben und das Eluat in einen 100 ml Spitzkolben aufgefangen. Mit 35 ml EE/MeOH 90/10 (v/v) wurde nachgespült, die vereinigten

Material und Methoden

Eluate im Spitzkolben aufgefangen und bei 240 mbar bis zur Trockene einrotiert (Wasserbad 40°C).

Anschließend erfolgte eine Aufarbeitung über eine Kationenaustauscherkartusche (MEGA CBA, 1 GM, 6 ML, Bond Elut Solid Phase Extraktion, Varian inc.). Diese wurde zuvor mit 10 ml 1 M Essigsäure (HAc), 20 ml 0,05 M HAc und 10 ml MeOH/0.05 M HAc (40/60, V/V) konditioniert.

Die Probe wurde in 2,5 ml MeOH gelöst, anschließend 5,8 ml 0,05 M HAc hinzu gegeben und danach quantitativ auf die Kartusche aufgegeben. Mit 35 ml MeOH/HAc Elutionsmittel wurde nachgespült, die Eluate gemeinsam gesammelt, zur Trockene einrotiert und bis zur Analyse bei – 20°C gelagert.

Derivatisierung

Für die anschließende Derivatisierung wurde die Probe in ACN gelöst, die entsprechende Menge in ein 5 ml Reactivial überführt, Verrucarol zur Kontrolle der Derivatisierung zugegeben und unter Stickstoff bei 40°C zur Trockene eingeeengt.

20 – 30 mg Natriumhydrogencarbonat wurde in alle Reactivals gegeben. Anschließend wurden 400 µl Trifluoressigsäureanhydrid (TFAA) hinzupipettiert. Die Proben wurden bei 80°C für 30 min im Thermoblock derivatisiert, auf Raumtemperatur abgekühlt und zur Entfernung des überschüssigen TFAA's 20 min unter Stickstoff abgeblasen. 100 µl Toluol wurden hinzupipettiert, gemischt und 5 min stehen gelassen, mit 1000 µl H₂O_{bidest} versetzt und bis zur Phasentrennung stehen gelassen.

Im nachfolgenden Trocknungsschritt wurden in ein Probengefäß mit Einsatz 5 – 10 mg Natriumsulfat (getrocknet) vorgelegt, die Toluolphase auf das Natriumsulfat gegeben und am Whirlmixer gemischt. Die Toluolphase wurde anschließend zur Analyse eingesetzt und mittels GC/MS auf ein Spektrum an Trichothecentoxinen untersucht. Es erfolgte eine externe Eichung unter Matrixzusatz.

Die Methode wurde validiert. Die Nachweisgrenzen der Trichothecene lagen zwischen 4 und 28 µg/kg. Die Wiederfindungsraten wurden bei einem Zusatz von 400 µg/kg an Toxin ermittelt und lagen zwischen 69 und 87% mit der Ausnahme von NIV mit einer Wiederfindungsrate von 51%. Bei der Bestimmung der Reproduzierbarkeit lagen die relativen Standardabweichungen bei einer Wiederholungsrate von n = 5 zwischen 1,4 % und 10,9%.

Die Proben wurden im GC/MS Magnum Ion Trap mit chemischer Ionisierung qualitativ und quantitativ analysiert.

Gaschromatographische (GC) -Bedingungen:

Säule:	DB - 5 MS (J & W Scientific) 0,25 mm, 0,25 µm, 30 m
Trägergas:	Helium 5.0
Injektor:	260 °C
Injektion:	split/splitless, 1 µl bei geschlossenem Split
Temperaturprogramm:	140 °C(2 min); bis 275 °C (7 °C /min); 275 °C (2 min) bis 290 °C (30 °C/min); 290 °C (20 min)

Massenspektrometrische (MS) -Bedingungen:

Transferleitung:	270 °C
Multiplierspannung:	Tune im EI - Modus
Scan-Bereich:	275 m/z – 650 m/z
Betriebsmodus:	CI (Chemische Ionisation)
Reaktantgas:	Isobutan 3.5
Run Time:	43,8 min

Auswertung:

Um die Trichothecene identifizieren zu können, wurden folgende Kriterien beachtet:

Retentionszeit

Charakteristische Massenfragmente

Intensitätsverhältnisse einzelner charakteristischer Massenfragmente untereinander

In Tabelle 15 sind die Nachweis- und Bestimmungsgrenzen für die einzelnen Toxine dargestellt. Die Nachweisgrenze lag bei einem Signal/Rauschverhältnis von 3:1, die Bestimmungsgrenze bei einem Verhältnis von 6:1.

Tabelle 15: Nachweis (S/N=3)- und Bestimmungsgrenzen (S/N=6) der 13 Trichothecentoxine und ZON

Toxin	Nachweisgrenze ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Bestimmungsgrenze ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
NIV	14	28
SCIRP	16	32
DON	6	12
T-2,4	28	56
FUS-X	22	44
MAS	12	24
15-ADON	8	16
3-ADON	20	40
T-2,3	14	28
NEO	10	20
DAS	14	28
HT-2	6	12
T-2	4	8
ZON	6	12

Für die statistische Auswertung der Daten ist zu beachten, dass erst bei Werten über der Bestimmungsgrenze (siehe Tab. 15) eine Quantifizierung erfolgen kann. Liegen die Werte unterhalb der Nachweisgrenze für das jeweilige Toxin, so wurde die halbe Nachweisgrenze eingesetzt. Lag jedoch ein Toxingehalt zwischen der Nachweis- und Bestimmungsgrenze, so wurde der Mittelwert aus Nachweis- und Bestimmungsgrenze als Rechenwert eingesetzt.

4.4.4 Bestimmung des Zearalenons

Die Probenaufarbeitung für das Toxin ZON erfolgte im FLI Braunschweig. Hierbei erfolgte die Reinigung über Immunoaffinitätschromatographie (modifiziert nach Vorläufiger VDLUFA-Methode, 2000).

10 g Probe wurden in einen 250 ml Erlenmeyerkolben eingewogen und nach der Zugabe von 50 ml Acetonitril/Wasser (75/25, v/v) für eine Stunde auf einer Schüttelmaschine bei 240 U/min geschüttelt.

Anschließend wurde bei Raumtemperatur zentrifugiert und 10 ml des Überstandes in ein Zentrifugenglas pipettiert und 40 ml PBS-Puffer hinzugefügt.

Danach erfolgte die Reinigung mit der Immunoaffinitätssäule (ZearalaTest (VICAM), EasiExtract Zearalenon (r-biopharm)). Die Säule wurde mit 15 ml phosphatgepufferter Salzlösung (PBS-Puffer) konditioniert. Das Eluat wurde verworfen, 25 ml des Extraktes aufgegeben (= 1 g Probe) und mit 2-3 ml/min (1-2 Tropfen/s) eluiert. Gespült wurde mit 2 mal 10 ml H₂O_{bidest} und zwischen den Elutionen und nach Beendigung der Elution die Säulen trocken laufen gelassen. Anschließend wurde mit 3 mal 1,0 ml Acetonitril unter Schwerkraft eluiert (ca. 1 Tropfen/s), dabei und zum Schluss vollständig trocken laufen gelassen. Das Eluat wurde am Rotationsverdampfer bis zur Trockene einrotiert.

Der Rückstand wurde in 3 ml Methanol aufgenommen und über einem 0,45 µm Polyvinylidenfluorid -Membranfilter (PVDF-Membranfilter) filtriert.

Die Analyse des ZON erfolgte mittels HPLC bei einer Flussrate von 1ml/min und einer Säulentemperatur von 21°C.

Detektiert wurde mit einem Fluoreszenzdetektor ($\lambda_{exc} = 275 \text{ nm}$, $\lambda_{em} = 470 \text{ nm}$). Die Nachweisgrenze lag bei 6 µg/kg. Die Wiederfindung betrug für das ZON 63 ± 8% bei n=6 (20-2000 ng/g).

4.4.5 Bestimmung des Ochratoxin A

Die Probenaufarbeitung für das OA erfolgte im FLI Braunschweig.

10 g Stroh wurden in einen 250 ml Erlenmeyer-Kolben eingewogen, mit 100 ml eines Methanol-Wasser Gemisches (80:20, v/v) versetzt und für eine Stunde auf der Schüttelmaschine bei 240U/min geschüttelt. Nach der Filtration des Gemisches wurden 10 ml des Überstandes in ein Zentrifugenglas pipettiert und mit 40 ml PBS-Puffer versetzt. Anschließend erfolgte die Reinigung mit Immunoaffinitätssäulen (Ota CLEAN, LC Tech). 25 ml des Extraktes wurden aufgegeben und mit maximal 2ml/min durchlaufen gelassen. Das Eluat wurde verworfen. Die folgende Spülung wurde mit 2 mal 5 ml H₂O_{bidest} durchgeführt und auch dieses Eluat wurde verworfen. Anschließend wurde mit 2 mal 1,0 ml Methanol unter Schwerkraft eluiert, dabei sollte nach jeder Aufgabe des Methanols die Säule trocken laufen. Das vereinigte Eluat wurde am Rotationsverdampfer abgedampft und der Rest mit Stickstoff ausgeblasen. Der Rück-

stand wurde in 0,5 ml Methanol aufgenommen und über einen 0,45 µm PVDF-Membranfilter filtriert.

Die Analyse des OA erfolgte mittels HPLC bei einer Flussrate von 1ml/min und einer Säulentemperatur von 21°C.

Detektiert wurde mit einem Fluoreszenzdetektor ($\lambda_{exc} = 330 \text{ nm}$, $\lambda_{em} = 460 \text{ nm}$). Die Nachweisgrenze lag bei 0,4 µg/kg. Die Wiederfindung für das Ochratoxin A betrug $83 \pm 7\%$ bei $n=12$ (1-50 µg/kg).

4.4.6 Maskierte Toxine

Es wurden ausgewählte Proben aus dem Screeningversuch des Erntejahres 2007 sowie Proben (Korn, Kaff, Stroh) aus den Fütterungsversuchen am FLI in Braunschweig untersucht. Die Analyse der Strohproben auf maskierte Toxine erfolgte mittels chemischer bzw. enzymatischer Hydrolyse und mit Hilfe eines *in vitro*-Systems.

- Chemische Hydrolyse - saure Hydrolyse mit Trifluoressigsäure (TFA)

nach Liu et al. (2005) und Zhou et al. (2007) modifiziert:

Je Probe wurden 2 g Probenmaterial in ein Aufschlussgefäß eingewogen und mit 20 ml ACN/H₂O (84/16, v/v), 10 ml H₂O und 5 ml 1 molarer TFA versetzt. Für die Kontrollansätze erfolgte die gleiche Aufarbeitung, jedoch ohne Zugabe von TFA. Die Proben wurden bei 140°C für 40 min im Trockenschrank inkubiert. Anschließend wurden 5 ml Kaliumhydroxidlösung (KOH) (1 M) mit ACN auf ein Probenvolumen von 50 ml ergänzt. Der Ansatz wurde abfiltriert und 35 ml des Filtrates in einen 250 ml Spitzkolben überführt und bei 270 mbar am Rotationsverdampfer abrotiert (Wasserbad 40°C).

Die Probe wurde anschließend in 10 ml ACN gelöst, in ein Zentrifugenröhrchen überführt und bei $3360 \times g$ und 20°C 10 min zentrifugiert. 5 ml des Überstandes wurden abpipettiert, mit 1 ml H₂O versetzt und über eine MultiSep 225 Trichothecen Kartusche (Romer Labs) gegeben. 4 ml des Eluates wurden in einen 5 ml Spitzkolben überführt und abrotiert. Die Probe wurde mit ACN in ein Reaktionsgefäß überführt und unter N₂ zur Trockene eingedampft.

- Enzymatische Hydrolyse - Behandlung mit Clara-Diastase

Bei der Clara-Diastase (aus *Aspergillus oryzae*) handelt es sich um ein Enzymgemisch, bestehend aus α -Amylase, Cellulase, Invertase, Peptidase, Phosphatase und Sulfatase. Je Probe wurden drei Ansätze mit Clara-Diastase (A) und drei ohne das Enzymgemisch (B) aufgearbeitet. Die Bestimmung wurde nach einer modifizierten Methode des Analytical Methods Committee (2000) durchgeführt.

A) 5 g gemahlene Stroh oder 10 g gemahlene Korn und 0,5 g Clara-Diastase wurden in eine Schraubflasche mit 50 ml Acetatpuffer (0,1 M, pH 4,5) versetzt und im Schüttel-Wasserbad 16 – 17 h bei 37°C inkubiert.

B) 5 g gemahlene Stroh oder 10 g gemahlene Korn wurden in eine Schraubflasche mit 50 ml Acetatpuffer (0,1 M, pH 4,5) versetzt und in einem Schüttel-Wasserbad bei 37°C 16 – 17 h inkubiert.

Nach der Inkubation wurden die Proben über einen Faltenfilter filtriert und 10 ml auf eine ChemElut-Kartusche (Probenvolumen max. 20 ml, Varian) pipettiert. Nach 15 minütiger Einwirkzeit wurde der Rückstand mit 70 ml EE / MeOH 92/8 (v/v) eluiert und in einem 100 ml Spitzkolben aufgefangen und abrotiert. Nach Zugabe von MeOH wurde das Gemisch in ein Reaktionsgefäß überführt und zur Trockene eingedampft.

- *In vitro* Modell des Verdauungstraktes

Der *in vitro*-Versuch stellte eine Simulation des Verdauungstraktes des Schweins dar, es wurden sowohl die Verhältnisse im Magen als auch im Darm geprüft (Schollenberger et al., 2008a). Das Verhältnis von Stroh (Futter) zu Inkubationsmedium wurde in Anlehnung an Döll et al. (2004) berechnet, die Zusammensetzung des Magen- und Darmsaftes wurde wie bei Joel et al. (1995) beschrieben hergestellt.

550 mg Stroh/Korn wurden je Probe eingewogen. Je Probe wurden 3 Ansätze mit künstlichem Magensaft mit Enzym, 3 Ansätze mit künstlichem Magensaft ohne Enzym, 3 Ansätze mit Darmsaft mit Enzym und 3 Ansätze mit Darmsaft ohne Enzym aufgearbeitet. Der Magen- und Darmsaft wurde nach Joel et al. (1995) wie folgt hergestellt:

Material und Methoden

Magensaft (mit Enzym):

Es wurden 2 g Natriumchlorid (NaCl) + 3,2 g Pepsin (77161; Pepsin from porcine gastric mucosa; Fluka Chemie GmbH; keine Angaben über weitere enthaltene Enzyme vom Hersteller verfügbar. In der Literatur ist das Vorkommen von alkalischer Phosphatase, Aspartataminotransferase, β -Glucuronidase, Leucinaminopeptidase, Ornithinetranscarbamylase und Glutamatpyruvattransaminase beschrieben (Piper et al., 1965)) mit 800 ml H_2O_{bidest} versetzt und gelöst; mit 0,1 M Salzsäure (HCL) auf pH 3 eingestellt und auf 1 l aufgefüllt.

Magensaft (ohne Enzym):

Es wurden 2 g NaCl mit 800 ml H_2O_{bidest} versetzt und gelöst; mit 0,1 M HCL auf pH 3 eingestellt und auf 1 l aufgefüllt.

Darmsaft (mit Enzym):

Es wurden 3,4 g Kaliumhydrogenphosphat (KH_2PO_4) + 5 g Pancreatin (P8096; Pancreatin from hog pancreas; weitere enthaltene Enzyme: Amylase, Trypsin, Lipase, Ribonuklease und Protease; SIGMA-Aldrich Chemie GmbH) + 95 ml 0,2 M Natrionlauge (NaOH) mit 350 ml H_2O_{bidest} versetzt, mit NaOH auf pH 7,5 eingestellt und auf 500 ml aufgefüllt.

Darmsaft (ohne Enzym):

Es wurden 3,4 g KH_2PO_4 + 95 ml 0,2 M NaOH mit 350 ml H_2O_{bidest} versetzen. Mit NaOH auf pH 7,5 eingestellt und auf 500 ml aufgefüllt.

Je Probe wurden drei Ansätze analysiert. 550 mg Stroh/Korn wurden in 50 ml Zentrifugenröhrchen eingewogen und mit 15 ml Magensaft (mit und ohne Enzym)/Darmsaft (mit und ohne Enzym) versetzt. Die Inkubation mit Magen- und Darmsaft erfolgte separat.

3* Probe + Magensaft mit Enzym	→ + 4 h
3* Probe + Magensaft ohne Enzym	→ + 4 h
3* Probe + Darmsaft mit Enzym	→ + 4 h
3* Probe + Darmsaft ohne Enzym	→ + 4 h

Material und Methoden

Die Proben wurden im Wasserbad unter Schütteln bei 37°C 4 h inkubiert und anschließend bei 2630 × g bei 4°C 10 min zentrifugiert. Die abdekantierte Flüssigkeit wurde in 15 ml Plastikzentrifugenröhrchen überführt und bis zur weiteren Aufarbeitung tiefgefroren. Die Proben wurden aufgetaut und 10 ml auf die ChemElut-Kartusche (Probenvolumen max. 20 ml, Varian) gegeben. Nach einer 15 minütigen Einwirkzeit wurde mit 70 ml EE/MeOH (92/8, v/v) eluiert, eingeeengt, mit ACN in ein Reaktionsgefäß überführt und unter N₂ zur Trockene eingedampft.

Messung der Proben zu maskierten Toxinen

Die Bestimmung von Typ A- und B-Trichothecenen erfolgte am GC/MS. In Proben, die DON aber keine A-Trichothecene enthielten, wurde die Bestimmung des Toxins mittels HPLC/FLD mit Nachsäulenderivatisierung mittels NaOH (0,15 M) und Methylacetoacetat (0,03 M) + Ammoniumacetat (2 M) (Schollenberger et al., 2008b) durchgeführt. Die Untersuchung auf ZON erfolgte im Institut für Tierernährung des FLI Braunschweig. Die Aufarbeitung erfolgte mittels Immunoaffinitätschromatographie und anschließender Messung mittels HPLC/FLD. Es konnten insgesamt 50 Ansätze auf ZON analysiert werden. Diese wurden aus dem Versuch zur Hydrolyse mit TFA und der Behandlung mit Clara-Diastase ausgewählt, da sich die Proben aus dem *in vitro*-Versuch aufgrund der geringen Einwaage und des daraus resultierenden geringen Extraktvolumens nicht zur Analyse auf ZON eigneten.

HPLC-Bedingungen

HPLC-Säule	Aqua 5 μ (18, 125 A) (Phenomenex)
HPLC-Eluent	Gradientenprogramm: ACN/H ₂ O 10:90 40:60
Flussrate	0,6 ml/min
Laufzeit	55 min
Fluoreszenzdetektor (FLD)	Agilent G 1321A
Säulenofen	20°C (G 1316A)
Reaktortemperatur	115°C

4.5 Statistische Auswertung

Alle erfassten Parameter wurden mit Hilfe des Statistikpaketes SAS 9.1 ausgewertet. Erst ab einem Anteil an mind. 20% positiven Proben (Ausnahmen angegeben) wurde eine statistische Auswertung vorgenommen. Waren Toxine nicht nachweisbar, so wurde der Wert der halben Nachweisgrenze eingesetzt. Die Daten waren nicht normalverteilt. Deshalb wurden alle Variablen nach Absprache mit Herrn Prof. Piepho (Institut für Bioinformatik, Universität Hohenheim) mit Hilfe von verteilungsfreien Tests ausgewertet. Bei der Überprüfung der Signifikanz einzelner Toxine in verschiedenen Parametern (z.B. NIV in verschiedenen Stroharten) wurde der Kruskal-Wallis-Test (Prozedur NPAR1WAY) für unabhängige Gruppen verwendet. Bestanden Zweifel an der identischen Verteilung wurden die Daten (mit ¹ gekennzeichneten) mit Hilfe des Median-Test ausgewertet, wobei sich der angegebene p-Wert auf die Rangmittel bezieht. Zur Überprüfung mehrerer Toxine innerhalb einer Strohart wurde der Wilcoxon-Test herangezogen. Die Grundlage der statistischen Auswertung mittels Kruskal-Wallis und Wilcoxon erfolgte auf Basis der Rangmittel. In Ausnahmefällen wurde statt des Kruskal-Wallis-Tests der Median-Test herangezogen, da dieser robuster gegen Ausreißer ist. Die Überprüfung einzelner Korrelationen (z.B. korreliert der DON-Gehalt mit den Ergebnissen aus der sensorischen Überprüfung) wurde mit der SAS Prozedur Proc Corr errechnet.

Die statistische Auswertung der Versuche zu maskierten Toxinen wurde mittels der Prozedur UNIVARIATE (PROC UNIVARIATE) auf Normalverteilung untersucht und die Signifikanzen mit der Prozedur PROC MIXED festgestellt. Das Signifikanzniveau wurde für einen p-Wert $< 0,05$ und eine Tendenz für $0,05 < p < 0,15$ festgelegt.

5 Ergebnisse

5.1 Erfasste Witterungsparameter

Die mittleren Niederschlagswerte (mm) und die Monatsmittel der Lufttemperatur (°C) wurden vom Deutschen Wetterdienst für die Monate März bis September der Versuchsjahre 2007 und 2008 für die 13 untersuchten Bundesländer erfasst und zur Verfügung gestellt. Eine Übersicht über die Witterungsbedingungen gibt die Abbildung 5.

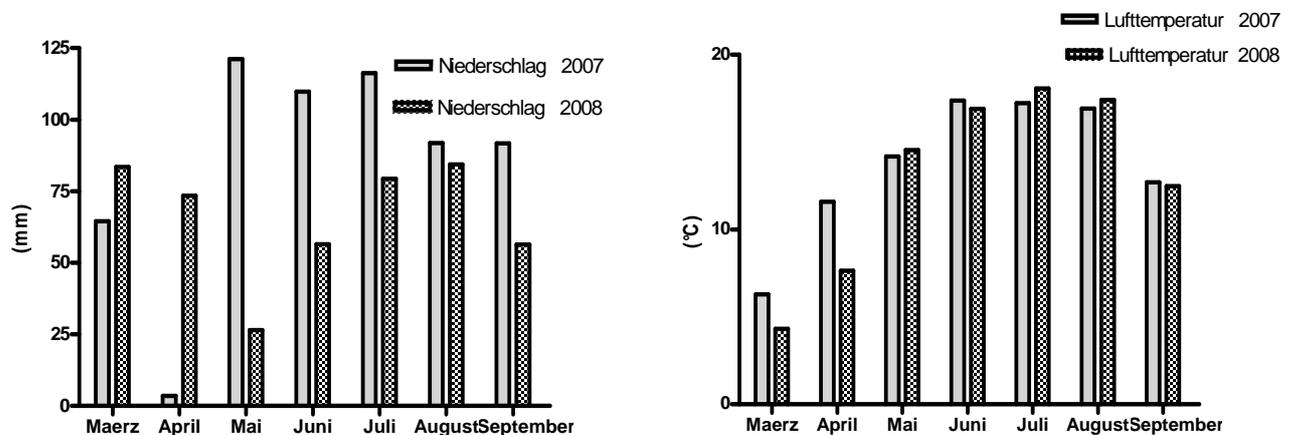


Abbildung 5: Monatsmittel des Niederschlags und der Temperatur in den Vegetationsperioden der Erntejahre 2007 und 2008

2007 war der Niederschlag in den Monaten Mai, Juni und Juli um 95 mm, 53 mm bzw. 37 mm höher als in den entsprechenden Monaten des Erntejahres 2008. Im März und besonders im April war der Niederschlag im Jahr 2008 höher im Vergleich zum ersten Versuchsjahr. Die mittleren Lufttemperaturen waren in beiden Jahren vergleichbar und lagen zwischen Mai und August jeweils zwischen 14°C und 18°C. Auch zum Erntezeitpunkt im Juli und August lagen im Monatsmittel die Niederschlagssummen im Erntejahr 2007 um 37 mm und 8 mm über den Niederschlagssummen in 2008.

In den Monaten März und April waren die Tagesdurchschnittstemperaturen im Jahr 2007 höher oder annähernd gleich hoch im Vergleich zum Erntejahr 2008. Im Juni lagen die durchschnittlichen Tageslufttemperaturen in beiden Untersuchungsjahren bei über 17,4°C (2007) und 16,9°C (2008).

Ergebnisse

Bei dem Vergleich der Niederschlagswerte der Nord- und der Südhälfte Deutschlands (Abbildung: 6) aus beiden Versuchsjahren stellt man zwischen März und September höhere Niederschlagssummen im südlichen Teil der Bundesrepublik Deutschland fest. In der Blühperiode Mai und Juni fiel in den nördlichen Bundesländern 13 und 12% weniger Regen im Vergleich zu den südlichen Bundesländern. Der Vergleich der Niederschlagswerte der Ost- und der Westhälfte Deutschlands zeigt im Durchschnitt über alle erfassten Monate einen um 8% höheren Niederschlag in Ostdeutschland mit den größten Differenzen im Juni und im August.

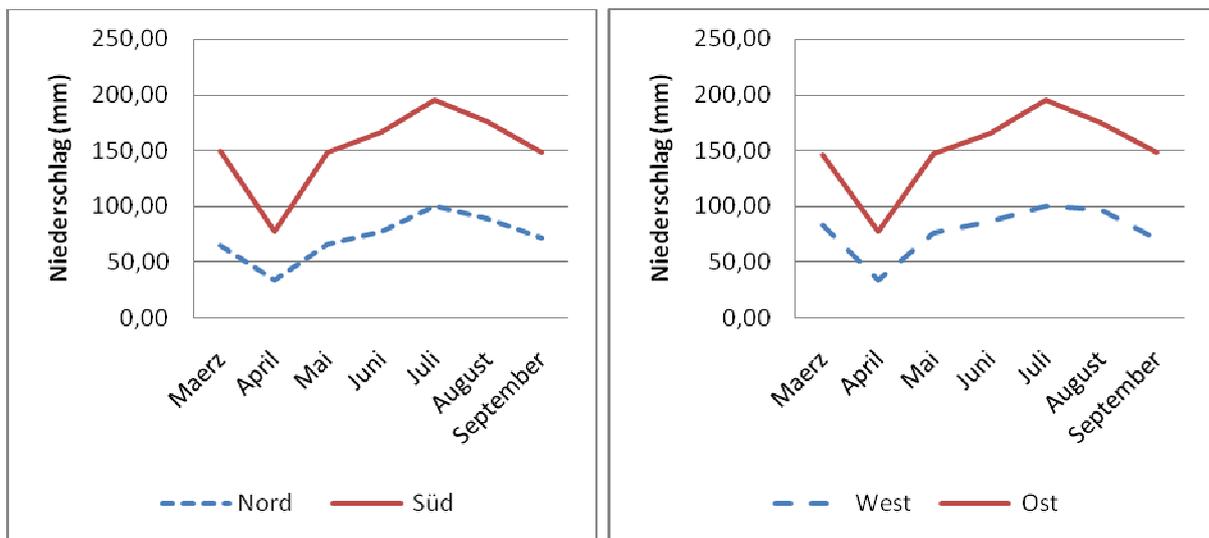


Abbildung 6: Mittelwerte des Niederschlags je Monat aus den Ernteperioden 2007 und 2008 aufgeteilt in die Bereiche Nord- und Süddeutschland bzw. Ost- und Westdeutschland (Aufteilung siehe Abbildung 9)

Bei der differenzierten Betrachtung der nördlichen und südlichen Region Deutschlands der beiden Ernteperioden kann beobachtet werden, dass sowohl im ersten als auch im zweiten Jahr der Niederschlag im Süden über dem im Norden lag. 2007 konnten sowohl im Norden als auch im Süden höhere Niederschlagsmengen verzeichnet werden.

Ergebnisse

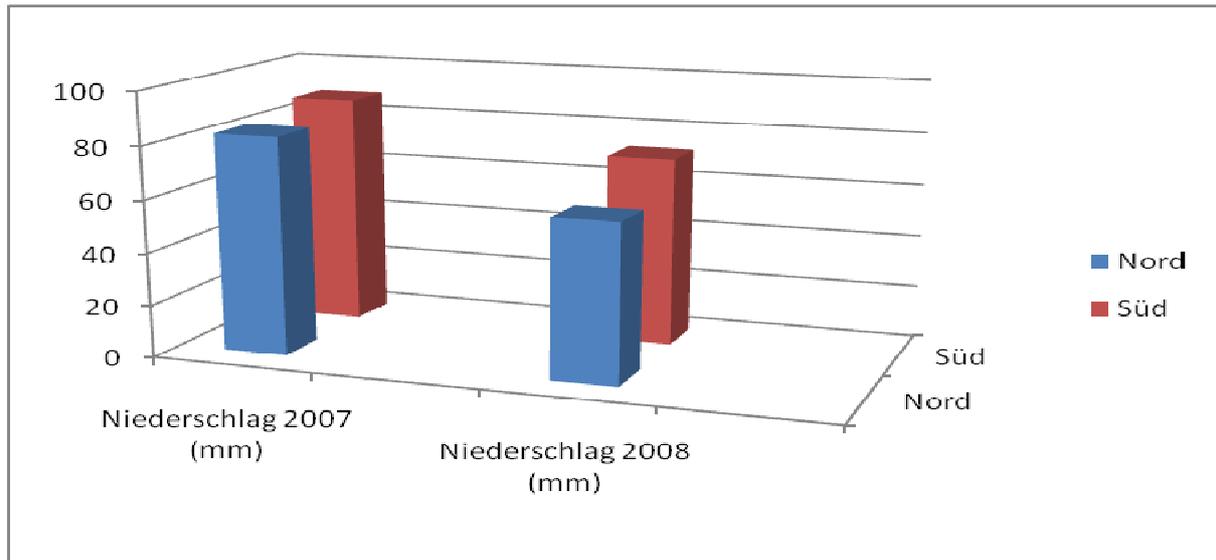


Abbildung 7: Mittelwerte des Niederschlags je Erntejahr (2007 und 2008) aufgeteilt in die Bereiche Nord- und Süddeutschland

5.2 Ergebnisse der sensorischen Prüfung

Alle 201 erhaltenen Strohproben aus den beiden untersuchten Erntejahren wurden nach der Methode nach Kamphues et al. (2004) sensorisch untersucht. Im Jahr 2007 zeigten bezüglich des Hygienestatus 40,6 % der Proben deutliche (-6 bis -10 Punkte) bis massive (-11 bis -30 Punkte) Mängel. 59,4 % der Strohproben waren einwandfrei (0 Punkte) oder zeigten lediglich leichte (-1 bis -5 Punkte) Mängel. 2008 wiesen 7 % der Proben weniger deutliche bis massive Mängel auf. Über alle 106 Proben ergab sich ein Mittelwert für den Hygienestatus des Strohs des Erntejahres 2007 von – 5,15 und 2008 bei einem Probenumfang von 95 ein Mittelwert von – 4,8. Bei der Beurteilung des Futterwertes im Erntejahr 2007 wurde nur 1 Probe von 106 mit einem deutlich geminderten Futterwert (4 bis 7) bewertet. Die restlichen 105 Strohproben wiesen einen durchschnittlichen (8 bis 14 Punkte) bis günstigen (15 bis 20 Punkte) Futterwert auf, was zu einem Durchschnittswert von 16,5 führte. 2008 hingegen zeigte die Sensorik bezüglich des Futterwertes eine durchweg durchschnittliche bis günstige Qualität bei einem Mittelwert von 16,7.

5.3 Ergebnisse der Trockensubstanzbestimmung

Alle eingesandten Proben der Erntejahre 2007 und 2008 wurden nach der amtlichen Methode für Futtermitteluntersuchungen (Naumann und Basler, 1979) auf ihren Trockensubstanzgehalt untersucht. Es zeigten sich mit Mittelwerten in 2007 und 2008 von 89,1 % und 88,6 % kaum Unterschiede zwischen den beiden Versuchsjahren.

Eine höhere Feuchtigkeit bei länger gelagerten Strohproben konnte nicht nachgewiesen werden. 2007 lag der TS-Gehalt der Proben, die 0-5 Monate nach der Ernte gelagert wurden, bei 89,0 % und bei 88,7 % im Vergleich zu denen, die 6-12 Monate gelagert wurden. Im zweiten Versuchsjahr lag der TS-Gehalt der Proben, die länger (6-12 Monate) gelagert wurden, um 1,8 % höher und damit bei 89,3 % im Vergleich zu dem kürzer gelagerten Stroh.

Im Mittel lag der TS-Gehalt der Strohproben, die im Freien gelagert wurden, unter dem Gehalt der Proben, die unter dem Dach gelagert wurden. 2007 und 2008 lagen die TS-Gehalte der Proben, die unter dem Dach gelagert wurden, bei 88,7 % bzw. 89,3 %. Bei der Lagerung im Freien wurde im Mittel ein TS-Gehalt für 2007 von 87,0 % und 2008 von 87,8 % ermittelt.

5.4 Ergosteringehalt und Korrelationen mit den analysierten Toxinen

49 Strohproben aus dem Erntejahr 2007 wurden auf ihren Ergosteringehalt untersucht (siehe Tabelle 16), um einen Eindruck über die Befallssituation der Strohfraktion zu gewinnen. Anschließend sollten mögliche Korrelationen mit den analysierten Toxinen festgestellt werden. Die Stroharten Weizen und Gerste konnten separat aufgeführt werden, bei Hafer, Roggen und Triticale war die Anzahl der untersuchten Proben für eine gesonderte Darstellung zu gering.

Der Ergosteringehalt bezieht sich auf 88 % Trockensubstanz. In allen 49 Proben konnte das Ergosterin mit Werten zwischen 59 mg/kg und 297 mg/kg nachgewiesen werden. Der Mittelwert lag bei 177 mg/kg und der Median bei 190 mg/kg.

Der Median lag bei Weizen- und Gerstenstroh im annähernd gleichen Bereich, der mittlere Ergosteringehalt lag im Weizenstroh mit 178 mg/kg, 5 mg/kg über dem des Gerstenstrohs.

Ergebnisse

Tabelle 16: Ergosterin in der Strohfraktion der Getreidepflanze

	Positive Proben Anteil (%)	Wertebereich (mg/kg)	Mittelwert \pm Stabw. (mg/kg)	Median (mg/kg)
Stroh insges.				
n = 49	100	59 - 297	177 \pm 57	190
Gerstenstroh				
n = 21	100	59 - 250	172 \pm 56	190
Weizenstroh				
n = 18	100	66 - 297	178 \pm 62	189

5.5 Häufigkeit des Vorkommens und Gehalte von *Fusarium*-Toxinen und Ochratoxin A in den untersuchten Strohproben aus den Erntejahren 2007 und 2008

Insgesamt wurden 201 Strohproben auf ein Spektrum an 13 Trichothecentoxinen sowie ZON und OA untersucht. Lediglich das Toxin NEO wurde in keiner der analysierten Proben detektiert, OA wurde in einer Gerstenstrohprobe aus dem Erntejahr 2008 mit einem Gehalt von 1,5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ nachgewiesen.

Über beide Erntejahre hinweg wurde DON als das dominierende Trichothecen hinsichtlich der Häufigkeit des Vorkommens und der Gehalte festgestellt (siehe Tabelle 5). Das Toxin war in 83 % der Proben mit Gehalten zwischen 16 und 23269 $\mu\text{g}/\text{kg}$ nachweisbar, der mittlere Gehalt der positiven Proben lag bei 1234 $\mu\text{g}/\text{kg}$, der mediane Gehalt bei 439 $\mu\text{g}/\text{kg}$ und die Variationsbreite bei 23253 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Die Trichothecene HT-2/ T-2/ T-2,4/ SCIRP/ NIV/ 15-ADON und 3-ADON waren in 55, 37, 9, 9, 32, 21 und 9 % der 201 analysierten Proben nachweisbar. FUS-X, MAS, DAS und T-2,3 wurden in weniger als 5 % der Proben detektiert.

ZON war in 46 % der 201 Strohproben nachweisbar, die Gehalte lagen zwischen 7 und 767 $\mu\text{g}/\text{kg}$, der mittlere und mediane Gehalt bei 89 und 31 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

Im Erntejahr 2007 war für DON sowohl die Anzahl an positiven Proben (89 %) als auch der Mittel (1311 $\mu\text{g}/\text{kg}$)- und Maximumwert (23269 $\mu\text{g}/\text{kg}$) höher im Vergleich zum Erntejahr 2008.

Ergebnisse

Auch ZON konnte im Jahr 2007 mit 55 % positiven Proben häufiger nachgewiesen werden als im zweiten Versuchsjahr (2008: 37% pos. Proben). Der Mittelwert dieses Toxins lag bei 99 µg/kg, der Maximumwert bei 524 µg/kg.

Im Untersuchungsjahr 2008 konnten im Vergleich zum ersten Untersuchungsjahr die Trichothecentoxine FUS-X, MAS, DAS, T-2,4 und T-2,3 in keiner der 95 Strohproben detektiert werden.

DON war auch in dem Erntejahr das dominierende Toxin mit einem Mittelwert von 1135 µg/kg und einem Maximumwert von 9035 µg/kg. Mit 59 % positiver Proben wurde das Toxin HT-2 am zweit häufigsten detektiert, gefolgt von T-2 mit 41 % positiver Proben.

Tabelle 17: *Fusarium*-Toxingehalte in den Strohproben der Ernten 2007 und 2008 berechnet auf einen Trockenmassegehalt von 88 % (Mittelwert der pos. Proben)

Toxine	Jahre	% positive Proben	Bereich (µg/kg)		MW ± s* (µg/kg)		
NIV	insges.	32	21	- 2486	338	±	486
	2007	40	21	- 2486	191	±	376
	2008	23	21	- 2473	618	±	555
FUS-X	insges.	0,5	33		33		
	2007	1	33		33		
	2008	0	-		-		
DON	insges.	83	16	- 23269	1234	±	2471
	2007	89	16	- 23269	1311	±	3059
	2008	77	40	- 9035	1135	±	1406
15-ADON	insges.	21	12	- 2437	264	±	507
	2007	27	12	- 2437	277	±	524
	2008	14	12	- 1834	233	±	488
3-ADON	insges.	9	30	- 337	124	±	88
	2007	16	30	- 337	132	±	89
	2008	2	30	- 76	53	±	33
SCIRP	insges.	9	24	- 640	156	±	161
	2007	14	24	- 413	102	±	101
	2008	4	218	- 640	359	±	195
MAS	insges.	3	18	- 29	22	±	5
	2007	6	18	- 29	22	±	5

Ergebnisse

	2008	0	-	-				
DAS	insges.	0,5	21		21			
	2007	1	21		21			
	2008	0	-		-			
T-2,4	insges.	9	42	-	478	153	±	126
	2007	18	42	-	478	153	±	126
	2008	0	-		-			
T-2,3	insges.	0,5	61			61		
	2007	1	61			61		
	2008	0	-			-		
HT-2	insges.	55	9	-	674	66	±	95
	2007	52	9	-	413	52	±	72
	2008	59	9	-	674	81	±	111
T-2	insges.	37	2	-	214	41	±	39
	2007	34	6	-	110	29	±	28
	2008	41	2	-	214	52	±	44
ZON	insges.	46	7	-	767	89	±	126
	2007	55	9	-	524	99	±	117
	2008	37	7	-	767	72	±	139

* Mittelwert (MW) ± Standardabweichung (s)

In der Gesamtzahl an Proben wurden durchschnittlich 3 Toxine gleichzeitig in einer Probe nachgewiesen. Nur in 4 % der Proben konnte keines der untersuchten Toxine detektiert werden. 12 % der Proben waren nur mit einem Toxin belastet, sodass 84 % mit 2 und mehr Toxinen je untersuchter Probe kontaminiert waren.

Es wurden 2007 bis zu zehn Toxine in einer Probe nachgewiesen, durchschnittlich waren die Proben mit 4 der untersuchten Toxine belastet. Dabei wiesen 53 % der Proben eine Kontamination mit 0 bis 3 Toxinen je Probe auf und 47 % mit 4 bis 10 Toxinen je Probe. Die Zahl der in einer Probe nachgewiesenen Toxine lag im zweiten Versuchsjahr bei durchschnittlich 3. In diesem Erntejahr wurden bis zu 7 Toxine gleichzeitig in einer Probe gemessen. 81 % der Strohproben wiesen 0 bis 3 Toxine je Probe auf und nur 19 % eine Kontamination mit 4 und mehr Toxinen.

Ergebnisse

Tabelle 18: Anzahl an Toxinen die gleichzeitig in einer Strohprobe nachgewiesen wurden

	2007	2008	insges.
	n=106	n=95	n=201
Anzahl Toxine je Probe	(% von n)	(% von n)	(% von ges. n)
0 Toxine je Probe	4 (4)	5 (5)	9 (4)
1 Toxin je Probe	13 (12)	12 (13)	25 (12)
2 Toxine je Probe	15 (14)	32 (34)	47 (23)
3 Toxine je Probe	24 (23)	28 (29)	52 (26)
4 Toxine je Probe	17 (16)	10 (11)	27 (13)
5 Toxine je Probe	20 (19)	5 (5)	25 (12)
6 Toxine je Probe	5 (5)	2 (2)	6 (3)
7 Toxine je Probe	5 (5)	1 (1)	6 (3)
8 Toxine je Probe	2 (2)	-	2 (1)
9 Toxine je Probe	-	-	-
10 Toxine je Probe	1 (1)	-	1 (0,5)

In Tabelle 18 wurde das gleichzeitige Vorkommen mehrerer Toxine in einer Probe gezeigt. Die folgende Tabelle weist auf die häufigsten Toxinkombinationen in den 201 Strohproben hin. Für diese Auswertung wurden die fünf Toxine DON, ZON, NIV, HT-2 und T-2 berücksichtigt, die den höchsten Anteil an positiven Proben aufwiesen. In 44 % der Strohproben konnte eine gleichzeitige Kontamination von DON und ZON beobachtet werden. Mit der gleichen Häufigkeit wurde auch die Kokontamination von DON und HT-2 gezeigt. Das gemeinsame Vorkommen von ZON wurde häufiger mit Typ B Trichothecenen (DON und NIV) als mit Typ A-Trichothecenen (HT-2 und T-2) beobachtet.

Die gleichzeitige Kontamination der Typ A-Trichothecene HT-2 und T-2 wurde in 36 % der Strohproben nachgewiesen. Die niedrigsten Kokontaminationen wurde für die Kombinationen ZON mit den Typ A-Trichothecenen (HT-2, T-2) und NIV mit den Typ A-Trichothecenen (HT-2, T-2) festgestellt.

Ergebnisse

Tabelle 19: Kombination der *Fusarium*-Toxine in der Gesamtzahl an Strohproben

Kombinationen der <i>Fusarium</i> -Toxinen	Anzahl Toxinkombinationen (N=201) % Anteil von N
DON/ZON	44
DON/NIV	29
DON/HT-2	44
DON/T-2	29
ZON/NIV	24
ZON/HT-2	20
ZON/T-2	12
NIV/HT-2	17
NIV/T-2	13
HT-2/T-2	36

In Tabelle 20 sind die einzelnen Toxinkombinationen differenziert nach den Getreidearten ausgewertet worden. In 59 % der Weizenproben trat gleichzeitig eine Kontamination von ZON mit DON auf. Die zweithäufigste Kokontamination in Weizen war die der Toxine DON und HT-2. Auch in Gersten- und Haferstroh trat diese Toxinkontamination in 55 % der Proben auf. In Gerstenstroh wurde mit 58 % die häufigste Kokontamination der Toxine HT-2 und T-2 nachgewiesen. In Haferstroh konnte in 36 % der Proben diese Toxinkombination beobachtet werden. In Roggen- und Triticalestroh wurde in 50 % der Proben (N=12) das gemeinsame Vorkommen der Toxine DON und ZON detektiert. Die Toxinkombination DON/NIV wurde in Triticalestroh zu 58 % beobachtet.

Ergebnisse

Tabelle 20: Kombination der *Fusarium*-Toxine innerhalb der einzelnen Getreidearten

Kombination der <i>Fusarium</i> -Toxine	Weizen	Gerste	Hafer	Roggen	Triticale
	N=80	N=79	N=11	N=12	N=12
% Anteil von N					
DON/ZON	59	31	36	50	50
DON/NIV	30	23	36	25	58
DON/HT-2	42	55	55	8	25
DON/T-2	22	44	36	8	17
ZON/NIV	22	17	18	25	25
ZON/HT-2	23	23	18	8	8
ZON/T-2	14	17	18	8	0
NIV/HT-2	14	21	27	8	17
NIV/T-2	10	18	18	0	17
HT-2/T-2	23	58	36	8	17

Abbildung 7 zeigt die Verteilung der DON-Gehalte beider Versuchsjahre. Dabei enthielten ca. 75% der Proben Gehalte des Toxins von 1 mg/kg oder darunter, ca. 25% der Proben überschritten diesen Wert. 4 Strohproben wiesen Werte oberhalb des von der EU eingeführten Orientierungswertes (OW) von 8 mg/kg für Getreide und Getreideerzeugnisse auf.

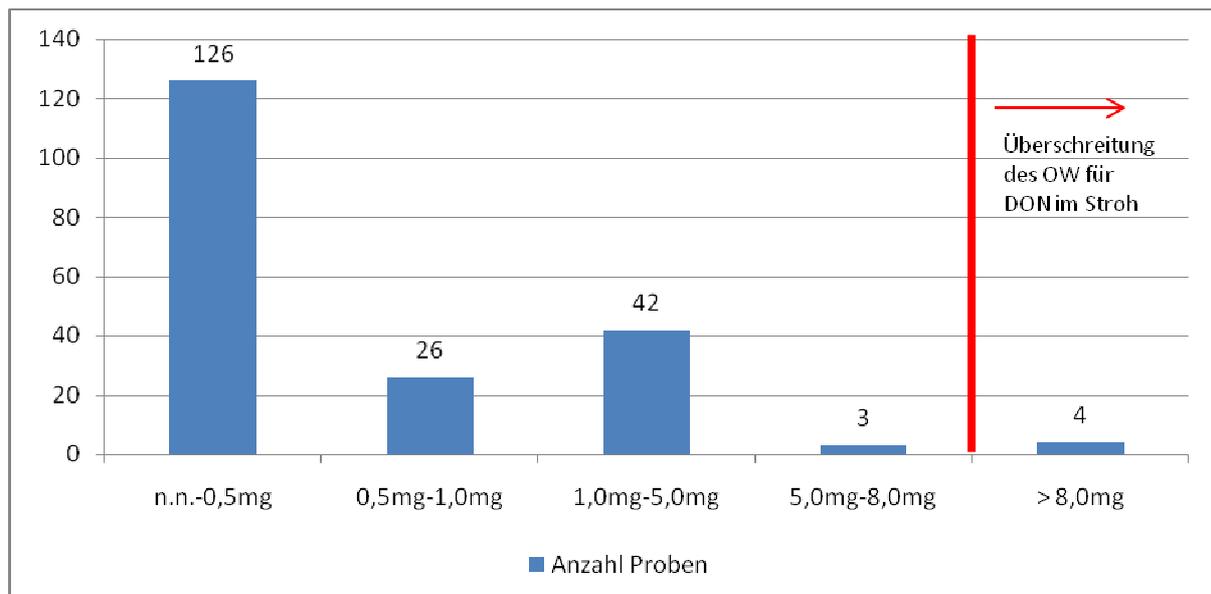


Abbildung 8: Verteilung der DON-Gehalte beider Versuchsjahre

5.5.1 Vergleich der beiden Versuchsjahre

In der Tabelle 21 sind die Ergebnisse des Vergleiches der beiden Versuchsjahre bezüglich der Toxingehalte dargestellt. Die Toxine FUS-X, NEO, MAS, DAS und T-2,3, 3-ADON und SCIRP wurden aufgrund der geringen Anzahl an positiven Proben statistisch nicht miterfasst. Mit Ausnahme des DON zeigten sich bei allen anderen Toxinen tendenzielle oder signifikante Unterschiede zwischen den beiden Versuchsjahren. Die Typ-A Trichothecene HT-2 und T-2 waren signifikant ($p = 0,0366$) und tendenziell ($p = 0,0854$) in Proben aus dem Versuchsjahr 2008 stärker vertreten. Hingegen waren die Gehalte der Typ B-Trichothecene NIV ($0,0126$) und 15-ADON ($0,0195$) und auch das ZON ($0,0023$) signifikant in beiden Jahren verschieden mit höheren Werten (NIV höhere Rangmittel) im Erntejahr 2007.

Tabelle 21: Toxingehalte in Strohproben der Erntejahre 2007 und 2008

Toxin	Versuchsjahr		P
	2007 (N=106) MW ² (µg/kg)	2008 (N=95) MW ² (µg/kg)	
NIV	80 (0,55) ¹	149 (0,43) ¹	0,0126* ¹
DON	1163 (0,45) ¹	873 (0,55) ¹	0,1819 ¹
15-ADON	79	35	0,0195*
HT-2	28	49	0,0366*
T-2	11	22	0,0854
ZON	56	29	0,0023**

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$;

¹ Rangmittel (in Klammern dargestellt) und P-Wert des Mediantests

² Mittelwert (MW)

Die Unterschiede zwischen den beiden Versuchsjahren sind nicht nur in den Toxingehalten nachzuweisen, sie zeigen sich auch bei dem Vergleich der Anzahl an positiven Proben je Versuchsjahr (siehe Tabelle 17). Alle Toxine, die in Tabelle 21 einen signifikant höheren Toxingehalt 2007 aufweisen, zeigen auch einen höheren Anteil an positiven Proben in diesem Jahr. Die Typ A-Trichothecene HT-2 und T-2 weisen sowohl höhere Toxingehalte als auch eine höhere Anzahl an positiven Proben im Erntejahr 2008 auf.

5.5.2 Häufigkeit und Vorkommen von *Fusarium*-Toxinen in Stroh in Abhängigkeit von der Getreideart

In Strohproben aller analysierten Getreidearten konnten *Fusarien*-Toxine nachgewiesen werden. In Bezug auf die Häufigkeit des Vorkommens und auch der Gehalte an Toxinen unterschieden sich die einzelnen Strohartarten jedoch. In Tabelle 22 sind die Gehalte sowie das Vorkommen der analysierten Toxine in den einzelnen Getreidearten dargestellt. Alle angegebenen Toxingehalte wurden nicht aus der Gesamtheit der Proben, sondern aus den positiven Proben errechnet.

Mit einem Mittelwert von 1584 µg/kg und einer Anzahl von 91 % positiven Proben dominierte DON in Weizenstroh. Ausgehend von den Mittelwerten folgten die Getreidearten Gerste, Triticale, Roggen und Hafer. Die häufigste Anzahl positiver HT-2 und T-2 Proben konnte in Gerste, gefolgt von Hafer, Weizen, Triticale und Roggen nachgewiesen werden. ZON wurde mit einem Mittelwert von 89 µg/kg und 55 % positiver Proben häufiger und mit höheren Gehalten in Weizen gemessen.

In allen Strohartarten wurde SCIRP nachgewiesen, mit der höchsten Anzahl an positiven Proben in Triticale. Alle analysierten Toxine der SCIRP Gruppe (SCIRP, MAS, DAS) wurden einzig in Gerste detektiert.

Ergebnisse

Tabelle 22: Vorkommen von *Fusarium*-Toxinen in verschiedenen Getreidearten in beiden Erntejahren (* Mittelwert \pm Standardabweichung)

Strohart	Toxine	% pos. Proben	Bereich		MW \pm s*		
Weizen (n=80)	NIV	31	21	-	851	261	\pm 220
	FUS-X	0	-	-	-	-	
	DON	91	18	-	13985	1584	\pm 2348
	15-ADON	40	12	-	2437	300	\pm 571
	3-ADON	16	30	-	337	151	\pm 94
	SCIRP	3	104	-	235	170	\pm 92
	MAS	0	-	-	-	-	
	DAS	0	-	-	-	-	
	T-2,4	3	42	-	119	80	\pm 54
	T-2,3	0	-	-	-	-	
	HT-2	48	9	-	674	45	\pm 107
	T-2	24	6	-	214	38	\pm 49
ZON	55	7	-	493	89	\pm 113	
Gerste (n=79)	NIV	27	21	-	2486	410	\pm 712
	FUS-X	1	33	-	33	33	
	DON	77	16	-	23269	1021	\pm 3052
	15-ADON	8	12	-	509	183	\pm 202
	3-ADON	6	30	-	99	64	\pm 32
	SCIRP	14	24	-	640	178	\pm 189
	MAS	8	18	-	29	22	\pm 5
	DAS	1	21	-	21	21	
	T-2,4	15	42	-	478	184	\pm 147
	T-2,3	1	61	-	61	61	
	HT-2	73	9	-	431	81	\pm 95
	T-2	59	2	-	146	42	\pm 37
ZON	34	9	-	218	56	\pm 67	
Triticale (n=12)	NIV	58	21	-	1651	468	\pm 575
	FUS-X	0	-	-	-	-	
	DON	92	27	-	1974	883	\pm 732
	15-ADON	17	28	-	46	37	\pm 13
	3-ADON	8	71	-	71	71	

Ergebnisse

	SCIRP	17	24	-	343	183	±	225
	MAS	0	-		-			
	DAS	0	-		-			
	T-2,4	8	42	-	42	42		
	T-2,3	0	-		-			
	HT-2	25	43	-	63	56	±	11
	T-2	17	22	-	93	57	±	50
	ZON	50	9	-	767	196	±	291
Roggen (n=12)	NIV	33	60	-	1243	450	±	537
	FUS-X	0	-		-			
	DON	75	40	-	3180	694	±	979
	15-ADON	8	12	-	12	12		
	3-ADON	0	-		-			
	SCIRP	8	177	-	177	177		
	MAS	0	-		-			
	DAS	0	-		-			
	T-2,4	17	99	-	182	140	±	59
	T-2,3	0	-		-			
	HT-2	17	23	-	58	41	±	25
	T-2	8	48	-	48	48		
	ZON	50	14	-	524	145	±	196
Hafer (n=11)	NIV	36	39	-	536	231	±	224
	FUS-X	0	-		-			
	DON	73	245	-	1203	556	±	301
	15-ADON	0	-		-			
	3-ADON	0	-		-			
	SCIRP	9	51	-	51	51		
	MAS	0	-		-			
	DAS	0	-		-			
	T-2,4	9	150	-	150	150		
	T-2,3	0	-		-			
	HT-2	64	39	-	149	73	±	39
	T-2	36	14	-	56	33	±	19
	ZON	45	9	-	103	41	±	38

Ergebnisse

In den folgenden Tabellen wurde für die statistische Auswertung der Daten der Mittelwert nicht aus den positiven Proben, sondern aus der Gesamtheit der Proben ermittelt, da für eine statistische Berechnung alle Analysenwerte (auch solche ohne detektierbaren Toxingehalt) herangezogen werden. Lagen die Toxingehalte unterhalb der Nachweisgrenze, so wurde jeweils die halbe Nachweisgrenze eingesetzt. Lag jedoch ein Toxingehalt zwischen der Nachweis- und Bestimmungsgrenze, so wurde der Mittelwert aus Nachweis- und Bestimmungsgrenze als Analysenwert eingesetzt. Eine statistische Auswertung für ein Toxin über beide Erntejahre zusammen erfolgte nur dann, wenn Daten der Jahre 2007 und 2008 vorlagen. Lag für ein Toxin (zum Beispiel SCIRP) eine für eine statistische Auswertung nicht ausreichende Datenbasis vor, so wurde es nicht in Abbildung 8, also der Auswertung beider Versuchsjahre mit einbezogen. Die Anzahl der Informationen zu den acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen zur Auswertung eines Datensatzes für einen statistischen Vergleich entspricht der Zahl der in den Fragebögen übermittelten Informationen ($N=X=\text{Gesamt}/N=Y=2007/N=Z=2008$) und liegt aufgrund unvollständiger Angaben meist unterhalb der Anzahl an untersuchten Proben.

Insgesamt wurden über die beiden Versuchsjahre 80 Weizen-, 79 Gersten-, 11 Hafer-, 12 Roggen-, 12 Triticale-, 1 Dinkel- und 6 Proben mit unbekannter Strohart untersucht.

Wegen der geringen Anzahl an positiven Proben wurden die Toxine FUS-X, NEO, MAS, DAS und T-2,3 im Versuchsjahr 2007 sowie zusätzlich in 2008 die Toxine 3-ADON und SCIRP nicht statistisch bewertet. Bei der Auswertung über beide Versuchsjahre mit Hilfe des Kruskal Wallis Tests, zeigte sich für die Typ B-Trichothecene DON und 15-ADON ein höchst signifikant verschiedener Toxingehalt mit höheren Werten im Weizenstroh im Vergleich zum Gerstenstroh mit p-Werten von jeweils $< 0,0001$. Die Typ-A Trichothecene HT-2 ($p < 0,0001$) und T-2 ($p < 0,0001$) zeigten signifikant verschiedene Gehalte in den beiden Stroharten mit höheren Toxingehalten in Gerste im Vergleich zu Weizen.

ZON ist im Weizenstroh signifikant stärker vertreten als im Gerstenstroh. NIV zeigte bei dem Vergleich der Getreidestroharten keinen signifikanten Unterschied.

Somit lässt sich ein unterschiedliches Toxinspektrum auf dem Stroh der beiden Getreidearten erkennen, mit den Typ B-Trichothecenen dominierend in Weizenstroh und den Typ A-Trichothecenen in Gerstenstroh.

Ergebnisse

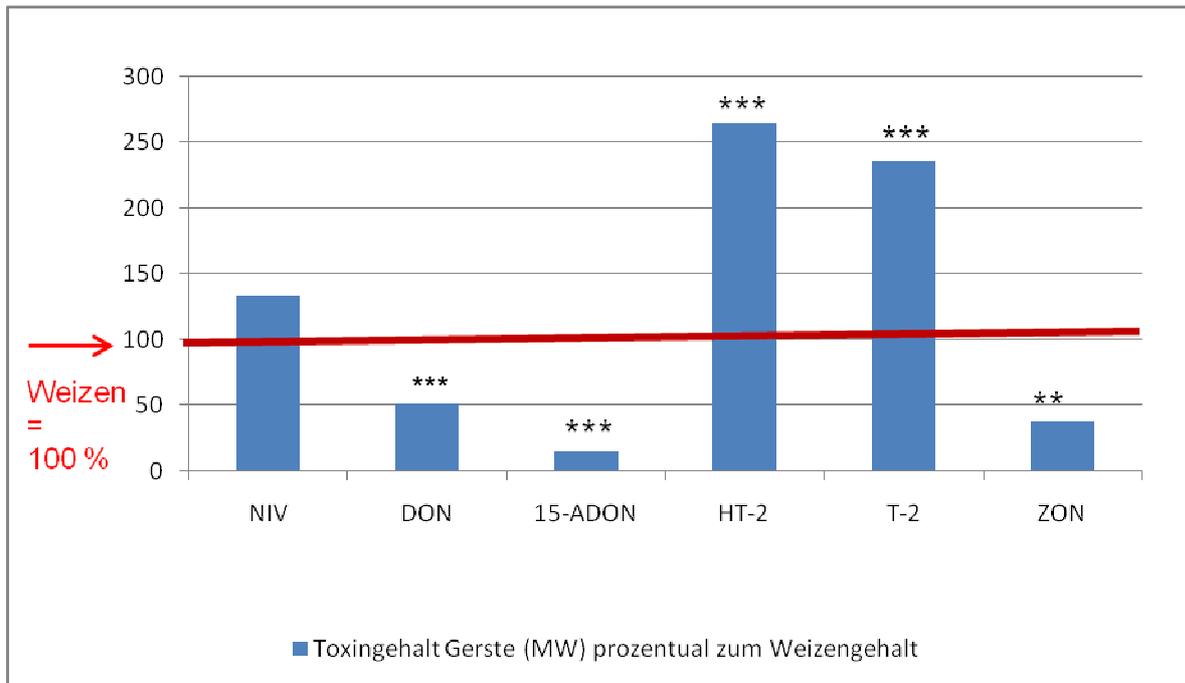


Abbildung 8: Unterschiede im Toxingehalt zwischen Weizen und Gerste über beide Versuchsjahre ($p < 0,01$, *** $p < 0,001$)**

In Tabelle 23 sind die Toxingehalte von Gersten- und Weizenstroh beider Versuchsjahre differenziert ausgewertet worden.

Die Auswertung der Daten des Jahres 2007 deckt sich mit den Ergebnissen aus dem Versuchsjahr 2008, wobei in dem ersten Versuchsjahr aufgrund der hohen Anzahl an positiven Proben zusätzlich noch eine statistische Auswertung bezüglich der Toxine 3-ADON, SCIRP und T-2,4 vorgenommen werden konnte. Die DON Derivate 3-ADON ($p = 0,0106$) und 15-ADON ($p = 0,0002$) zeigten signifikant verschiedene Gehalte mit höheren Toxinwerten in Weizen. SCIRP ($p = 0,0038$) und T-2,4 ($p = 0,0012$) waren hingegen in Gerste signifikant stärker vertreten.

Ergebnisse

Tabelle 23: Toxingehalte in Proben der Stroharten Weizen und Gerste über beide Versuchsjahre

Toxin	Jahrgang	Weizen (N ¹ =Y/Z)	Gerste (N ² =Y/Z)	P
		MW ² (µg/kg)	MW ² (µg/kg)	
NIV	2007	57	106	0,9336
	2008	128	122	0,2650
DON	2007	1615	922	0,0006***
	2008	1204	646	0,0048**
15-ADON	2007	151	27	0,0002***
	2008	81	7	0,0101*
3-ADON	2007	49	15	0,0106*
	2008	-	-	-
SCIRP	2007	10	33	0,0038**
	2008	-	-	-
T-2,4	2007	17	64	0,0012**
	2008	-	-	-
HT-2	2007	13	49	0,0117*
	2008	37	73	0,0001***
T-2	2007	10	14	0,1047
	2008	12	39	<0,0001***
ZON	2007	73	25	0,0539
	2008	18	17	0,0161*

* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001 (N¹ = 47/33), (N² = 41/38)

² Mittelwert (MW)

In der folgenden Tabelle sind die Vergleiche der Toxingehalte in den einzelnen Stroharten nicht differenziert nach Erntejahr, sondern über beide Jahre zusammen ausgewertet worden.

DON und 15-ADON zeigten signifikant verschiedene Gehalte mit höheren Toxinwerten im Weizen- als im Roggenstroh. Auch das 15-ADON trat mit signifikant höheren Gehalten in Weizen im Vergleich zum Haferstroh auf. Das Typ A-Trichothece wurde in Hafer häufiger detektiert und zeigte gegenüber dem Weizen- und dem Roggenstroh signifikant höhere Gehalte. Keine Unterschiede im Toxingehalt der Typ A-Trichothece konnten zwischen den Stroharten Gerste und

Ergebnisse

Hafer ausgemacht werden. Jedoch wurden signifikant höhere Gehalte der Toxine HT-2 und T-2 in Gerste im Vergleich zu Roggen und Triticale beobachtet.

Tabelle 24: Vergleich der Toxingehalte in Proben der Stroharten Weizen, Gerste, Roggen, Triticale und Hafer aus beiden Erntejahren

Toxin	Weizen (N=80) MW² (µg/kg)	Roggen (N=12) MW² (µg/kg)	P
NIV	89	155	0,8360
DON	1715	521	0,0273*
15-ADON	127	5	0,0220*
HT-2	23	9	0,0981
T-2	11	6	0,2746
ZON	52 (0,49) ¹	74 (0,5) ¹	0,9675 ¹

Toxin	Weizen (N=80) MW² (µg/kg)	Hafer (N=11) MW² (µg/kg)	P
NIV	89 (0,5) ¹	88 (0,53) ¹	0,7783 ¹
DON	1715	406	0,0672
15-ADON	127	4	0,0109*
HT-2	23	48	0,0302*
T-2	11	13	0,3187
ZON	52	20	0,3826

Toxin	Weizen (N=80) MW² (µg/kg)	Triticale (N=12) MW² (µg/kg)	P
NIV	89	276	0,0674
DON	1715	810	0,4880
15-ADON	127	10	0,0799
HT-2	23	16	0,3801
T-2	11 (0,5) ¹	11 (0,46) ¹	0,6015 ¹
ZON	52 (0,5) ¹	100 (0,46) ¹	0,7817 ¹

Toxin	Gerste (N=79) MW² (µg/kg)	Hafer (N=11) MW² (µg/kg)	P
NIV	112 (0,49) ¹	88 (0,56) ¹	0,4557 ¹
DON	501 (0,46) ¹	406 (0,73) ¹	0,1008 ¹
HT-2	61 (0,47) ¹	48 (0,64) ¹	0,3116 ¹

Ergebnisse

T-2	26	13	0,1927
ZON	19	20	0,4158
	Gerste (N=79)	Roggen (N=12)	
Toxin	MW² (µg/kg)	MW² (µg/kg)	P
NIV	112	155	0,4925
DON	501	521	0,7652
HT-2	61	9	0,0007***
T-2	26	6	0,0040**
ZON	19	74	0,1341
	Gerste (N=79)	Triticale (N=12)	
Toxin	MW² (µg/kg)	MW² (µg/kg)	P
NIV	112	276	0,0184*
DON	501	810	0,0817
HT-2	61	16	0,0068**
T-2	26	11	0,0192*
ZON	19	100	0,1377
	Hafer (N=11)	Roggen (N=12)	
Toxin	MW² (µg/kg)	MW² (µg/kg)	P
NIV	88	154	1,0000
DON	406 (0,42) ¹	521 (0,55) ¹	0,5458 ¹
HT-2	48	9	0,0144*
T-2	13	6	0,1357
ZON	20	74	0,5952
	Hafer (N=11)	Triticale (N=12)	
Toxin	MW² (µg/kg)	MW² (µg/kg)	P
NIV	88	276	0,2730
DON	406	810	0,2537
HT-2	48	16	0,0616
T-2	13	11	0,3391
ZON	20	100	0,6182
	Roggen (N=12)	Triticale (N=12)	
Toxin	MW² (µg/kg)	MW² (µg/kg)	P
NIV	155	276	0,2846
DON	521	810	0,2135

Ergebnisse

HT-2	9	6	0,5154
ZON	74 (0,5) ¹	100 (0,5) ¹	1,0000 ¹

* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001

¹ Rangmittel (in Klammern dargestellt) und P-Wert des Mediantests

² Mittelwert (MW)

5.6 Toxingehalte von Stroh bei unterschiedlicher geographischer Lage innerhalb Deutschlands

Um die Toxingehalte von Strohproben aus unterschiedlichen Bereichen Deutschlands zu untersuchen, wurde eine virtuelle Linie zwischen Nord- und Süddeutschland bzw. zwischen Ost- und Westdeutschland (siehe Abbildung 9) gezogen. Die Tabelle 25 weist auf den Anteil der Stroharten je Region hin. Bei dieser Auswertung wurden die Getreidearten Weizen und Gerste untersucht. Die Anzahl an Proben der anderen Getreidearten war zu gering.

Tabelle 25: Anteil (N) der Stroharten an der Gesamtzahl der Proben (201) nach geographischer Herkunft in den Erntejahren 2007 und 2008

Strohart	Jahr	N / % Anteil an gesamt N			
		Nord	Süd	Ost	West
Weizen	insges.	41/20	39/19	35/17	45/22
	2007	25/12	22/11	19/10	28/14
	2008	16/8	17/9	16/8	17/9
Gerste	insges.	31/15	48/24	41/20	38/19
	2007	17/9	24/12	23/11	18/9
	2008	14/7	24/12	18/9	20/10

Ergebnisse

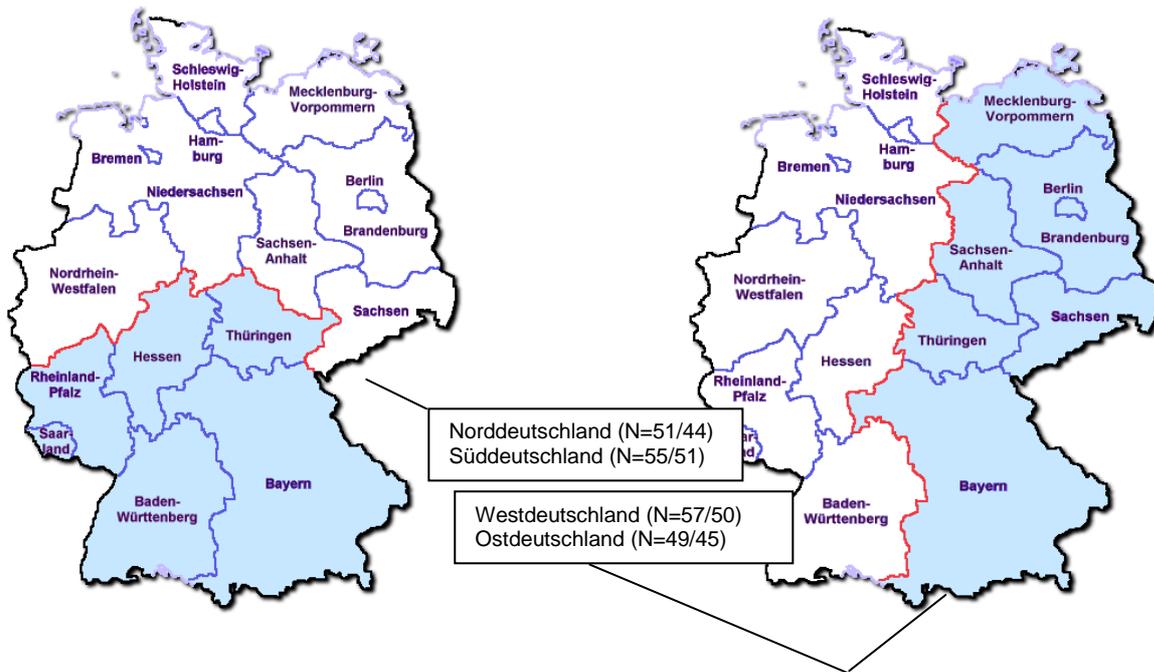


Abbildung 9: Aufteilung Deutschlands in die Regionen Nord und Süd bzw. Ost und West unter Angabe der Probenzahl je Region und Erntejahr (2007/2008)

In Tabelle 26 ist die Verteilung der Toxine in den Strohproben im nördlichen und südlichen Areal Deutschlands aufgezeigt. Die mittleren DON-Gehalte lagen in Weizenstroh im Süden bei 2291 $\mu\text{g}/\text{kg}$ und im Norden bei 1160 $\mu\text{g}/\text{kg}$, wobei jedoch keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden konnte.

In den Gerstenstrohproben wiesen die Typ-A Trichothecene HT-2 und T-2 signifikant verschiedene Gehalte auf, mit höheren Werten im Süden Deutschlands und p-Werten von 0,0005 und 0,0036, zeigten jedoch in Weizenstroh keine signifikanten Unterschiede. Bei den Typ-B Trichothecenen waren sowohl in Gerste als auch in Weizen keine unterschiedlichen Verteilungen innerhalb Deutschlands zu beobachten.

Ergebnisse

Tabelle 26: Toxingehalte in Weizen- bzw. Gerstenstroh in Nord- bzw. Süddeutschland

Toxin	Geographische Verteilung					
	Gerste			Weizen		
	Nord (N=30) MW ² (µg/kg)	Süd (N=48) MW ² (µg/kg)	P	Nord (N=43) MW ² (µg/kg)	Süd (N=39) MW ² (µg/kg)	P
NIV	208 (0,48) ¹	52 (0,51) ¹	0,7139 ¹	108	66	0,1936
DON	432	544	0,3631	1160	2291	0,2032
15-ADON	-	-	-	103	151	0,6869
HT-2	36	77	0,0005***	31	13	0,6600
T-2	17	32	0,0036**	14	7	0,8065
ZON	11	24	0,1702	59	46	0,0500

* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001

¹ Rangmittel (in Klammern dargestellt) und P-Wert des Mediantests

² Mittelwert (MW)

Nach der virtuellen Aufteilung Deutschlands in Ost und West wurden die Weizen- und Gerstenstrohproben getrennt ausgewertet. In Weizenstroh ($p = 0,0171$) wies das DON je nach Region signifikant verschiedene Gehalte auf, mit mittleren Gehalten im Westen von 2097 µg/kg und im Osten von 1214 µg/kg. Auch NIV zeigte in Weizenstroh im Westen signifikant höhere ($p = 0,0221$) Gehalte. Die Typ-A Trichothecene und ZON zeigten keine Dominanz in einem Gebiet.

Ergebnisse

Tabelle 27: Toxingehalte in Weizen- bzw. Gerstenstroh in Ost- bzw. Westdeutschland

Toxin	Geographische Verteilung					
	Gerste			Weizen		
	Ost (N=40) MW ² (µg/kg)	West (N=38) MW ² (µg/kg)	P	Ost (N=35) MW ² (µg/kg)	West (N=46) MW ² (µg/kg)	P
NIV	96 (0,51) ¹	129 (0,49) ¹	0,7015 ¹	36	129	0,0221*
DON	408	599	0,1032	1214	2097	0,0171*
15-ADON	-	-	-	111	139	0,1542
HT-2	63	60	0,4055	36	13	0,4134
T-2	25 (0,52) ¹	27 (0,48) ¹	0,7601 ¹	15	7	0,8776
ZON	20 (0,49) ¹	18 (0,50) ¹	0,8736 ¹	47	57	0,4187

* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001

¹ Rangmittel (in Klammern dargestellt) und P-Wert des Mediantests

² Mittelwert (MW)

5.7 Toxingehalte bei Gersten- und Weizenstrohproben nach unterschiedlichen pflanzen- und ackerbaulichen Maßnahmen

Da zwischen den Stroharten Gerste und Weizen signifikante Unterschiede im Toxinspektrum beobachtet werden konnten, wurden die folgenden Auswertungen getrennt nach den beiden Getreidearten vorgenommen.

Die Angaben über pflanzen- und ackerbauliche Maßnahmen sind den für den Screeningversuch angefertigten Fragebogen entnommen worden. Bei der Beurteilung von Unterschieden im Toxingehalt von Strohproben nach unterschiedlichen produktionstechnischen Maßnahmen muss berücksichtigt werden, dass sie nicht in einem speziell durchgeführten Feldversuch ermittelt wurden. Daher sollen die nachfolgenden Ergebnisse erste Informationen zum Einfluss dieser Maßnahmen geben und als Anhaltspunkte angesehen werden.

Die Anzahl der Informationen zu den acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen zur Auswertung eines Datensatzes für einen statistischen Vergleich entspricht der Zahl der in den Fragebögen übermittelten Informationen

Ergebnisse

(N=X=Gesamt/N=Y=2007/N=Z=2008) und liegt aufgrund unvollständiger Angaben meist unterhalb der Anzahl an untersuchten Proben.

5.7.1 Toxingehalte von Stroh bei unterschiedlicher Vorfrucht

Bei der Untersuchung der Toxingehalte von Getreidestroh bei unterschiedlicher Vorfrucht wurden die Proben mit der Vorfrucht Mais mit den Proben anderer Vorfrüchten verglichen.

Die in Tabelle 28 dargestellten Ergebnisse der statistischen Auswertung zeigen, dass lediglich in Gerstenstroh eine hochsignifikant verschiedene Belastung mit dem Toxin NIV ($p = 0,0038$) beobachtet werden konnte mit höheren Gehalten bei der Vorfrucht Mais. Es konnten keine weiteren signifikanten Unterschiede bei den verschiedenen Vorfrüchten und den beiden Stroharten nachgewiesen werden.

Tabelle 28: Toxingehalte in Weizen- bzw. Gerstenstroh bei unterschiedlicher Vorfrucht

Toxin	Vorfrucht					
	Gerste			Weizen		
	Mais (N=11) MW ² (µg/kg)	nicht Mais (N=46) MW ² (µg/kg)	P	Mais (N=14) MW ² (µg/kg)	nicht Mais (N=43) MW ² (µg/kg)	P
NIV	75 (0,74) ¹	104 (0,43) ¹	0,0038** ¹	97	64	1,0000
DON	572 (0,64) ¹	598 (0,46) ¹	0,2881 ¹	2143	1903	0,4415
15-ADON	-	-	-	217	120	0,9267
HT-2	75	68	0,8627	21 (0,47) ¹	30 (0,50) ¹	0,8132 ¹
T-2	26	28	1,0000	12	13	0,9899
ZON	34	19	0,3931	54	51	0,9385

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

¹ Rangmittel (in Klammern dargestellt) und P-Wert des Mediantests

² Mittelwert (MW)

5.7.2 Toxingehalte von Stroh bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung

In Gerste konnten die Toxine NIV, DON, HT-2, T-2 und ZON für die Auswertung der verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten statistisch erfasst werden, beim Weizenstroh zusätzlich noch das 15-ADON. Toxine, die einen Wert unterhalb von 20% an positiven Proben aufwiesen, wurden für diese Berechnung nicht mit einbezogen.

In Tabelle 29 sind die nach der statistischen Auswertung ermittelten Ergebnisse der beiden Stroharten bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung dargestellt. Für DON zeigte sich sowohl in Weizen- als auch in Gerstenstroh eine signifikant oder tendenziell unterschiedliche Belastung des Strohs mit höheren Gehalten bei Proben nach nicht wendender Bodenbearbeitung im Vergleich zur wendenden.

Tabelle 29: Toxingehalte in Weizen- bzw. Gerstenstroh bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung

Toxin	Bodenbearbeitung					
	Gerste			Weizen		
	n. w. (N=17) MW ² (µg/kg)	w. (N=50) MW ² (µg/kg)	P	n. w. (N=21) MW ² (µg/kg)	w. (N=53) MW ² (µg/kg)	P
NIV	65	143	0,7257	54	101	0,6038
DON	606	438	0,0413*	1648 (0,67) ¹	1726 (0,43) ¹	0,0730 ¹
15-ADON	-	-	-	167	97	0,5710
HT-2	96	46	0,2017	50	14	0,3635
T-2	28	23	0,1853	21	7	0,1848
ZON	28	13	0,1047	33	60	0,6647

* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001, n.w. = nicht wendend, w. = wendend

¹ Rangmittel (in Klammern dargestellt) und P-Wert des Mediantests

² Mittelwert (MW)

5.7.3 Toxingehalte von Stroh bei unterschiedlichen Lagerungsbedingungen

Nach der Ernte wurde das Stroh von den landwirtschaftlichen Betrieben unter verschiedenen Bedingungen bis zur Probenahme durch die amtlichen Probenehmer

Ergebnisse

gelagert. Es handelt sich hierbei nicht um die Auswertung eines Lagerversuches, bei dem eine Ausgangsprobe mehrfach beprobt wurde, sondern um eine Analyse unterschiedlicher verschieden lang und unter unterschiedlichen Bedingungen gelagerter Strohproben. Tabelle 30 zeigt die Ergebnisse des statistischen Vergleichs der Toxinwerte von verschiedenen Strohproben, die an unterschiedlichen Lagerorten gelagert wurden. Die Typ-B Trichothecene DON ($p = 0,0237$) und 15-ADON ($p = 0,0889$) zeigten in Weizenstroh signifikante bzw. tendenzielle Unterschiede mit höheren Gehalten in Proben, die im Freien gelagert wurden.

In Gerstenstroh zeigten die nach der statistischen Auswertung ermittelten Ergebnisse keine signifikanten Unterschiede im Toxingehalt bei im Freien oder unter Dach gelagerten Proben.

Tabelle 30: Toxingehalte in Weizen- bzw. Gerstenstroh bei unterschiedlichen Lagerorten

Toxin	Lagerort					
	Gerste			Weizen		
	u. D. (N=69) MW ² (µg/kg)	i. F. (N=8) MW ² (µg/kg)	P	u. D. (N=67) MW ² (µg/kg)	i. F. (N=11) MW ² (µg/kg)	P
NIV	87	339	0,3984	75	144	0,1849
DON	544	173	0,3054	1336	4288	0,0237*
15-ADON	-	-	-	130	141	0,0889
HT-2	66	34	0,6864	10	14	0,3405
T-2	28	15	0,4683	24 (0,49) ¹	19 (0,57) ¹	0,6127 ¹
ZON	20	11	0,6699	50	82	0,1300

$p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$, u.D. = unter dem Dach, i.F. = im Freien

¹ Rangmittel (in Klammern dargestellt) und P-Wert des Mediantests

² Mittelwert (MW)

Um signifikante Unterschiede im Toxingehalt von Stroh, das unterschiedlich lange eingelagert wurde, erfassen zu können, wurde mit Hilfe des Kruskal-Wallis-Tests der Toxingehalt in Proben mit der Lagerdauer von null bis fünf Monaten von der Ernte bis zur Probenahme mit dem Toxingehalt von Proben mit der Lagerdauer von sechs Monaten und länger nach der Ernte verglichen. Getrennt nach Weizen- und Gerstenstroh wurden die Toxingehalte bei Proben mit unterschiedlicher Lagerdauer statis-

Ergebnisse

tisch ausgewertet. Die Ergebnisse sind der Tabelle 31 zu entnehmen. Die Auswertung der Weizenstroh- und Gerstenstrohproben ergab keinen signifikanten Unterschied im Toxingehalt in kurz- bzw. lang gelagerten Proben.

Tabelle 31: Toxingehalte in Weizen- bzw. Gerstenstroh mit unterschiedlicher Lagerdauer

Toxin	Lagerdauer					
	Gerste			Weizen		
	kurz (N=28) MW ² (µg/kg)	lang (N=26) MW ² (µg/kg)	P	kurz (N=28) MW ² (µg/kg)	lang (N=18) MW ² (µg/kg)	P
NIV	51 (0,53) ¹	242 (0,47) ¹	0,4616 ¹	105	46	0,4177
DON	890	341	0,0768	2745	1507	0,9461
15-ADON	-	-	-	293	50	0,2433
HT-2	84	57	0,2419	11	19	0,3496
T-2	31	27	0,2741	10	5	0,3829
ZON	30	8	0,1328	60	54	0,6606

* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001

¹ Rangmittel (in Klammern dargestellt) und P-Wert des Mediantests

² Mittelwert (MW)

5.8 Korrelationen der analysierten *Fusarien*-Toxinen

5.8.1 Korrelationen zwischen den analysierten *Fusarien*-Toxinen innerhalb einer Strohart

Nach der Analyse aller 80 Weizenstrohproben wurden diese mit Hilfe der Proc Corr Prozedur auf Korrelationen einzelner Toxine untersucht und in Tabelle 32 dargestellt. Aufgrund des geringen Anteils an positiven Proben wurde für die Toxine 15-ADON, 3-ADON, DAS, T-2,3, NEO und FUS-X in Gerstenstroh und 3-ADON, SCIRP, MAS, DAS, T-2,4, T-2,3, FUS-X und NEO in Weizenstroh keine statistische Auswertung zur Prüfung der Korrelationen der Toxine vorgenommen.

Es zeigten sich zwischen allen statistisch ausgewerteten Typ-B Trichothecenen Beziehungen und auch das DON und das 15-ADON korrelieren mit dem ZON. Höchst

Ergebnisse

signifikante Korrelation der Typ-A Trichothezene HT-2 und T-2 untereinander konnte beobachtet werden.

Tabelle 32: Korrelationen zwischen den *Fusarium*-Toxinen in der Strohart Weizen (n= 80) aus beiden Versuchsjahren (2007/2008) (Korrelationskoeffizient/Signifikanz)

Weizen	NIV	DON	15-ADON	HT-2	T-2	ZON
NIV		0,25/*	0,22/*	-0,06/n.s.	-0,03/n.s.	0,09/n.s.
DON			0,66/***	-0,08/n.s.	-0,06/n.s.	0,40/***
15-ADON				-0,07/n.s.	-0,04/n.s.	0,46/***
HT-2					0,85/***	-0,10/n.s.
T-2						-0,05/n.s.
ZON						

* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001 , n.s. = nicht signifikant

In den untersuchten Gerstenproben konnte eine höchst signifikante Korrelation der Typ-A Trichothezene HT-2 und T-2 untereinander beobachtet werden. Jedoch konnte auch zwischen DON, HT-2 und T-2 eine Beziehung nachgewiesen werden, hier lagen die Korrelationskoeffizienten bei 0,34 und 0,37.

Tabelle 33: Korrelationen zwischen den *Fusarium*-Toxinen in der Strohart Gerste (n= 79) aus beiden Versuchsjahren (2007/2008) (Korrelationskoeffizient/Signifikanz)

Gerste	NIV	DON	HT-2	T-2	ZON
NIV		0,21/n.s.	0,07/n.s.	0,21/n.s.	0,05/n.s.
DON			0,34/**	0,37/**	0,19/n.s.
HT-2				0,65/***	-0,08/n.s.
T-2					-0,09/n.s.
ZON					

* p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001 , n.s. = nicht signifikant

Die in Tabelle 34 dargestellten Korrelationen der *Fusarium*-Toxine NIV, DON, HT-2, T-2 und ZON in der Strohart Hafer zeigen signifikante Beziehungen des NIV mit DON und dem Typ A-Trichothezen HT-2. Eine statistische Auswertung aller weiteren Toxine konnte auf Grund der geringen Anzahl an positiven Proben nicht vorgenommen werden.

Ergebnisse

Tabelle 194: Korrelation zwischen den *Fusarium*-Toxinen in der Strohart Hafer (n= 11) aus beiden Versuchsjahren (2007/2008) (Korrelationskoeffizient/Signifikanz)

Hafer	NIV	DON	HT-2	T-2	ZON
NIV		0,69/*	0,68/*	0,12/n.s.	- 0,22/n.s.
DON			0,52/n.s.	- 0,04/n.s.	0,32/n.s.
HT-2				0,30/n.s.	- 0,50/n.s.
T-2					- 0,27/n.s.
ZON					

* $p < 0,05$; n.s. = nicht signifikant

Eine statistische Auswertung der Korrelationen in Triticalestroh konnte für die Toxine NIV, DON, HT-2 und ZON durchgeführt werden. Mit der SAS Prozedur PROC CORR konnte mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,60 eine signifikante Beziehung zwischen den Toxinen NIV und DON nachgewiesen werden.

Tabelle 35: Korrelation zwischen den *Fusarium*-Toxinen in der Strohart Triticale (n= 12) aus beiden Versuchsjahren (2007/2008) (Korrelationskoeffizient/Signifikanz)

Triticale	NIV	DON	HT-2	ZON
NIV		0,60/*	0,49/n.s.	- 0,23/n.s.
DON			0,02/n.s.	- 0,19/n.s.
HT-2				0,52/n.s.
ZON				

* $p < 0,05$; n.s. = nicht signifikant

Für die in Tabelle 36 dargestellten Korrelationen in Roggenstroh konnten die *Fusarium*-Toxine NIV, DON und ZON berücksichtigt werden. Alle weiteren Toxine wiesen eine zu geringe Anzahl an positiven Proben auf. Es konnten keine signifikanten Korrelationen der einzelnen Toxine untereinander beobachtet werden.

Ergebnisse

Tabelle 36: Korrelation zwischen den *Fusarium*-Toxinen in der Strohart Roggen (n=12) aus beiden Versuchsjahren (2007/2008) (Korrelationskoeffizient/Signifikanz)

Roggen	NIV	DON	ZON
NIV		0,31/n.s.	- 0,05/n.s.
DON			0,11/n.s.
ZON			

n.s. = nicht signifikant

5.8.2 Korrelation der analysierten Toxine mit dem Hygienestatus

Mit Hilfe der Prozedur Proc corr des Statistikpaketes SAS wurden die Korrelationen der einzelnen Toxine mit den Werten der sensorischen Prüfung ermittelt. Toxine, die einen Wert unterhalb von 20% an positiven Proben aufwiesen, wurden für diese Berechnung nicht mit einbezogen.

2007 konnten Korrelationen zwischen den Werten des Hygienestatus und den Gehalten der Toxine NIV, T-2,4 und HT-2 beobachtet werden. Auch 2008 konnten bei annähernd gleichem p-Wert ($p = 0,0368$) wie schon im Jahr zuvor signifikante Korrelationen des NIV-Gehaltes mit den Werten des Hygienestatus beobachtet werden. Die Auswertung aller 201 Strohproben aus den 2 Versuchsjahren zeigt, dass der Wert der Korrelation bei den Toxinen NIV, T-2,4 und HT-2 signifikant ($p < 0,05$) war.

Tabelle 37: Korrelation der analysierten Toxine mit den Werten des Hygienestatus aus den Erntejahren 2007 und 2008 (Korrelationskoeffizient/Signifikanz)

Jahr	NIV	DON	15-ADON	T-2,4	HT-2	T-2	ZON
insges.	-0,20/ **	-0,07/ n.s.	-0,00/ n.s.	-0,18/ *	-0,15/ *	-0,10/ n.s.	-0,09/ n.s.
2007	-0,2/ *	-0,08/ n.s.	0,02/ n.s.	-0,27/ **	-0,19/ *	-0,04/ n.s.	-0,14/ n.s.
2008	-0,21/ *	-0,06/ n.s.	-0,01/ n.s.	-	-0,13/ n.s.	-0,15/ n.s.	-0,04/ n.s.

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$, n.s. = nicht signifikant

Mit Hilfe der Prozedur Proc corr (SAS) wurden die Ergosteringehalte mit den Werten aus der sensorischen Prüfung korreliert. Die Auswertung ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Hygienestatus und dem Ergosteringehalt, mit einem Korrelationskoeffizienten von $-0,0369$ und einem p-Wert von $0,009$.

5.9 Versuchsergebnisse zu den maskierten Toxinen

Mykotoxine können in modifizierter, also chemisch veränderter Form vorliegen. Man bezeichnet sie daher auch als maskiert. Es wurden Proben aus den vom Screeningversuch stammenden Strohproben für die Analyse auf maskierte Toxine eingesetzt. Weiterhin wurden Futterkomponenten aus den von den Kollegen in Braunschweig durchgeführten Kinetik- und Bilanzversuchen für die Versuche verwendet, um Ergebnisse über einen möglichen Gehalt maskierter Toxine mit den Resultaten aus den Versuchen zur Bioverfügbarkeit von Toxinen beim Schwein vergleichen zu können. Zur Erfassung der maskierten Toxine wurde die chemische bzw. enzymatische Hydrolyse sowie ein *in vitro*-Modell zur Simulation des Magen-Darm Traktes eingesetzt.

5.9.1 Chemische Hydrolyse - Hydrolyse mit TFA

Um eventuell maskierte *Fusarium*-Toxine aus ihren Bindungen zu lösen, wurden die Proben mit einem Acetonitril/Wassergemisch extrahiert. Es wurde anschließend mit einem Teil des Extraktes eine saure Hydrolyse von Strohproben mit TFA mittels modifizierter Methode nach Liu et al. (2005) und Zhou et al. (2007) durchgeführt und danach über Festphasenextraktion aufgereinigt. Mit einem Aliquot des Extraktes erfolgte eine Festphasenextraktion ohne vorherige Säurebehandlung.

Für eine Zugabe von $1200 \mu\text{g}/\text{kg}$ DON ergab sich für die Analyse ohne Säurebehandlung eine Wiederfindungsrate von $89 \% \pm 5,4 \%$, für eine Analyse mit Säurebehandlung eine Wiederfindungsrate von $68 \% \pm 50,6$. Dies deutet auf eine unreproduzierbare Zersetzung des Toxins infolge der Säurebehandlung hin, dies spiegelte sich auch bei der Analyse ausgesuchter Strohproben wider. Hier betrug der DON-Gehalt nach Säurebehandlung zwischen 125 und 0% des Wertes ohne Säurebehandlung.

Ergebnisse

Aufgrund seiner Struktur ist das ZON nicht in dem Maße säurelabil wie die Trichothecene. Eine statistische Auswertung konnte für die ZON-Gehalte nicht erfolgen, da aufgrund begrenzter möglicher Analysenzahlen keine Wiederholungen je Probe durchgeführt wurden. Die Werte für dieses Toxin sind in Tabelle 38 dargestellt. Probe Nr. 1, 4, 5 und 6 wiesen höhere Werte in der Variante mit TFA-Aufschluss auf.

Tabelle 38: Behandlungsmodell für ZON mit Trifluoressigsäure (TFA) im Vergleich zur Behandlung ohne TFA (Behandlung ohne TFA = 100%)

Variante	Probe Nr.	ZON (% von Beh. ohne TFA)
Behandlung <u>mit</u> TFA	1	157 %
	2	86 %
	3	94 %
	4	150 %
	5	167 %
	6	115 %

5.9.2 Enzymatische Hydrolyse - Behandlung mit Clara-Diastase

Bei diesem *in vitro*-Versuch wurden je Probe und Behandlung 3 Wiederholungen durchgeführt.

Es ergab sich kein signifikanter Einfluss der Behandlung, also der Zugabe des Gemisches an Verdauungsenzymen, auf den DON-Gehalt der Proben. Der P-Wert für die Behandlung lag bei 0,2567 und somit über dem Signifikanzniveau. Auch der ZON-, HT-2 und T-2 Gehalt wurde durch die enzymatische Hydrolyse nicht signifikant erhöht.

Ergebnisse

Tabelle 39: Vergleich der Behandlungsmodelle mit bzw. ohne Clara-Diastase

Behandlungsmodell				
	DON (% von Beh. ohne Enzym)		DON (Beh. ohne Enzym = 100%)	P
Beh. <u>mit</u> Clara- Diastase	101%	Beh. <u>ohne</u> Clara- Diastase	100%	0,2567
Behandlungsmodell				
	ZON (% von Beh. ohne Enzym)		ZON (Beh. ohne Enzym = 100%)	P
Beh. <u>mit</u> Clara- Diastase	96%	Beh. <u>ohne</u> Clara- Diastase	100%	0,6899
Behandlungsmodell				
	HT-2 (% von Beh. ohne Enzym)		HT-2 (Beh. ohne Enzym = 100%)	P
Beh. <u>mit</u> Clara- Diastase	105%	Beh. <u>ohne</u> Clara- Diastase	100%	0,8609
Behandlungsmodell				
	T-2 (% von Beh. ohne Enzym)		T-2 (Beh. ohne Enzym = 100%)	P
Beh. <u>mit</u> Clara- Diastase	98%	Beh. <u>ohne</u> Clara- Diastase	100%	0,9214

-In vitro-Modell des Verdauungstraktes

Das *in vitro*-Modell wurde zur Simulierung der *in vivo*-Bedingungen (pH-Wert, Einfluss von Verdauungsenzymen, Temperatur, Durchlaufzeit) des Gastrointestinaltraktes des Schweins verwendet. Eine mögliche Freisetzung maskierter Toxine im tierischen Verdauungstrakt sollte damit überprüft werden. Jede untersuchte Probe wurde in diesem Versuch 12 Mal aufgearbeitet, wobei die Hälfte der Untersuchungen je Probe mit Magensaft (3 mit Enzym- und 3 ohne Enzymzusatz) und die andere Hälfte mit Darmsaft (3 mit Enzym- und 3 ohne Enzymzusatz) durchgeführt wurde. In dem *in vitro*-Versuch war die Probenmenge, die zum Test eingesetzt werden konnte, durch das notwendige Volumenverhältnis von Probe zu Inkubationsmedium begrenzt. Durch die geringe Einwaage fielen Inhomogenitäten der auf 1 mm gemahlene Proben stärker ins Gewicht. Auf eine weitergehende Zerkleinerung

Ergebnisse

der Proben wurde jedoch verzichtet, da durch eine solche Maßnahme die Probenoberfläche so stark vergrößert worden wäre, dass die Abweichungen zu *in vivo*-Bedingungen sehr stark gewesen wären. Der Vergleich der Behandlung aller Proben mit Enzym mit der Behandlung aller Proben ohne Enzym ergab keine Unterschiede im Toxingehalt. Einzig der in Tabelle 40 gezeigte Vergleich der Magensaftproben mit Enzym mit den Magensaftproben ohne Enzym zeigte einen signifikanten Einfluss der Enzymwirkung auf den DON-Gehalt der Proben mit einem P-Wert von 0,0364. Auch bei HT-2 und T-2 konnte nach der Behandlung kein signifikant höherer Toxingehalt festgestellt werden.

Tabelle 40: Vergleich der Behandlungsmodelle des Magen-Darm Modells

Behandlungsmodell				
	DON (% von Beh. ohne Enzym)		DON (Beh. ohne Enzym = 100%)	P
Behandlung <u>mit</u> Enzym	99%	Behandlung <u>oh-</u> <u>ne</u> Enzym	100%	0,9072
Magensaft mit Enzym	94%	Magensaft ohne Enzym	100%	0,0364*
Darmsaft mit Enzym	105%	Darmsaft ohne Enzym	100%	0,8312
Behandlungsmodell				
	HT-2 (% von Beh. ohne Enzym)		HT-2 (Beh. ohne Enzym = 100%)	P
Behandlung <u>mit</u> Enzym	107%	Behandlung <u>oh-</u> <u>ne</u> Enzym	100%	0,5532
Magensaft mit Enzym	101%	Magensaft ohne Enzym	100%	0,8735
Darmsaft mit Enzym	112%	Darmsaft ohne Enzym	100%	0,4532
Behandlungsmodell				
	T-2 (% von Beh. ohne Enzym)		T-2 (Beh. ohne Enzym = 100%)	P
Darmsaft mit Enzym	146%	Darmsaft ohne Enzym	100%	0,4532

* p < 0,05

6 Diskussion

6.1 Sensorische Prüfung

Es ergab sich ein Mittelwert für den Hygienestatus des Strohs für das Erntejahr 2007 von – 5,15 und 2008 ein Mittelwert von – 4,8. Nach Tabelle 14 kann der Hygienestatus des Strohs aus dem Jahr 2007 und auch 2008 mit „leichten Mängeln“ beurteilt werden. Nach Kamphues et al. (2004) ist eine mikrobiologische und mykologische Untersuchung des Strohs erst ab einem Wert für den Hygienestatus von -6 notwendig, um nähere Informationen zum Kontaminationsstatus zu erhalten. Nach Angaben des Autors sollte bei Stroh mit leichten Hygienemängeln lediglich bezüglich der Lagerung Vorsicht geboten sein.

Die untersuchten Strohproben des ersten Versuchsjahres wiesen eine schlechtere Qualität im Vergleich zum Stroh des zweiten Versuchsjahres auf. Der Anteil an Proben mit deutlichen bis massiven Mängeln war 2007 um 7 % höher im Vergleich zu 2008.

Auch Wichert (2008) untersuchte Getreidestroh mittels desselben Schlüssels und fand in mehr als 2/3 der Proben nur leichte Mängel. 30 % der Proben zeigten in seiner Untersuchung deutliche Mängel. Das deckt sich mit den bei dieser Arbeit ermittelten Werten. Über beide Versuchsjahre gesehen wiesen 30,8 % der Proben deutliche Mängel auf.

In dem zweiten Versuchsjahr war die mittlere Niederschlagsmenge geringer im Vergleich zum ersten Versuchsjahr, was zu dem beschriebenen Unterschied in der sensorischen Beurteilung geführt haben könnte. Die Korrelationen des Hygienestatus zeigten teilweise signifikante Zusammenhänge mit dem Toxingehalt, wenn auch auf einem sehr geringen Niveau (siehe Tabelle 37). Die beobachteten Korrelationen sind jedoch so gering, dass vermutlich andere Pilze als *Fusarien* für die sensorischen Veränderungen bzw. die schlechtere Qualität verantwortlich sind.

In dieser Untersuchung traten Toxinkonzentrationen mit bedenklichem Niveau auf, ohne dass dies nach dem Schlüssel von Kamphues et al. (2004) zu erwarten gewesen wäre.

6.2 Trockensubstanz

In den Erntejahren 2007 und 2008 lag der mittlere Trockensubstanzgehalt bei 89,1 % bzw. 88,6 %. Jahresunterschiede waren nicht festzustellen.

Eine höhere Feuchtigkeit bei länger gelagerten Strohproben konnte bei diesem Screening, das unter praxisüblichen Bedingungen stattfand, nicht nachgewiesen werden. Das Lagertoxin OA wird von Pilzen der Spezies *Aspergillus* und *Penicillium* gebildet. Laut Magan und Aldred (2007) benötigen diese Pilzgattungen einen Feuchtigkeitsgehalt von 15-19 % für ihr Wachstum. Mit Feuchtigkeitsgehalten von ca. 11 % lag bei dieser Studie somit kein optimales Feuchtigkeitsmilieu für ein Wachstum dieser Pilze vor. Dass OA in diesem Versuch nur ein Mal detektiert werden konnte, könnte eine Folge des hohen TS-Gehaltes sein. Laut Lacey et al. (1999), die Magan und Lacey (1984) zitieren, kann ein Wachstum von *Fusarien* in gelagertem Getreide vorkommen. Es bedarf jedoch feuchten Bedingungen mit aw Werten von über 0,87. Vermutlich spielt die Menge an verfügbarer Energie (Stärke) und Stickstoff für *Penecillien* und *Aspergillen* eine wesentliche Rolle.

Die Strohproben wiesen ein sehr trockenes Milieu in diesem Versuch auf, welches mit zunehmender Lagerdauer absank, was somit möglicherweise eine Zunahme des Toxingehaltes mit der Zeit verhinderte.

6.3 Ergosteringehalt

Um den Verpilzungsgrad der Strohproben zu ermitteln, wurde Ergosterin als chemischer Indikator für die von Pilzen gebildete Biomasse in Getreidestroh bestimmt.

In den 49 untersuchten Getreidestrohproben der Ernte 2007 wurde ein mittlerer Ergosteringehalt von 177 mg/kg nachgewiesen. Im Weizenstroh wurde mit 178 mg/kg Ergosterin ein geringfügig höherer Mittelwert im Vergleich zum Gerstenstroh (172 mg/kg Ergosterin) analysiert. Ein Maximumwert von 297 mg/kg Ergosterin wurde detektiert. Nach Schnürer und Jonsson (1992), zitiert von Reiman (1994), weisen Getreidekörner bei einem Ergosteringehalt von < 3 mg/kg Nahrungsmittelqualität auf und bei einem Gehalt zwischen 3 und 6 mg/kg Futterqualität. In Gersten- und Weizenkörnern ermittelten Müller und Lehn (1988) Ergosteringehalte von 2,43 mg/kg bzw. 1,96 mg/kg und damit deutlich niedrigere Werte als die in der Strohfraktion ana-

Diskussion

lysierten Gehalte. Es kann demnach davon ausgegangen werden, dass der Ergosteringehalt im Stroh höher ist im Vergleich zum Korn. Vermutlich kann man im Stroh von einer komplexeren Pilz-Soziologie ausgehen im Vergleich zum Getreidekorn.

Da sich die Infektionswege der *Fusarien* im Getreidekorn und –stroh unterscheiden, ist kein direkter Vergleich der Fraktionen möglich.

Ergosteringehalte im Korn können sich je nach Getreideart unterscheiden (Müller und Lehn, 1988; siehe Tabelle 1). Diese Beobachtung kann beim Stroh nicht ausgeschlossen werden. Des Weiteren ermittelten Müller und Lehn (1988) Schwankungen im Ergosteringehalt zwischen den einzelnen Versuchsjahren, die sie mit unterschiedlich hohen Niederschlagsmengen erklärten. Die in dieser Arbeit untersuchten Strohproben stammen aus dem Erntejahr 2007, das im Vergleich zum Jahr 2008 regenreicher war, weshalb optimalere Bedingungen zur Ergosterinproduktion vorgelegen haben. Daten über Ergosteringehalte im Getreidestroh liegen bis jetzt nicht vor, daher kann ein direkter Vergleich des Ergosteringehaltes im Korn und im Stroh nicht erfolgen. Damit können die Beurteilungskriterien für Körner hinsichtlich ihrer Qualität auch nicht auf das Stroh übertragen und angewandt werden.

Da Vergleichsdaten kaum vorhanden sind, liefert diese Arbeit erste Werte zum Gehalt von Ergosterin in Stroh. Auf Grund der Tatsache, dass das Ergosterin auch von anderen Pilzen als den *Fusarien* gebildet werden kann, die andere als in dieser Arbeit analysierte oder keine Mykotoxine bilden können, ist die Bewertung der *Fusarium*-Toxinkontamination von Getreidestroh über den Ergosteringehalt nicht eindeutig möglich. Da die Proben natürlich kontaminiert waren und damit neben *Fusarien* eine Vielzahl anderer Pilze auftreten können, wurde diese Korrelation nur der Vollständigkeit halber untersucht. Die errechneten Korrelationskoeffizienten belegten keine ausreichende Korrelation der beiden Parameter.

Die im Stroh ermittelten Ergosteringehalte sind im Vergleich zu den Ergebnissen anderer Autoren zum Gehalt an Ergosterin in der Kornfraktion der Getreidepflanze höher.

6.4 Häufigkeit des Vorkommens von *Fusarium*-Toxinen in Stroh

Die Ergebnisse der Toxinanalyse machen deutlich, dass alle untersuchten Strohproben der Getreidepflanzen mit *Fusarium*-Toxinen kontaminiert sein können.

Untersuchungen von Schollenberger et al. (2006), Reimann (1994) und Müller et al. (1998) dokumentieren das gemeinsame Auftreten mehrerer *Fusarium*-Toxine in Körnern verschiedener Getreidearten.

Nur in 4 % der Proben wurde keines der analysierten Toxine nachgewiesen. Die vorliegenden Ergebnisse der Strohuntersuchung bestätigen das Vorkommen mehrerer Toxine in einer Probe.

Im ersten Versuchsjahr konnten bis zu 10 der analysierten Toxine in einer Probe nachgewiesen werden, im Erntejahr 2008 waren es bis zu 7. Im Mittel wurden bis zu 3 Toxine gleichzeitig in einer Strohprobe detektiert. In der Praxis ist demnach neben dem am häufigsten detektierten Toxin DON auch mit dem Auftreten weiterer Toxine wie ZON, HT-2 und T-2 zu rechnen.

Mit 59 % trat in Weizenstroh die Kombination der Toxine ZON mit DON am häufigsten auf. Dieses Ergebnis lässt auf einen Befall des Weizenstrohs mit den Arten *F. graminearum* und *F. culmorum* schließen, die sowohl ZON als auch DON bilden. Die zweit häufigste Kokontamination in Weizen war die der Toxine DON und HT-2. Eine gleichzeitige Kontamination Typ B- und Typ A-bildender *Fusarium*-Stämme scheint hierfür verantwortlich zu sein. In Gerstenstroh wurde mit 58 % die häufigste Kokontamination der Toxine HT-2 und T-2 nachgewiesen. Dieses Ergebnis zeigt die nahe Verwandtschaft dieser Toxine aufgrund gemeinsamer Stoffwechselwege. Da in der vorliegenden Arbeit auch eine Korrelation dieser beiden Toxine in Gerstenstroh nachgewiesen wurde, könnte eine Kontamination mit *F. langsethiae* oder auch *F. sporotrichioides* vorherrschen. Da auch in dieser Getreideart eine Kombination von HT-2 und DON häufig beobachtet werden konnte, ist eine gleichzeitige Infektion mit *F. langsethiae*/*F. sporotrichioides* und Typ B bildenden *Fusarium*-Stämmen wie *F. graminearum* und *F. culmorum* anzunehmen.

In dem durchgeführten deutschlandweiten Screeningversuch wurde DON in 83 % der Proben mit einem mittleren Gehalt von 1234 µg/kg und einem maximalen Wert von 23269 µg/kg analysiert. Somit stellt das von *Fusarium* gebildete Toxin DON in Ge-

Diskussion

treidestroh, in Übereinstimmung mit Untersuchungen von Getreidekörnern aus Deutschland (Kuhlman et al. (1996), Müller et al. (2001), Müller et al. (1997), Schollenberger et al. (2006)), das in den höchsten Konzentrationen und das am häufigsten vorkommende Mykotoxin dar.

Töpfer (2006) untersuchte Getreidestroh auf DON und ermittelte einen mittleren Wert im Getreidestroh (n=147; Weizen, Gerste, Hafer, Triticale) von 790 µg/kg. Dieser Toxingehalt liegt unter dem des in dieser Untersuchung ermittelten Wertes. Variationen im DON-Gehalt können jedoch auch durch unterschiedliche Versuchsjahre, regional unterschiedliche Beprobungsgebiete und Analysemethoden hervorgerufen werden.

Die Toxine HT-2 und ZON wurden in 55 % und 46 % der Proben nachgewiesen. Dabei kann der hohe Anteil an HT-2 positiven Proben auch durch den höheren Anteil an Gerstenproben erklärt werden.

NIV wurde in 32 % der Proben detektiert. FUS-X konnte in den zwei Versuchsjahren nur in einem Fall nachgewiesen werden. Auch Untersuchungen von Schollenberger et al. (2006) an Weizen- und Haferkornproben zeigten nur einen geringen Anteil an Proben, in denen FUS-X nachgewiesen werden konnte.

Alle Toxine der SCIRP-Gruppe wurden mit einem Anteil an positiven Proben unterhalb von 10 % in der Gesamtzahl an Proben detektiert. Die Maximumwerte für SCIRP und MAS lagen bei 640 µg/kg und 29 µg/kg. Im Gegensatz dazu fanden Schollenberger et al. (2006) in Weizen- und Haferkörnern einen Anteil an positiven Proben bei SCIRP und MAS von 5-53 % und 2-29 %. Die Maximumwerte dieser beiden Toxine lagen bei 161 µg/kg (SCIRP) und bei 27 µg/kg (MAS). Damit ist der SCIRP- Maximumwert im Vergleich zu der vorliegenden Arbeit um ein Vielfaches geringer.

Sowohl die Toxine HT-2 und T-2 als auch die Toxine der SCIRP-Gruppe wurden in der Matrix Stroh in der vorliegenden Arbeit erstmals untersucht, damit ist kein Vergleich dieser Ergebnisse möglich. Dieser Screeningversuch von Stroh liefert besonders für diese Toxine eine Datenbasis und zeigt erste Werte für das Vorkommen und die Gehalte in dieser Getreidefraktion.

Wie schon in anderen Arbeiten (Schollenberger et al., 2006; Hocke, 2008) zeigte sich auch bei dieser Studie eine höhere Präsenz des HT-2 gegenüber dem T-2. Hocke (2008) untersuchte 800 Lebensmittelproben auf ihren HT-2 und T-2 Gehalt und fand in einem Drittel der Proben eine Kontamination mit T-2 und in zwei Drittel der Proben

eine Kontamination mit HT-2. Insgesamt, bezogen auf alle Getreidearten, wurde ein Verhältnis dieser beiden Toxine von 1,48:1 festgestellt.

6.4.1 Jahresunterschiede

Birzele et al. (2000) fanden heraus, dass sich das Vorkommen der verschiedenen *Fusarium*-Arten am gleichen Standort in den Jahren verändern kann. Sie untersuchten das Auftreten verschiedener *Fusarium*-Arten an Weizenkörnern in den Jahren 1997 und 1998 und beobachteten einen Rückgang in den *F. poae* Konzentrationen von 26 % (1997) auf unter 10 % (1998). *F. avenaceum* war über 20 % stärker vertreten im zweiten Versuchsjahr im Vergleich zum ersten Jahr. *F. tricinctum* konnte im ersten Jahr noch nachgewiesen werden und in 1998 nicht mehr. Änderungen im *Fusarium*-Spektrum können zu den signifikanten Jahresunterschieden einzelner Toxine beitragen.

Die Kontaminationsrate sowohl in Bezug auf den Gehalt an positiven Proben, als auch den Toxingehalt aller statistisch auswertbaren Toxine lag in dem regenreichen Versuchsjahr 2007 höher als in 2008 mit einer trockeneren Witterung (Ausnahme HT-2 und T-2).

Die jahresspezifischen Unterschiede im Toxingehalt konnten mit Hilfe des Kruskal Wallis Test statistisch ausgewertet werden (siehe Tabelle 21). DON zeigte keinen signifikanten Unterschied im Toxingehalt zwischen den Jahren 2007 und 2008. Signifikant höhere Toxingehalte konnten bei den Toxinen NIV, 15-ADON und ZON im Erntejahr 2007 ermittelt werden. HT-2 und T-2 Gehalte lagen in 2008 höher als in 2007. Selbiges gilt auch für die Anzahl an positiven Proben, die sich mit den Ergebnissen des statistischen Jahresvergleichs decken. Dies könnte bedeuten, dass sich in den zwei Erntejahren unterschiedliche *Fusarium*-Arten auf der Strohfraktion befanden.

Aus zahlreichen Untersuchungen (Koch et al., 2006; Lienemann et al. 2003; Mansfield et al., 2005) von Getreidekörnern ist bekannt, dass *Fusarium*-Toxinkontaminationen durch Umwelteinflüsse wie Niederschlag und Temperatur beeinflusst werden können. Untersuchungen zu Witterungsvoraussetzungen für die Infektion von Getreidestroh mit *Fusarium*-Toxinen sind nicht bekannt, jedoch deuten die erzielten Ergebnisse auf einen ähnlichen Einfluss der Witterung hin. In den Erntejahren 2007 und 2008 lagen die Niederschlagsmengen von März bis Juli zwischen

38 und 98 mm, waren jedoch 2007 in den Monaten Mai, Juni und Juli um 95 mm, 53 mm bzw. 37 mm höher als in den entsprechenden Monaten des Erntejahres 2008 (Daten: Deutscher Wetterdienst).

Die erzielten Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Wetterbedingungen in den Vegetationsmonaten (März bis Juli) sich nicht nur auf den Toxingehalt von Getreidekörnern auswirken, sondern auch einen Einfluss auf den Gehalt an *Fusarium*-Toxinen im Getreidestroh haben.

Edwards (2009) untersuchte in Großbritannien in den Jahren 2001 bis 2005 konventionell und ökologisch angebauten Weizen auf *Fusarium*-Toxine. Er fand, wie bei der vorliegenden Untersuchung auch festgestellt wurde, höchst signifikante Jahresunterschiede bei der Auswertung der Toxine HT-2 + T-2 und ZON über die Versuchsjahre. Bei einer ähnlichen - von ihm durchgeführten - Untersuchung (Edwards, 2009) an Gerstenkörnern konnte bezüglich der Toxine HT-2 + T-2 dieselbe Beobachtung gemacht werden. Auch hier waren die Unterschiede zwischen den Versuchsjahren höchst signifikant.

Ein Screening von Haferkörnern führten Müller et al. (1997) in den Jahren 1987, 1989, 1990, 1991 und 1992 durch und ermittelten bei den Toxinen DON, 3-ADON, NIV, HT-2 und T-2 teilweise signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsjahren.

Müller et al. (2001) untersuchten in Süddeutschland Weizenkornproben auf ihren Mykotoxingehalt und beobachteten 1993 höhere Gehalte des Toxins 3-ADON im Vergleich zu allen anderen Versuchsjahren. Als einer der Gründe hierfür wurde der höhere Niederschlag während der Sommermonate im Jahr 1993 in dieser Region genannt. Die Unterschiede im Niederschlag waren jedoch nicht so ausgeprägt, wie für früher beschriebene sogenannte *Fusarium*-Jahre festgestellt wurde.

6.4.2 Vergleich der Toxinspektren aller untersuchten Getreidestrohart

Für die Getreidearten Weizen und Gerste konnte eine statistische Auswertung differenziert für beide Erntejahre erfolgen. Für Hafer-, Triticale- und Roggenstroh wurde auf Grund der geringen Probenzahl eine Auswertung über beide Erntejahre zusammen durchgeführt.

Diskussion

Studien zum Vorkommen von unterschiedlichen *Fusarium*-Arten auf den einzelnen Getreidekornarten sind bekannt. Es liegen jedoch nur sehr wenige Daten über das Vorkommen verschiedener *Fusarium*-Arten in der Strohfraktion unterschiedlicher Getreidepflanze vor.

Statistisch abgesicherte Vergleiche zum Vorkommen von Mykotoxinen in unterschiedlichen Getreidekornarten liegen nur vereinzelt vor. Im Getreidestroh sind bislang jedoch keine Untersuchungsergebnisse bekannt, bei denen das Vorkommen von 15 Mykotoxinen in 5 verschiedenen Getreidearten miteinander verglichen wurde. Umfassende Mykotoxinuntersuchungen in Roggenstroh wurden noch nicht durchgeführt.

Alle Getreidearten weisen eine unterschiedliche Verteilung der Mykotoxine auf der Pflanze auf und haben ebenso gemeinsam, dass sich die Studien fast ausschließlich auf die Toxine DON und ZON konzentrieren. Einen Rückschluss vom Befall des Kornes auf die Mykotoxinbelastung des Strohs zu ziehen ist nur sehr eingeschränkt möglich und damit ist auch der Vergleich von Daten aus Studien, die ausschließlich die Mykotoxinbelastung im Korn erfassen, nur sehr bedingt mit den in dieser Arbeit ermittelten Werten möglich.

In dieser Untersuchung zeigte der Vergleich des Strohs der beiden Getreidearten Weizen und Gerste, dass diese ein unterschiedliches Toxinspektrum aufweisen. Insgesamt wurden in den beiden Erntejahren 80 Weizen- und 79 Gerstenstrohproben analysiert. Signifikant höhere Gehalte der Toxine DON und 15-ADON konnten über beide Versuchsjahre hinweg in Weizenstroh im Vergleich zum Gerstenstroh ermittelt werden. Im Erntejahr 2007 zusätzlich noch das Toxin 3-ADON mit derselben Verteilung. Dominierend in Gerstenstroh waren die Toxine HT-2 und T-2 über beide Versuchsjahre und T-2,4 und SCIRP im Erntejahr 2007. Auch im Vergleich zum Roggen- und Triticalestroh zeigten sich signifikant höhere Gehalte der Toxine HT-2 und T-2 in Gerste.

ZON zeigte sowohl im ersten als auch im zweiten Versuchsjahr höhere Gehalte in Weizen. Mit einem p-Wert von 0,0539 lag das Ergebnis im Jahr 2007 jedoch knapp über dem Signifikanzniveau. 2008 konnte der höhere ZON-Gehalt im Weizenstroh im Vergleich zum Gerstenstroh statistisch abgesichert werden.

Diskussion

DON und 15-ADON zeigten signifikant verschiedene Gehalte mit höheren Toxinwerten in Weizen- im Vergleich zum Roggenstroh. Auch das 15-ADON trat mit signifikant höheren Gehalten in Weizen im Vergleich zum Haferstroh auf.

Krauthausen et al. (2003) führten Untersuchungen an Winterweizenkörnern in Rheinland-Pfalz durch und konnten hauptsächlich die DON-bildenden Arten *F. graminearum* und *F. culmorum* bestimmen, *F. avenaceum* und *F. poae* konnten auch identifiziert werden, spielten jedoch eine untergeordnete Rolle. Köhl und Waalwijk (2007) wiesen in Weizenbeständen in den Stängeln und Blättern das Auftreten mehrerer *Fusarium*-Arten wie *F. culmorum*, *F. avenaceum* und *F. graminearum* auf. Auch Duben, zitiert aus Waalwijk und Köhl (2007), konnte in Getreidehalmen diese drei *Fusarium*-Spezies nachweisen. Die signifikant höheren DON-Gehalte im Weizenstroh im Vergleich zum Gersten- und Roggenstroh könnten sich durch das unterschiedliche Spektrum an *Fusarium*-Arten erklären.

Müller et al. (2001) kamen in ihrer Studie an Weizenkörnern auf diese Anzahl an DON positiven Proben. Auch Edwards (2009) untersuchte in den Jahren 2001 bis 2005 1624 Weizenkornproben in Großbritannien und fand in 86 % der Proben DON oberhalb von 10 µg/kg. In dem vorliegenden Projekt waren 91 % der Weizenstrohproben mit DON kontaminiert, jedoch lag hier die Nachweisgrenze im Vergleich zu Edwards Studie nicht bei 10 µg/kg sondern bei 6 µg/kg, wodurch sich eine höhere Zahl an positiven Proben herleiten lässt. Edwards ermittelte einen mittleren DON-Gehalt im Weizenkorn von 230 µg/kg. Der Mittelwert dieser Arbeit für DON im Weizenstroh lag bei 1584 µg/kg und damit fast 7-mal so hoch im Vergleich zum DON-Gehalt im Weizenkorn (Edwards, 2009). Ein direkter Vergleich ist dennoch nicht möglich, da Edwards Untersuchungen in Großbritannien stattfanden und dort eine andere Landwirtschaft in Bezug auf den Maisanbau betrieben wird (weniger Vorfrucht Mais). Auch die unterschiedlichen Untersuchungsjahre sollten bei dem Vergleich der Werte berücksichtigt werden. Des Weiteren wurden unterschiedliche Analysenmethoden verwendet und auch eine unterschiedliche Probenahme kann gerade bei niedrigen DON-Konzentrationen zu erhöhten Variationskoeffizienten führen (Whitaker et al., 2000).

Köhl und Waalwijk (2007) konnten in abgereiften Halmteilen eine stärkere Besiedlung mit *F. graminearum* beobachten, im Vergleich zu den Ähren, was zu höheren

Diskussion

Toxingehalten in der Strohfraktion als im Korn führen könnte. Es ist jedoch nicht geklärt, welche Rolle die Blattwelkephase für die Dauer der Toxinentwicklung spielt.

1,37 mg/kg DON ermittelten Töpfer et al. (2007) in ihren Untersuchung von 70 Weizenstrohproben, was sich in etwa mit dem hier ermittelten DON-Wert deckt. Im Gegensatz dazu fanden White et al. (2007) in 40 Weizenstrohproben aus dem Jahr 2005 aus Großbritannien nur 460 µg/kg DON im Mittel und einen Maximumwert von 1955 µg/kg. Die in dieser Untersuchung nachgewiesenen starken Jahresschwankungen machen einen Vergleich von Daten aus unterschiedlichen Jahren nicht einfach und sollten bei der Interpretation berücksichtigt werden.

ZON wurde in 55 % der Weizenstrohproben detektiert mit einem mittleren Gehalt von 89 µg/kg. Neben DON untersuchte Töpfer auch ZON im Weizenstroh, kam aber mit einem Mittelwert von 39 µg/kg auf weniger als 50 % im Vergleich zu dem Wert, der in dieser Arbeit ermittelt wurde. Die Unterschiede im Toxingehalt variieren jedoch oftmals von Jahr zu Jahr (siehe Tabelle 21), sodass derartige Schwankungen in einer Komponente vorliegen können.

Die von Müller et al. (2001) durchgeführten Untersuchungen in Südwestdeutschland zeigten einen Anteil an ZON-positiven Weizenkornproben von ca. 20% mit einem Mittelwert von 8,9 µg/kg, die Belastungssituation des Weizenkorns mit ZON scheint im Vergleich zum Weizenstroh geringer zu sein, was Untersuchungen von Töpfer et al. (2007) bestätigen. So lag sowohl der DON- als auch der ZON-Gehalt im Weizenkorn niedriger im Vergleich zum Weizenstroh.

Nach Heß et al. (2009) treten auf Gerstenkörnern vor allem die *Fusarium*-Arten *F. poae*, *F. tricinctum*, *F. sporotrichioides* und *F. avenaceum* auf. Als typischen DON-Bildner konnte diese Arbeitsgruppe lediglich *F. culmorum* nachweisen. Nach Untersuchung des Ernteguts (Gerstenkörner) von 11 Standorten im Erntejahr 2007 konnte *F. sporotrichioides* mit einer Befallshäufigkeit von knapp unter 20 % nachgewiesen werden. Nach Bottalico (1998) produziert gerade die *Fusarium*-Spezies *F. sporotrichioides* die hochtoxischen Typ A-Trichothecene HT-2 und T-2. Demnach könnten die signifikant höheren HT-2 und T-2 Gehalte im Gerstenstroh im Vergleich zum Weizen-, Roggen und Triticalestroh durch das verstärkte Auftreten von *F. sporotrichioides* erklärt werden. Nach Torp und Nirenberg (2004) kann auf Gerstenkörnern auch die HT-2 und T-2 bildende *Fusarium*-Art *F. langsethiae* isoliert werden. In den Jahren 2002 bis 2005 untersuchte Edwards (2009) 446 Gerstenkornproben auf Trichothecentoxine. 57 % der Proben wiesen DON-Gehalte oberhalb von 10

Diskussion

µg/kg auf, 20 % weniger im Vergleich zu der vorliegenden Arbeit; jedoch müssen die höheren Nachweisgrenzen in der von Edwards durchgeführten Studie und auch die unterschiedlichen Fraktionen (Korn/Stroh) berücksichtigt werden. Der Autor konnte Gehalte oberhalb von 10 µg/kg in 36 % der HT-2 und 12 % der T-2 Gerstenkornproben nachweisen, etwa halb so viel im Vergleich zu der hier durchgeführten Studie. Bei der Interpretation sollten jedoch die um 40 % geringere Nachweisgrenze in dem Screeningversuch und auch die unterschiedlichen Analysemethoden berücksichtigt werden. Töpfer et al. (2006) untersuchten 66 Gerstenstrohproben auf ihren DON-Gehalt und erhielt einen Mittelwert von 170 µg/kg, der 6-mal niedriger ist im Vergleich zum durchgeführten Screeningversuch.

In den von Töpfer et al. (2007) untersuchten Gerstenstrohproben (n=23) lag der ZON-Gehalt unterhalb der Nachweisgrenze von 0,005 mg/kg. In der vorliegenden Arbeit wurde ein Mittelwert für ZON über beide Versuchsjahre von 56 µg/kg ermittelt. Im Vergleich zum zweiten Erntejahr konnte 2007 das SCIRP in den Getreidestrohproben statistisch ausgewertet werden, mit dem Ergebnis hoch signifikant höherer Gehalte im Gerstenstroh. MAS wurde mit einem Anteil an positiven Proben von 8 % in Gerste am häufigsten nachgewiesen. Die Toxine der SCIRP-Gruppe (SCIRP, DAS, MAS) können u.a. von *F. sporotrichioides*, als auch von *F. poae* und *F. equiseti* gebildet werden (Schollenberger et al., 2007). Das Vorkommen dieser Schimmelpilzarten wurde von Heß et al. (2009) auf Gerstenkörnern beschrieben. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass dies auch für die Strohfraktion angenommen werden kann. Keine Untersuchungen zum Vorkommen des SCIRP im Getreidestroh sind bis jetzt bekannt, weshalb nur ein Vergleich mit Daten der Kornfraktion möglich ist. Schollenberger et al. (2007) untersuchten Gerstenkörner aus Deutschland und wiesen in 13 % der Proben SCIRP nach, was sich mit den ermittelten Daten der Strohfraktion, wo in 14 % der Proben SCIRP nachgewiesen werden konnte deckt.

Ein unterschiedliches *Fusarium*-Spektrum mit den DON-bildenden Arten mit bevorzugtem Vorkommen auf Weizen und den Typ A-Trichothece bildenden Arten auf Gerste kann somit nicht nur in der Kornfraktion der Getreidepflanze, sondern auch in der Strohfraktion angenommen werden.

Das Typ A-Trichothece HT-2 zeigte in Haferstroh gegenüber dem Weizen- und dem Roggenstroh signifikant höhere Gehalte. Torp und Nierenberg (2004) bestätigten das

bevorzugte Auftreten der Art *F. langsethiae* auf Haferkörnern in Skandinavien. Diese *Fusarium*-Art bildet die Typ A-Trichothecene HT-2 und T-2. Das Vorhandensein dieser Art könnte somit auch auf Haferstroh angenommen werden.

Töpfer et al. (2007) wiesen in ihren Untersuchungen an Haferstroh in Deutschland einen DON-Gehalt von 700 µg/kg nach. Dieser Wert ist um fast 300 µg/kg höher, im Vergleich zu dem in dieser Arbeit nachgewiesenen DON-Gehalt. Da die jeweils untersuchten Strohproben aus verschiedenen Erntejahren stammen und Jahreschwankungen berücksichtigt werden müssen, kann kein direkter Vergleich gezogen werden.

Die Stroharten Gerste, Hafer, Triticale und Weizen wurden in einer Studie von Töpfer et al. (2007) untersucht. Im Triticalestroh (n=4) wurde der höchste DON und ZON Gehalt bestimmt. Ein mittlerer DON Gehalt von 1,96 mg/kg konnte nachgewiesen werden. Dieser Wert ist mehr als doppelt so hoch im Vergleich zu dem DON Gehalt (MW=0,883 mg/kg), der in der vorliegenden Studie ermittelt wurde. Im Gegensatz dazu decken sich die ermittelten ZON-Gehalte der beiden Arbeiten. Töpfer et al. (2007) wiesen einen Mittelwert für ZON von 171µg/kg nach, knapp unter dem ZON-Gehalt von 196 µg/kg, der in dem Screeningversuch ermittelt wurde.

Berichte über Mykotoxine im Roggenstroh sind bislang nicht bekannt, sodass die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit erste Anhaltspunkte zum Vorkommen von Mykotoxinen im Roggenstroh liefern.

6.4.3 Risikobewertung für *Fusarium*-Toxine aus Stroh

Die Toxizität der einzelnen analysierten Toxine schwankt sehr stark, so dass eine einheitliche Bewertung der Toxingehalte nicht möglich ist. Die Sensitivität einzelner Tierarten gegenüber Toxinen ist sehr unterschiedlich, was bei der Bewertung der Toxingehalte im Futter zusätzlich zu beachten ist.

Die in der vorliegenden Arbeit ermittelten Toxinwerte in Getreidestroh belegen eine Kontamination mit durchschnittlich 3 und bis zu 10 Toxinen gleichzeitig in einer Probe, so dass das Risiko einer Multitoxinbelastung des Strohs gegeben ist.

DON war im Hinblick auf Vorkommen und Gehalt das dominierende Toxin. Berücksichtigt man den mittleren DON-Gehalt von 1,234 mg/kg und die von van Barnevelt (2005) beschriebene maximale Strohaufnahme von 14,1% (Gesamttagesration,

Diskussion

Schwein), so ergibt sich daraus eine DON-Aufnahme von 0,17 mg/kg durch den Strohverzehr. Führt man diese Berechnung für den maximal ermittelten DON-Gehalt von 23,269 mg/kg durch, erhält man eine DON-Aufnahme von 3,28 mg/kg. Ein deutliches Überschreiten des Orientierungswertes für den DON-Gehalt im Schweinefutter von 900 µg/kg (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2006) wäre somit einzig durch den Verzehr von Stroh gegeben, wobei zu berücksichtigen ist, dass im Mittel deutlich weniger Stroh, als die von van Barnevelt (2005) beschriebene Maximalmenge von Schweinen freiwillig aufgenommen wird.

Gerade die hochtoxischen Typ A-Trichothecene die in über 50% der Proben nachgewiesen wurden, besitzen eine im Vergleich zum DON deutlich höhere Toxizität, sind jedoch auch in deutlich geringeren Gehalten im Stroh enthalten. Da für diese Toxine noch keine EU-Orientierungswerte vorliegen, muss man die Toxingehalte der Typ A-Trichothecene HT-2 und T-2 ungefähr mit dem Faktor 10 multiplizieren, um sie mit der Toxizität des DON vergleichen zu können, denn nach Rotter und Prelusky (1996) werden die Typ A-Trichothecene als mindestens 10-mal toxischer eingestuft als die Typ B-Trichothecene. Mit den so ermittelten Werten von 660 µg/kg (HT-2) und 410 µg/kg (T-2) kann nach der Berechnung mit der oben bereits beschriebenen Methode von keiner akuten Belastung für die tierische Gesundheit ausgegangen werden. SCIRP besitzt eine ähnliche Toxizität wie HT-2 und T-2 und muss auf Grund des Fehlens von EU-Orientierungswerten auf die gleiche Art beurteilt werden. Multipliziert man den Mittelwert mit 10, wird ein Wert von 1560 µg/kg erreicht. So ergibt sich zumindest für den Mittelwert eine höhere Belastung im Vergleich zum DON, die nach dem Einsetzen in die von van Barnevelt (2005) ermittelte maximale Strohaufnahme mit einem Wert von 0,22 mg/kg jedoch zu keiner Gesundheitsgefährdung führt. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass SCIRP nur in 9 % der Proben nachgewiesen wurde und somit die Gefahr einer SCIRP-Aufnahme des Tieres über das Stroh sehr gering ist. Die hauttoxische Wirkung der Trichothecene ist bekannt. Ungeklärt ist eine diesbezügliche eventuelle negative Wirkung des kontaminierten Einstreustrohs. Das östrogenähnliche Toxin ZON wurde in 46% der Strohproben nachgewiesen. Für die ZON-Gehalte im Futtermittel für Schweine (Kommission der Europäischen Gemeinschaft, 2006) würden beim Einsetzen des Mittelwertes von 0,089 mg/kg in die oben genannte maximale Strohaufnahme (Schwein/Gesamttagesration) die Orientierungswerte von 0,1 mg/kg (prä-pubertäre Schweine) und 0,25 mg/kg (Zuchtsauen und Mastschweine) nicht überschreiten. Führt man diese Berechnung hinge-

gen mit dem maximal ermittelten ZON-Gehalt von 0,767 mg/kg durch, erhalte man einen Wert von 0,108 mg/kg/d, der in der Größenordnung des Orientierungswertes für prä-pubertäre Zuchtschweine läge.

Die Kontamination mit mehreren Toxinen wurde nachgewiesen, wobei diese durch unterschiedliche Gehalte und Toxizitäten zur Gesamtbelastung im unterschiedlichen Maße beitragen.

6.4.4 Bedeutung für die Tierernährung und Gesundheit

Getreidestroh stellt eine zusätzliche Expositionsquelle für landwirtschaftliche Nutztiere mit *Fusarium*-Toxinen dar, denn auch die übrigen Rationskomponenten (Krafftfutter/ Mischfutter) können mit diesen Toxinen belastet sein.

Zu einer Reduzierung der Futteraufnahme kommt es laut Dänicke et al. (2001) ab einer DON-Intoxikation von 1 mg/kg Futter. Bei DON kommt es nach der von van Barneveld (2005) ermittelten maximalen Strohaufnahme nicht zu einer Konzentration oberhalb von 1 mg/kg. In Einzelfällen wurden jedoch sehr hohe Toxingehalte von bis zu 23 mg/kg ermittelt, die Einfluss auf ernährungsphysiologische Parameter, wie die Futteraufnahme verursachen können.

Gutzwiller et al. (2008) überprüften den Einsatz von mit DON und ZON kontaminiertem Weizenstroh auf die Fruchtbarkeit von Zuchtsauen. Die medianen DON- und ZON-Gehalte lagen in der kontaminierten Variante bei 1,4 mg/kg und 0,9 mg/kg. Einzig die Geburtsgewichte der Ferkel waren in der mit Mykotoxinen kontaminierten Gruppe tendenziell tiefer. Keine weiteren Effekte auf den Reproduktionszyklus konnten beobachtet werden. Es wurden in dem von Gutzwiller et al. (2008) durchgeführten Versuch keine Angaben zur Futteraufnahme und Futtermittelverwertung gemacht.

Das im Screeningversuch nachgewiesene Vorkommen mehrerer Toxine gleichzeitig in einer Probe könnte sowohl additive, synergistische als auch antagonistische Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Toxinen hervorrufen. Bisher liegen nur wenige Untersuchungen vor, aus denen hervor geht, wie sich das Vorkommen mehrerer Toxine in einer Probe auf die Toxizität dieser auswirken kann.

Diskussion

Vier der untersuchten Strohproben überschritten den EU-Orientierungswert (DON) für Getreide und Getreideerzeugnisse von 8 mg/kg und dürfen nicht mehr eingesetzt werden.

Bei der Bewertung der Toxingehalte im Getreidestroh ist auch die Bioverfügbarkeit zu berücksichtigen. Diese gibt an, wie viel von dem in einer Probe enthaltenen Toxin für das Tier wirklich verfügbar ist. Nach Untersuchungen von Rohweder et al. (2009) liegt die Bioverfügbarkeit von DON aus Stroh bei 81,8 % und ist damit annähernd vergleichbar mit der DON-Verfügbarkeit aus Weizenkörnern.

Stroh wird in der Schweinehaltung auch zur Beschäftigung der Tiere eingesetzt, wobei die Schweine das Stroh nicht immer vollständig verzehren, sondern teilweise nur kauen. Gutzwiller et al. (2008) überprüften das Expositionsrisiko, welches beim Kauen von Stroh und dem darauf folgenden Abschlucken von Speichel entsteht. Sie beobachteten, dass beim Kauen von Stroh das DON in den Speichel der Schweine übergeht und damit in den Organismus gelangen kann.

Ein vollständiger Verzehr des Strohs ist demnach nicht nötig, um eine Intoxikation mit Mykotoxinen beim Schwein hervor zu rufen.

Sowohl für das Tier als auch für den Menschen ist bei dem Umgang (Ernte, Stallarbeit/Einstreuen) mit stark belastetem Stroh eine Inhalation von Mykotoxinen nicht auszuschließen, zumal Stroh im Vergleich zu anderen Futtermitteln verstärkt zur Staubbildung neigt. Studien von Amuzie et al. (2008) belegen, dass bei intranasaler Exposition von Mäusen mit DON die Plasmakonzentration dieses Toxins bis zu dreimal höher sein kann im Vergleich zur oralen Aufnahme.

Staubgehalte sind bisher in ihrer potentiellen Wirkung kaum einschätzbar.

Insgesamt kann gesagt werden, dass das potentielle Risiko einer Mykotoxinexposition landwirtschaftlicher Nutztiere von der tatsächlichen Strohaufnahme und dem Kontaminationsgrad des Materials abhängt.

Getreidestroh stellt jedoch im Vergleich zu anderen Futtermitteln nur einen sehr geringen Anteil an der Gesamttagesration dar und ist, mit Ausnahme von extrem belasteten Chargen, nicht als gefährliche Toxinquelle anzusehen, sondern als eine Quelle zusätzlicher Belastung.

6.5 Toxingehalte von Stroh bei unterschiedlicher geographischer Lage innerhalb Deutschlands

In Westdeutschland dominierten in Weizenstroh die Typ B-Trichothezene NIV und DON signifikant im Vergleich zu Ostdeutschland. In den Monaten Mai bis August fielen im Schnitt pro Monat 10,2 mm mehr Regen im Westen als im Osten, was eine weitere Erklärung für die nachgewiesenen Unterschiede sein könnte.

Lienemann (2002) wies in ihren Untersuchungen im Rheinland in den Jahren 1998 bis 2000 im Weizenanbau ein bevorzugtes Auftreten der *Fusarium*-Arten *F. avenaceum* und *F. culmorum* nach. Obst und Fuchs (2000) beobachteten in Nord-, Mittel- und Süddeutschland *F. graminearum* als häufigsten Erreger für Ährenfusariosen. *F. avenaceum*, *F. graminearum* und *F. poae* waren die häufigsten *Fusarien*-Spezies in den von Oerke et al. (2010) durchgeführten Untersuchungen an Weizenpflanzen in Norddeutschland.

Untersuchungen von Müller et al. (1997) in Südwestdeutschland zeigten das Typ B-Trichothezen DON als häufigstes Toxin in Weizen.

Edwards (2009) stellte bei seiner Untersuchung an Weizenpflanzen in Großbritannien regionale Unterschiede im Toxingehalt fest. Die DON- und ZON-Gehalte waren im Süden Englands höher im Vergleich zu nördlichen Regionen, was Edwards auf die unterschiedlichen Temperaturen, den Niederschlag und die Anbaumethoden zurückführte.

In Gerstenstroh wurden signifikant höhere HT-2 und T-2 Gehalte im Süden Deutschlands ermittelt, wohingegen alle Typ B-Trichothezene sowohl im Weizen- als auch im Gerstenstroh keine regionalen Nord-Süddifferenzen aufwiesen. In den Monaten März bis September fiel in der Südhälfte Deutschlands mehr Regen im Vergleich zum Norden Deutschlands. Diese regenreichere Witterung kann im Süden zu einem stärkeren Vorkommen der Typ A-Trichothezene HT-2 und T-2 in Gerste geführt haben. Da in Gerstenstroh die Typ A-Trichothezene dominieren, könnten die höheren Anteile an Gerstenstrohproben somit zu der beschriebenen Beobachtung geführt haben. Um eine eindeutige Aussage über den geographischen Unterschied im *Fusarium*-Spektrum treffen zu können, müssten weitere und auch speziellere Untersuchungen folgen.

6.6 Toxingehalte bei Strohproben nach unterschiedlichen pflanzen- und ackerbaulichen Maßnahmen

Durch die Wahl geeigneter pflanzen- und ackerbaulicher Maßnahmen kann der Landwirt maßgeblich auf den Toxingehalt von Getreidekörnern Einfluss nehmen (Mansfield et al., 2005, Miller et al., 1998; Mastel und Michels, 2000; Dill-Macky and Jonas, 2000).

In der vorliegenden Arbeit wurde zwar kein Feldversuch durchgeführt, es sollten aber erste Erkenntnisse zum Toxingehalt von Strohproben nach unterschiedlichen pflanzen- und ackerbaulichen Maßnahmen gewonnen werden. Nach Auswertung der Fragebögen wurden die ermittelten Toxingehalte mit den Angaben aus den Fragebögen korreliert und mit Hilfe des Kruskal-Wallis-Test statistisch ausgewertet.

Toxingehalte bei unterschiedlicher Vorfrucht

Pilze der Gattung *Fusarium* ernähren sich saprophytisch von abgestorbenen Pflanzenresten und bilden auf den überwinterten Ernteresten ungeschlechtliche Konidien. Wissenschaftliche Studien von Tischner et al. (2005) und Krauthausen et al. (2003) belegen einen erhöhten *Fusarium*-Infektionsdruck und Toxingehalt in Getreidekornproben nach der Vorfrucht Mais.

In den zwei untersuchten Getreidearten wurde lediglich in Gerstenstroh eine hoch signifikant verschiedene Belastung mit dem Toxin NIV ($p = 0,0038$) mit höheren Gehalten bei der Vorfrucht Mais beobachtet. Untersuchungen von Köhl und Waalwijk (2007) bestätigten einen Befall von Maisstoppeln mit *Fusarium*. Dabei fanden sie vorwiegend die Arten *F. graminearum* und *F. avenaceum* auf den Maisernterückständen. Aber auch *F. culmorum* und *F. poae* konnten identifiziert werden. Von diesen *Fusarium*-Arten ist bekannt, dass sie auch NIV bilden können. Höhere Gehalte dieses Toxins im Gerstenstroh nach der Vorfrucht Mais könnten demnach durch die die Maisstoppeln besiedelnden Arten verursacht worden sein. Ein eindeutiges Bild lässt sich jedoch nicht erkennen, da die oben beschriebenen *Fusarium*-Pilze vor allem auch DON bilden und dieses Toxin nach der statistischen Auswertung keinen Einfluss der Vorfrucht zeigte.

Alle weiteren untersuchten Toxine zeigten keine signifikanten Unterschiede im Gehalt bei dem Vergleich der Vorfrucht Mais mit den Nicht-Mais Vorfrüchten.

Ein direkter Einfluss der Vorfrucht Mais auf den Toxingehalt von Getreidestroh konnte somit in dieser Studie für ein Toxin nachgewiesen werden. Um umfassende Ergebnisse zu gewinnen, müssen jedoch gezielte Feldversuche in Bezug auf Stroh durchgeführt werden, die unter definierten Bedingungen stattfinden.

Toxingehalte bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung

Das DON zeigte sowohl in Gersten- als auch in Weizenstroh eine signifikant oder tendenziell unterschiedliche Belastung des Strohs mit höheren Gehalten bei Proben nach nicht wendender Bodenbearbeitung im Vergleich zur wendenden. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Forschungsergebnissen von Berner et al. (2005), die nicht nur im Korn, sondern auch im Weizenstroh eine signifikante Reduktion des DON Gehaltes nach wendender im Vergleich zur reduzierten Bodenbearbeitung nachweisen konnten. Hirschfeld et al. (2005) kamen zu demselben Ergebnis bei Untersuchungen an Triticalekörnern. Sowohl der mittlere DON-Gehalt als auch der prozentuale Anteil an *Fusarium* befallenen Körnern war in der Pflug-Variante geringer im Vergleich zur Variante mit minimaler Bodenbearbeitung.

Das Verbleiben der Inokulumquelle auf der Bodenoberfläche bei nicht wendender oder reduzierter Bodenbearbeitung scheint hierfür verantwortlich zu sein. Besonders das Verbleiben von Maisernterückständen, die hoch mit *Fusarium* belastet sind, führt zu einem erhöhten Toxingehalt der Folgefrucht (Köhl und Waalwijk, 2007). Jedoch erfolgt wegen der massiven Stoppelfraktion nach Mais meist der Pflugeinsatz.

Das Einbringen der Infektionsquelle in den Unterboden könnte nicht nur beim Korn, sondern auch beim Getreidestroh eine direkte Kontamination über *Fusarium* infizierte Ernterückstände verringern.

Toxingehalte bei unterschiedlichen Lagerorten

Die analysierten Strohproben wurden zum Teil unter dem Dach oder auch im Freien gelagert, wobei es sich nicht um einen gezielten Lagerversuch handelte und nicht dieselben Proben an unterschiedlichen Orten gelagert wurden. Im Weizenstroh wurden höhere Werte der Toxine DON ($p=0,0237$, signifikant) und 15-ADON ($p=0,0889$) ermittelt für Proben, die im Freien gelagert wurden. Rohweder et al. (2011) untersuchten in einem Witterungsversuch von Weizenstroh die Auswirkungen unterschiedlicher Lagerorte auf den Toxingehalt von Stroh und wiesen über die Zeit höhere Zunahmen der ZON-Konzentrationen in Proben nach einer Lagerung im Freien im

Vergleich zur Scheunenlagerung des Stroh nach. Die von Rohweder et al. (2011) ebenfalls ermittelten Toxine DON und 3-ADON zeigten keine Unterschiede zwischen den zwei Lagerungsvarianten.

Der Trockensubstanzgehalt der Strohproben aus beiden Versuchsjahren lag nach der Lagerung im Freien bei 88% und nach der Lagerung unter dem Dach bei 89%. Damit war kein großer Unterschied in der TS zu beobachten und der aw für eine *Fusarium*-Toxinbildung zu niedrig. Im Gegensatz dazu führte bei Rohweder et al. (2011) die Lagerung des Stroh im Freien zu einer Reduktion des Trockensubstanzgehaltes auf 36 %. Auch der Ausgangswert der Trockensubstanz bei Versuchsbeginn lag mit 80,8 % um fast 8 % unter dem in dem deutschlandweiten Screeningversuch ermittelten Trockensubstanzgehalt des Stroh. Dadurch kann ein Vergleich der Daten nur bedingt gezogen werden.

Toxingehalte bei unterschiedlicher Lagerdauer

Bei länger gelagertem Stroh wurden keine höheren Toxingehalte nachgewiesen.

Der Trockensubstanzgehalt der Strohproben aus beiden Versuchsjahren lag bei Proben aus dem 1. Halbjahr bei 88 % und bei Proben aus dem 2. Halbjahr bei 89 %. Mit einer Abnahme des Trockensubstanzgehaltes über die Zeit ist demnach nicht zu rechnen.

Der nach Flachowsky (1987) angegebene Trockensubstanzgehalt von mehr als 84 % für die Lagerung von Stroh wurde demnach eingehalten. Untersuchungen an Weizenstroh von Rohweder et al. (2011) bestätigen eine Zunahme von Mykotoxinkonzentrationen bei zunehmender Feuchtigkeit. Bei den Lagerversuchen (Außenlagerung) führte die schnelle Zunahme der Feuchtigkeit zu einem signifikanten Anstieg der ZON-Konzentration im Stroh (Rohweder et al., 2011). Da bei der Lagerung des Stroh sowohl in den ersten 6 Monaten als auch bei der Lagerung zwischen 6 bis 12 Monaten keine Unterschiede im TS-Gehalt beobachtet wurden, waren die Substratverhältnisse in beiden Varianten annähernd gleich und somit auch die Möglichkeit der Toxinbildung.

Die geringe Substratveratmung im welkenden organischen Material führt zu einer relativ niedrigen Wasserbildung und fördert den weiteren Verderb nur sehr geringfügig.

6.7 Korrelationen zwischen den analysierten *Fusarien*-Toxinen

6.7.1 Korrelationen in Weizenstroh

In Weizenstroh wurden sowohl Korrelationen der Typ B-Trichothecene DON, 15-ADON und NIV untereinander beobachtet als auch zwischen DON, 15-ADON und ZON. Nach Schlüter et al. (2006) treten die Arten *F. graminearum* und *F. culmorum* häufig auf Weizenpflanzen auf. Diese *Fusarium*-Spezies produzieren nach Bottalico (1998) vorwiegend die Toxine DON, ZON und NIV, woraus sich die Korrelation dieser Toxine untereinander erklären lässt. Viele *Fusarium*-Stämme besitzen jedoch nicht die Fähigkeit DON und NIV gleichzeitig zu bilden, sodass bei der Korrelation dieser beiden Toxine mit dem Vorkommen zweier Stämme gleichzeitig zu rechnen ist. Die höchst signifikante Korrelation zwischen DON und 15-ADON kann dadurch interpretiert werden, dass das DON durch einen Syntheseschritt aus dem 15-ADON gebildet wird.

Die höchst signifikante Korrelation der Typ A-Trichothecene HT-2 und T-2 untereinander könnte durch die *Fusarium*-Art *F. langsethiae*, die beide Typ A-Trichothecene bildet, entstanden sein. Diese wurde von Torp und Nirenberg (2004) auch von Weizenkörnern isoliert.

6.7.2 Korrelationen in Gerstenstroh

Die Typ A-Trichothecene HT-2 und T-2 zeigten in den 79 untersuchten Gerstenstrohproben höchst signifikante Korrelationen untereinander. Eine Korrelation dieser Toxine hängt damit zusammen, dass sie denselben Biosyntheseweg besitzen.

Torp und Nirenberg (2004) konnten auf Gerstenkörnern *F. langsethiae* isolieren. Diese *Fusarium*-Art bildet die beiden Typ A-Trichothecene HT-2 und T-2. Ein Vorkommen dieser Art nicht nur auf Gerstenkörnern, sondern auch auf Gerstenstroh ist somit denkbar und würde die nachgewiesenen Korrelationen erklären.

Aus Untersuchungen von Heß et al. (2009) ist bekannt, dass *F. sporotrichioides*, der sowohl HT-2 als auch T-2 bildet, auf Gerste sehr häufig gefunden wird. HT-2 wird über die Abspaltung des Acetylrestes von T-2 gebildet.

Die beobachteten Korrelationen des DON mit HT-2 und T-2 lassen eine gleichzeitige Infektion Typ A bildender Trichothecene wie *F. langsethiae* und *F. sporotrichioides* zusammen mit DON bildenden *Fusarium*-Arten wie *F. graminearum* und *F. culmorum* annehmen.

6.7.3 Korrelationen des Hygienestatus mit den Toxin- und den Ergosteringlehalten

Zur Einschätzung der Effektivität der sensorischen Untersuchung zur Beurteilung des Hygienestatus in Bezug auf den Mykotoxinbefall des Strohs wurden die Ergebnisse des Hygienestatus jeder Strohprobe mit den Toxingehalten korreliert.

Somit ist eine Einschätzung des Toxingehaltes über die sensorische Beurteilung nur sehr schwer möglich, da die nachgewiesenen Korrelationen auf einem zu geringen Niveau lagen, um eindeutige Aussagen treffen zu können.

Das Typ B-Trichothecen NIV, wie auch die Typ A-Trichothecene T-2,4 und HT-2 wiesen signifikante Korrelationen mit den Bewertungspunkten des Hygienestatus auf, jedoch nur auf sehr geringem Niveau. Wichert et al. (2008) wiesen bei ihren Untersuchungen auf keine hohen Korrelationen zwischen der Anzahl an Schimmelpilzen und der makroskopischen Beurteilung nach Kamphues et al. (2004) hin.

Der Ergosteringlehalt wird bestimmt, um den Verpilzungsgrad von Futtermitteln beurteilen zu können (Opitz et al., 2004). Die Ergosteringlehalte wurden mit den Bewertungspunkten für den Hygienestatus korreliert. Mit einem Signifikanzniveau für die Korrelation von $p = 0,009$ konnte ein Zusammenhang zwischen den zwei Parametern ermittelt werden, jedoch mit einem Korrelationskoeffizienten von $-0,369$ auf einem zu niedrigen Niveau, um über eine sensorische Prüfung eindeutig auf den Ergosteringlehalt schließen zu können. Die Ermittlung des Hygienestatus mittels der sensorischen Prüfung des Strohs ist demnach kein geeignetes und ausreichendes Kriterium zur Schätzung des Verpilzungsgrades.

Um eine sichere Aussage über eine Toxin- und Ergosterinkontamination im Getreidestroh treffen zu können, ist eine Laboranalyse der Proben nötig.

6.8 Versuchsergebnisse zu den maskierten Toxinen

Mykotoxine können durch Interaktion der sie produzierenden Pilze und der Pflanze in modifizierter, also chemisch veränderter Form vorliegen. Man bezeichnet sie daher auch als maskiert. „Interaktionen zwischen Pflanzen, Mikroorganismen und mykotoxinbildenden Mikromyceten können zu chemischen Modifikationen von Mykotoxinen führen, die mit Hilfe von routinemäßig durchgeführten spurenanalytischen Nachweisverfahren nicht detektiert und daher als maskierte Mykotoxine bezeichnet werden können.“ (Gareis, 1994)

Eine Maskierung von Toxinen kann jedoch nicht nur durch eine chemische Modifikation der Toxine verursacht werden, auch eine Inkrustierung durch Silikate oder ein Einschluss durch Lignin muss bedacht werden.

Eine Einschätzung der Toxinexposition landwirtschaftlicher Nutztiere ist nur annähernd möglich, wenn genügend Informationen zum Vorkommen maskierter Toxine im Futter bekannt sind. Eine Maskierung von Toxinen kann durch Bindung an unterschiedliche Gruppen erfolgen. Bei Getreide sind Bindungen an Sulfat und Glukose bekannt. In Mais, Weizen und Gerste können Anlagerungen von Glukose an das DON-Molekül beobachtet werden. Die Umwandlung von DON in das Deoxynivalenol 3- β -D-glycosid (D3G) kann durch das Enzym Glycosyltransferase erfolgen, wobei in Weizenkörnern nachgewiesen wurde, dass der Anteil an D3G den des DON übersteigen kann (Berthiller et al., 2009).

Im Tier wurde eine Demaskierung, also zu einer Aufspaltung dieser Bindungen und damit zu einer Freisetzung der Toxine beobachtet (Gareis, 1994). Um Informationen zu dieser im Tier stattfindenden Demaskierung zu gewinnen, wurden Versuchsmodelle konzipiert, die möglichst präzise die Verdauungsvorgänge des Tieres widerspiegeln.

Die gewählten Modelle zur Analyse des Strohs auf diese möglicherweise gebundenen Toxine sorgen für eine unspezifische Freisetzung (TFA-Versuch) bzw. eine Freisetzung durch Multienzymgemische unter Simulation des Verdauungstraktes. Durch diese Vorgehensweise war es möglich, nicht nur Einzelenzyme und dadurch einzelne Maskierungen abzudecken, sondern ein breites Spektrum zu untersuchen unter Berücksichtigung der Gegebenheiten im tierischen Verdauungstrakt. Diese Vorgehensweise wurde gewählt, da im Tier nicht nur ein Enzym, sondern eine Reihe von Enzymen im Verdauungsgeschehen wirken. Hätte sich in den Versuchen eine Freiset-

zung von Toxinen gezeigt, so wären anschließend einzelne Enzymsysteme geprüft worden.

Erstmalig wurden in solchen Untersuchungen neben DON und ZON (Berthiller et al., 2009, Plasencia und Mirocha, 1991) auch die Toxine HT-2 und T-2 mit einbezogen.

Die zur Verfügung stehenden Proben aus dem Screeningversuch und den Versuchen zur Bioverfügbarkeit enthielten vor allem DON in größeren Mengen (Bereich mg/kg), die anderen Toxine waren in deutlich geringeren Konzentrationen vertreten. In dem durchgeführten *in vitro*-Versuch war die Probenmenge, die zum Test eingesetzt werden konnte, durch das notwendige Volumenverhältnis von Probe zu Inkubationsmedium sehr begrenzt. Bei der enzymatischen Hydrolyse war eine Aufkonzentrierung des Probenextraktes bei der anzuwendenden Probenaufarbeitung nicht in demselben Ausmaß wie in der im Screeningversuch eingesetzten Probenaufarbeitung möglich. Daraus resultierte, dass in den Untersuchungen zu den maskierten Toxinen v.a. das in großen Mengen in den Proben vorkommende DON auswertbar war sowie die sehr empfindlich zu detektierenden Toxine HT-2 und T-2. Andere Toxine, die eine vergleichsweise höhere Nachweisgrenze aufweisen, konnten aufgrund ihrer geringen Gehalte in den Ansätzen nicht quantifiziert werden. ZON wurde, wie unter Kapitel 4.4.6. beschrieben, nur für die Versuche zur Hydrolyse mit TFA und der Behandlung mit Clara-Diastase ausgewählt, da sich die Proben aus dem *in vitro*-Versuch aufgrund der geringen Einwaage und des daraus resultierenden geringen Extraktvolumens nicht zur Analyse auf ZON eigneten.

Chemische Hydrolyse - Hydrolyse mit TFA

In Tabelle 38 sind die Ergebnisse der Behandlung des Strohs mit TFA nach Zhou et al. modifiziert (2007) dargestellt. Demnach zeigten 4 der 6 analysierten Proben bis zu 67 % höhere ZON-Gehalte in der Variante mit TFA-Aufschluss auf, im Vergleich zu der Variante ohne TFA-Aufschluss. Zwei Strohproben wiesen niedrigere Werte mit TFA-Aufschluss auf.

Der Einsatz von TFA zur Lösung gebundener Trichothecene aus Stroh führte bei der Untersuchung auf DON zu einer Zersetzung dieses Toxins und konnte somit nicht ausgewertet werden. Die Zersetzung des DON ist auf die Säurelabilität der Trichothecentoxine zurückzuführen.

Zhou et al. (2007) fanden in ihren Untersuchungen eine Erhöhung des Anteils an totalem DON nach TFA-Behandlung im Vergleich zu freiem DON, ermittelt mittels

Routineanalytik. Ein Herauslösen von gebundenem DON von 9 bis 88 % wurde beschrieben. Berücksichtigt werden muss jedoch die unterschiedliche Matrix im Vergleich zu der vorliegenden Arbeit. Die Untersuchung der Strohproben mit der beschriebenen Behandlung und der anschließenden ZON-Bestimmung resultierten bei mehr als der Hälfte der Proben in einem höheren ZON-Gehalt bei Proben mit TFA-Behandlung. Da keine statistische Auswertung vorgenommen werden konnte, kann auch keine sichere Aussage über das Vorhandensein von möglicherweise gebundenem ZON getroffen werden. Hier besteht noch ein großer Forschungsbedarf, um gesicherte Erkenntnisse zur Freisetzung möglicherweise gebundener Toxine durch eine TFA-Behandlung zu erhalten.

Enzymatische Hydrolyse - Behandlung mit Clara-Diastase

Untersuchungen verschiedener Autoren wie Engelhardt et al. (1999) und Galaverna et al. (2009) zeigen, dass konjugierte Metabolite von DON und ZON in der Pflanze gebildet werden können.

Zearalenon 4-sulfat (Z4G) konnte neben ZON als natürlicher *Fusarium*-Metabolit nachgewiesen werden (Berthiller et al., 2009).

Das Enzymgemisch Clara-Diastase, bestehend aus α -Amylase, Cellulase, Invertase, Peptidase, Phosphatase und Sulfatase, ermöglicht die Freisetzung von Substanzen aus verschiedensten Bindungen und sorgte bei der Untersuchung ausgewählter Proben nicht für eine erhöhte Freisetzung potentiell vorhandener maskierter Toxine, wie zum Beispiel die des Z4G.

Die Matrix Stroh verfügt im Vergleich zu Getreidekörnern über eine andere Zusammensetzung und könnte die Freisetzung gebundener Komponenten verringert haben oder aber es liegen keine gebundenen Komponenten in dieser Matrix vor.

In vitro-Modell des Verdauungstraktes

Die Freisetzung von möglicherweise vorhandenen maskierten Toxinen (DON, HT-2 und T-2) aus den untersuchten Strohproben konnte durch das verwendete Modell und damit auch durch die verwendeten Enzyme (welche, ebenfalls eine Vielzahl) nicht nachgewiesen werden. Da dieses Magen-Darm-Modell zur Simulierung der *in vivo*-Bedingungen des tierischen Verdauungstraktes dient, wurden in den unterschiedlichen Proben keine Anhaltspunkte nach den vorliegenden Ergebnissen für

Diskussion

eine zusätzliche Toxinbelastung durch maskierte Toxine im Vergleich zu der durch die Routineanalytik ermittelten Werte gefunden.

Untersuchungen zu *in vitro*-Transformationen von Gareis (1994) zeigen eine Abspaltung des Glycosids vom ZON durch die Mikroflora des Duodenums. Gareis (1994) verwendete für diesen Versuch direkt nach der Schlachtung gewonnenen Inhalt verschiedener Darmsegmente vom Schwein.

Alle durchgeführten Versuche gaben keinen konkreten Hinweis auf maskierte, also gebundene Toxine im Getreidestroh, obwohl ein breites Spektrum an Maskierungsmöglichkeiten geprüft wurde. Lediglich die Behandlung der Proben mit TFA führte zu einer Erhöhung des ZON-Gehaltes, der jedoch wegen der geringen Probenzahl nicht statistisch abgesichert werden konnte.

Somit scheint eine Maskierung in der Strohfraktion der Getreidepflanze nicht von großer Bedeutung zu sein. Dies könnte durch die geringe Stoffwechselaktivität und damit einhergehende langsamere Verfügbarkeit des Substrates des schon welkenden organischen Materials bedingt sein. Vermutlich ist für eine Maskierung nur ein Stoffwechsel im aktiven Gewebe ausreichend.

7 Zusammenfassung

In einem zweijährigen bundesweiten Screeningversuch wurde das Vorkommen von 13 Trichothecentoxinen sowie von Zearalenon (ZON) und Ochratoxin A (OA) in Getreidestroh untersucht, um eine bessere Abschätzung des Expositionsrisikos landwirtschaftlicher Nutztiere durch die Strohaufnahme zu ermöglichen. Die Strohproben wurden entsprechend der Futtermittelprobenahme- und Analysenverordnung entnommen und die beigelegten Fragebögen in Zusammenarbeit mit den Landwirten ausgefüllt. Durch Berechnungen von Korrelationen der Toxingehalte mit den Angaben aus dem Fragebogen wurden Hinweise auf den Einfluss acker- und pflanzenbaulicher Maßnahmen und mit Wetterdaten Hinweise auf den Einfluss der Witterung auf den Toxingehalt von Stroh gesucht. Auch die geographischen Einflüsse sowie die unterschiedlichen Getreidestrohartarten wurden mit berücksichtigt. Zusätzlich sollten Informationen zum Vorkommen von maskierten Toxinen im Getreidestroh gewonnen werden.

Durch die umfangreiche, deutschlandweite Probenahme, durchgeführt von amtlichen Probenehmern, stellen diese Proben einen weitgehend repräsentativen Durchschnitt für Deutschland in den beiden Versuchsjahren dar.

Ein in Deutschland in dem Umfang erstmalig durchgeführtes Screening von Strohproben der Getreidearten Weizen, Gerste, Hafer, Triticale, Roggen und Dinkel der Ernten 2007 und 2008 wurde auf ein Spektrum an 14 *Fusarium*-Toxinen sowie auf OA untersucht, ein makroskopischer Befund wurde für jede Probe erhoben. Auch eine Untersuchung des Strohs auf das Vorhandensein von Ergosterin zur Beurteilung des Verpilzungsgrades wurde durchgeführt. Eine statistische Auswertung der Daten wurde vorgenommen.

Über die beiden Versuchsjahre wurden 80 Weizenstroh-, 79 Gerstenstroh-, 11 Haferstroh-, 12 Roggenstroh-, 12 Triticalestrohproben-, 1 Dinkelstrohprobe- sowie 6 Strohproben mit unbekannter Strohart untersucht.

Die makroskopischen Befunde ergaben für die Screeningproben einen meist positiven Futterwert, hingegen zeigte der durchschnittlichen Hygienestatus 2007 und 2008 leichte bis deutliche hygienische Mängel.

Die Belastung der Strohproben mit einem Spektrum an *Fusarium*-Toxinen wurde nachgewiesen. Da die durchschnittlich ermittelte Zahl an gemeinsam vorliegenden Toxinen in den Proben bei 3 lag und im Maximum sogar 10 Toxine gleichzeitig in ei-

Zusammenfassung

ner Probe vorkamen, muss von der Möglichkeit einer Multi-Toxinbelastung von Stroh ausgegangen werden. Deoxynivalenol (DON) war im Hinblick auf die Häufigkeit des Vorkommens und des Gehaltes das dominierende Toxin. Es war in 83 % der Proben nachweisbar mit einem mittleren Gehalt von 1234 µg/kg, einem medianen Gehalt von 439 µg/kg und einer Variationsbreite von 23253 µg/kg. Die Trichothecene HT-2, T-2 Toxin (T-2), T-2,4, Scirpentriol (SCIRP), NIV, 15-Acetyldeoxynivalenol (15-ADON) und 3-Acetoxydeoxynivalenol (3-ADON) waren in 55, 37, 9, 9, 32, 21 und 9 % der 201 analysierten Proben nachweisbar. Fusarenon-X (FUS-X), Monoacetoxyscirpenol (MAS), Diacetoxyscirpenol (DAS), T-2 Triol (T-2,3) und OA wurden in weniger als 5% der Proben detektiert, Neosolaniol (NEO) in keiner Probe. ZON war in 46 % der Strohproben nachweisbar, die Gehalte lagen zwischen 7 und 767 µg/kg. OA wurde lediglich in einer von 201 Strohproben im Spurenbereich detektiert, somit konnte keine Belastung durch dieses Lagertoxin nachgewiesen werden. Insgesamt kann von einer höheren Toxinbelastung in der Strohfraktion der Getreidepflanze ausgegangen werden im Vergleich zum Korn.

In den untersuchten Getreidearten wurden unterschiedliche Toxinspektren beobachtet, mit den DON-bildenden Arten mit bevorzugtem Vorkommen auf Weizen und den Typ A-Trichothecenbildenden Arten auf Gerste.

Die Kombination der Toxine DON und ZON sowie DON und HT-2 wurde am häufigsten beobachtet. Kokontaminationen wurden bislang in der Strohfraktion der Getreidepflanze noch nie untersucht und damit liefert diese Arbeit erste Erkenntnisse zu den häufigsten Toxinkombinationen in dieser Fraktion.

Es konnte eine unterschiedliche Trichothecenbelastung in den 2 Versuchsjahren beobachtet werden. Im ersten Versuchsjahr lagen die NIV-, 15-ADON- und ZON-Gehalte über denen im zweiten Jahr. HT-2 und T-2 waren signifikant bzw. tendenziell im Erntejahr 2008 stärker vertreten. Insgesamt zeichnete sich sowohl in der sensorischen Beurteilung als auch in der Analyse der *Fusarium*-Toxine eine schlechtere bzw. höhere Belastung des Strohs im Erntejahr 2007 ab. Sowohl in Gerstenstroh ($p = 0,1032$) als auch in Weizenstroh ($p = 0,0171$) wies das DON tendenziell bzw. signifikant höhere Gehalte im westlichen Gebiet Deutschlands auf. Auch NIV zeigte in Weizenstroh in diesem Areal signifikant höhere ($p = 0,0221$) Gehalte. In den Gerstenstrohproben zeigten die Typ A-Trichothecene HT-2 und T-2 signifikant höhere Gehalte im Süden Deutschlands, wiesen jedoch in Weizenstroh keine signifikanten Unterschiede auf.

Zusammenfassung

Aufgrund der hohen Anteile an Weizen- und Gerstenstrohproben konnte für diese beiden Stroharten eine separate Auswertung bezüglich der Einflüsse acker- und pflanzenbaulicher Maßnahmen erfolgen und auch die geographische Verteilung der Toxine innerhalb Deutschlands ermittelt werden. Die aus den Fragebögen gewonnenen Informationen wurden mit den Toxingehalten der jeweiligen Strohproben korreliert und ausgewertet. Nach nicht wendender Bodenbearbeitung zeigten Proben sowohl aus Gersten- als auch aus Weizenstroh eine signifikant oder tendenziell stärkere Belastung mit DON im Vergleich zu Proben nach wendender Bodenbearbeitung. Die Weizen- und Gerstenpflanzen wurden nach unterschiedlichen Vorfrüchten angebaut. Der NIV-Gehalt war in Gerstenstroh hoch signifikant höher in Proben mit der Vorfrucht Mais, jedoch lässt sich bei der Auswertung kein eindeutiges Bild zum Einfluss der Vorfrucht auf den Toxingehalt von Stroh erkennen. Nach der Ernte wurde das Stroh unterschiedlich lang und auch an unterschiedlichen Orten gelagert. Weizenstrohproben, die im Freien gelagert wurden, enthielten im Vergleich zu unter Dach gelagerten Proben einen signifikant höheren DON-Gehalt.

Die Proben wurden von der Ernte bis zur Probenahme unterschiedlich lang gelagert. Es ergaben sich keine höheren Toxingehalte in länger gelagerten Proben.

Die Analyse der Strohproben auf maskierte Toxine erfolgte mit Hilfe chemischer und enzymatischer Hydrolysen und eines *in vitro*-Modells.

Zum ersten Mal wurden bei einer Analyse auf maskierte Toxine neben DON und ZON auch die Toxine des Typ A mit erfasst.

Ein TFA-Aufschluss wurde zur unspezifischen Freisetzung möglicherweise gebundener Toxine eingesetzt. Das Enzymgemisch Clara-Diastase ermöglicht die Freisetzung von Substanzen aus verschiedensten Bindungen. Das Magen-Darm-Modell wurde zur Simulierung der *in vivo*-Bedingungen des tierischen Verdauungstraktes verwendet.

Die statistische Auswertung der einzelnen Versuche ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten mit Behandlung im Vergleich zu den Varianten ohne Behandlung. Es konnte somit keine Freisetzung von möglicherweise vorhandenen maskierten Toxinen aus den Strohproben mit den angewandten Methoden nachgewiesen werden.

8 Summary

In a two year enduring nationwide screening experiment, the occurrence of 13 trichothecene toxins, as well as zearalenone (ZEA) and ochratoxin A (OA) in crop straw was examined, in order to enable a better assessment of the risk of exposure for farm animals through the intake of the straw. The straw samples were taken according to the "Futtermittelprobenahme - und Analysenverordnung" and the attached questionnaires were filled out in cooperation with the farmers. Through correlation of the toxin contents with the information of the questionnaire, hints for the influence of measures of cultivation and crop farming on the toxin content of the straw were sought. Additionally, through correlation of the toxin contents with weather data, hints for the influence of the weather on the toxin content of the straw were sought. In plus, information on the occurrence of masked toxins in straw should be obtained.

With the help of the extensive, nationwide taking of samples, implemented by official samplers, these samples illustrate a representative average for Germany throughout the two years of investigation.

A screening of straw samples of different sorts of crop from 2007 and 2008 were examined on a spectrum of 14 *Fusarium* toxins as well as OA, a macroscopic result for the samples was raised. A statistic evaluation of the data was made.

Throughout the two years of investigation, 80 samples of wheat straw, 79 of barley straw, 11 of oat straw, 12 of rye straw, 12 of triticale straw , 1 of spelt straw and 6 of an unknown sort of straw were examined.

The macroscopic results for the screening samples revealed a mostly positive figure concerning the food value, on the other hand the figure concerning the average hygienic status showed in 2007 and 2008 an evidence for slight or even distinct hygienic deficiencies.

The pollution of the straw samples with a spectrum of *Fusarium* toxins was verified. Because the average ascertained number of cooccurring toxins in the samples was 3, the possibility of a multi toxin exposure of the straw must be considered. DON was concerning the frequency of occurrence and the content the dominating toxin. It occurred in 83 % of the samples verifiable with an average content of 1234 µg/kg, a median content of 439 µg/kg and a range of variation of 23253 µg/kg.

Summary

The trichothecenes HT-2, T-2, T-2,4, SCIRP, NIV, 15-ADON and 3-ADON were verifiable in 55, 37, 9, 9, 32, 21 and 9 % of the 201 analysed samples. FUS-X, MAS, DAS, T-2,3 and OA were detected in less than 5 % of the samples, NEO in none of them. ZEA was provable in 46 % of the 201 samples, with contents between 7 and 767 µg/kg. OA was detected in only one of the 201 straw samples, consequently there is no pollution by this storage toxin expected. In comparison to the corn fraction there are higher toxin values in straw.

A different occurrence of trichothecene was observed in the 2 years of investigation. In the first year the contents of NIV, 15-ADON and ZEA were higher than in the second year. HT-2 and T-2 were significant or rather tendential existent in a higher number in the year 2008. Altogether, the pollution of the straw was higher in the year 2007, recognizable through the sensorial evaluation as well as through the analysis of the *Fusarium* toxins.

Wheat- and barley straw exhibited a pollution by different spectra of trichothecene, whereby the results of the two years of investigation coincided well. All in all, significant different contents of the toxins DON, 15-ADON and ZEA with higher contents in the wheat straw and the type-A trichothecenes HT- and T-2 in the barley straw could be detected. These differences in the spectrum of toxins could arise from a population of different species of *Fusarium*.

In the samples of barley straw the type-A trichothecenes HT-2 and T-2 exhibited significant higher contents in the south of Germany but did not exhibit significant differences concerning wheat straw. In barley straw ($p=0.1032$) as well as in wheat straw ($p=0.0171$), the DON displayed tendential or rather significant higher contents in the western areas of Germany. NIV displayed significant higher contents ($p=0.0221$) in samples of wheat straw in these areas as well.

The high amounts of samples of wheat- and barley straw allowed a detached evaluation concerning the influences of cultivation and crop farming on the two sorts of straw on the one hand and on the other hand a geographic distribution of the toxins within Germany. The information given through the questionnaires were correlated with the contents of toxin of the respective sample of straw and evaluated statistically. Samples of turning cultivation exhibited a significant or tendential higher pollution by DON compared to samples of non turning cultivation. The wheat and barley plants were cultivated from different preceding crops. The NIV content of barley straw was

Summary

significant higher than in samples with the preceding crop corn. There were no significant differences determined in the wheat straw.

After the harvest the straw was stored for a different period of time at different places. Samples of wheat straw which were stored outside contained a significant higher amount of DON than samples which were stored inside.

The samples were stored for a different period of time between the harvest and the sampling. There were no higher contents of toxins in the samples which were stored for a longer period of time.

The assay of the samples of straw concerning masked toxins were made with the help of chemical and enzymatic hydrolyses and an *in vitro* - model, which simulates the conditions in the gastro-intestinal tract of a pig.

A TFA incubation was applied for the unspecific release of possibly bounded toxins. A mixture of an enzyme called Clara-Diastase enables the release of substances from different bondings. The gastrointestinal model was used for the simulation of the *in-vivo* conditions in the digestive tract of the animal.

The statistic evaluation of the single experiments delivered no significant differences between the varieties with treatment compared to the varieties without treatment. So a release of possibly existing masked toxins was not verifiable with the applied methods.

9 Literaturverzeichnis

Analytical Methods Committee (2000): Determination of thiamine and riboflavin in pet foods and animal feedingstuffs; *Analyst*, 125, 353-360

Amuzie, C.J., Harkema, J.R., Pestka, J.J. (2008): Tissue distribution and proinflammatory cytokine induction by the trichothecene deoxynivalenol in the mouse: Comparison of nasal vs. oral exposure; *Toxicology*, 248, 39-44

van Barneveld, R. (2005): Accurate assessment of diet intake and composition in various pig housing systems; *Pig Research Report (APL Projekt 1754)*; Eigenverlag

Barug, D., Bhatnagar, D., van Egmond, H.P., van der Kamp, J.W., van Osenbruggen, W.A., Visconti, A. (2006): *The mycotoxin factbook*; 4. *Fusarium genomics*; Wageningen Academic Publishers; 167

Bauer (1993): Vom Tier auf den Menschen übertragbare Mykotoxine; 20. Kongress der deutschen veterinärmedizinischen Gesellschaft e.V., 156-173

Beck, R., Lepschy, J. (2000): Ergebnisse aus dem *Fusarium*-Monitoring 1989-1999 – Einfluss der produktionstechnischen Faktoren Fruchtfolge und Bodenbearbeitung in Risiken durch den Ährenparasiten *Fusarium graminearum*-Ergebnisse eines LBP-Forschungsverbundes, 3/2000

Berner, A., Frei, R., Dierauer, H.-U., Vogelsang, S., Forrer, H.-R., Mäder, P. (2005): Effects of reduced tillage, fertilisation and biodynamic preparations on crop yield, weed infestation and the occurrence of toxigenic *fusaria*; <http://www.orgprints.org/4216>

Berthiller, F., Dall'asta, C., Schumacher, R., Lemmens, M., Adam, G., Krska, R. (2005): Masked Mycotoxins: Determination of a Deoxynivalenol Glucoside in Artificially and Naturally Contaminated Wheat by Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry; *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 3421-3425

Literaturverzeichnis

Berthiller, F., Dall'asta, C., Corradini, R., Marchelli, R., Sulyok, M., Krska, R., Adam, G., Schumacher, R. (2009): Occurrence of deoxynivalenol and its 3- β -D-glucoside in wheat and maize; *Food Additives and Contaminants*, 26 (4), 507-511

Berthiller, F., Schumacher, R., Adam, G., Krska, R. (2009): Formation, determination and significance of masked and other conjugated mycotoxins; *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 395, 1243-1252

Birzele, B., Prange, A., Krämer, J. (2000): Deoxynivalenol and ochratoxin A in German wheat and changes of level in relation to storage parameters; *Food Additives and Contaminants*, 17 (12), 1027-1035

Birzele, B., Meier, A., Hindorf, H., Krämer, J., Dehne, H.-W. (2002): Epidemiology of *Fusarium* infection and deoxynivalenol content in winter wheat in the Rhineland, Germany; *European Journal of Plant Pathology*, 108, 667-673

Bottalico, A. (1998): *Fusarium* diseases of cereals: Species complex and related Mycotoxin profiles, in Europe; *European Journal of Plant Pathology*, 80 (2), 85-103

Bottalico, A., Perrone, G. (2002): Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with head blight in small-grain cereals in Europe; *European Journal of Plant Pathology*, 108, 611-624

Büttner, P. (2006): Das Artenspektrum der Gattung *Fusarium* an Weizen und Roggen in Bayern in den Jahren 2003 und 2004; *Gesunde Pflanze*, 58, 28-33

Clement, J.A., Parry, D.W. (1998): Stem-base disease and fungal colonisation of winter wheat grown in compost inoculated with *Fusarium culmorum*, *F. graminearum* and *Microdochium nivale*; *European Journal of Plant Pathology*, 104, 323-330

Dänicke, S. und Valenta, H. (2/1999): Mykotoxine im Futter-Gefahr für landwirtschaftliche Nutztiere? ; Forschungsreport 2/1999, Die Zeitschrift des Senats der Bundesforschungsanstalten, BMELV.

Literaturverzeichnis

Dänicke, S., Gareis, M., Bauer, J. (2001): Orientation values for critical concentrations of deoxynivalenol and zearalenone in diets for pigs, ruminants and gallinaceous poultry; Proceedings of the Society of Nutrition and Physiology, 10, 171-174

Dänicke, S., Goyarts, T., Valenta, H. (2007): On the specific and unspecific effect of a polymeric glucomannan mycotoxin adsorbent on piglets when fed with uncontaminated or with *Fusarium* toxins contaminated diets; Archives of Animal Nutrition, 61 (4), 266-275

Diaz, D.E. (2005): The Mycotoxin Blue Book; Nottingham University Press

Dill-Macky, R., Jones, R.K. (2000): The Effect of Previous Crop Residues and Tillage on *Fusarium* Head Blight of Wheat; Plant Disease, 84, 71-76

Doleschel, P. (2005): Fusarium bei Getreide-beherrschbar oder nicht? SGV-Tagung Schwabmünchen; LfL Pflanzenbau, 6/2005

Döll, S., Dänicke, S. (2004): *In vivo* Detoxification of *Fusarium* toxins; Archives of Animal Nutrition, 58, 419-441

Döll, S., Dänicke, S., Valenta, H., Flachowsky, G. (2004): *In vitro* studies on the evaluation of mycotoxin detoxifying agents for their efficacy on deoxynivalenol and zearalenone; Archives of Animal Nutrition, 58 (4), 311-324

Döll, S., Dänicke, S. (2011): The *Fusarium* toxins Deoxynivalenol (DON) and zearalenone (ZON) in animal feeding; Preventive Veterinary Medicine, 102 (2011), 132-145

Drochner, W., Schollenberger, M., Piepho, H.-P., Götz, S., Lauber, U., Tafaj, M., Klobasa, F., Weiler, U., Claus, R., Steffl, M (2004): Serum IgA-promoting effects induced by feed loads containing isolated deoxynivalenol (DON) in growing piglets; Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A, 67, 1051-1067

Literaturverzeichnis

Drochner, W., Schollenberger, M., Götz, S., Lauber, U., Tafaj, M., Piepho, H.-P. (2006): Subacute effects of moderate feed loads of isolated *Fusarium* toxin deoxynivalenol on selected parameters of metabolism in weaned growing piglets; *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 90, 421-428

Edwards, S.G. (2009); *Fusarium* mycotoxin content of UK organic and conventional wheat; *Food Additives and Contaminants*, 26 (4), 496-506

Edwards, S.G. (2009): *Fusarium* mycotoxin content of UK organic and conventional barley; *Food Additives and Contaminants*, 26 (8), 1185-1190

EFSA (2004): Opinion of the scientific panel on contaminants in the food chain on a request from the commission related to zearalenone as undesirable substance in animal feed; *The EFSA Journal*, 89, 1-35

Engelhardt, G., Ruhland, M., Wallnöfer, P.R. (1999): Metabolism of mycotoxins in plants; *Advanced Food Science*, 21(3/4), 71-78

European Mycotoxin Seminar Series (2005): Tagungsband zu den Proceedings from European Mycotoxin Seminar Series, 31-43

Feinberg, B und Mc Laughlin, C.S. (1989): Biochemical mechanism of action of trichothecene mycotoxins. In: Beasley, V.R. (Ed) *Trichothecene mycotoxicosis: Pathological effects*. Volume 1, CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, 27-35.

Flachowsky, G. (1987): *Stroh als Futtermittel*; VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin

Galverna, G., Dall'Àsta, C., Mangia, M., Dossena, A., Marchelli, R. (2009): Masked mycotoxins: an emerging issue for food safety; *Czechish Journal of Food Science*, 27, 89-92

Literaturverzeichnis

Gareis, M., Bauer, I., Enders, C., Gedek, B. (1989): Contamination of cereals and feed with *Fusarium* mycotoxins in European countries; *Fusarium, Mykotoxins, Taxonomy and Pathogenicity*, 441-472

Gareis, M. (1994): Maskierte Toxine; *Übersichten Tierernährung*, 22, 104-113

Goyarts, T., Dänicke, S. (2006): Bioavailability of the *Fusarium* toxin deoxynivalenol (DON) from naturally contaminated wheat for the pig; *Toxicology Letters*, 163, 171-182

Gutleb, A.C., Morrison, E., Murk, A.J. (2002): Cytotoxicity assays for mycotoxins produced by *Fusarium* strains: a review; *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 11, 309-320

Gutzwiller, A., Gafner, J.-L. (2008): Mykotoxinbelastetes Stroh und Fruchtbarkeit von Sauen; *AGRARForschung*, 15 (3), 156-159

Heß, M., Hillebrecht, W., Winkler, J. (2009): Verschiedene *Fusarium*arten auf der Gerste-Auftreten und Einfluss der Bekämpfungsmaßnahmen; *Getreidemagazin*, (2), 80-82

Hirschfeld, T., Großmann, M., Ellner, F., Büttner, C. (2005): Mykotoxingehalte in Triticale, Untersuchungen zum Einfluss von Bodenbearbeitungs- und Fungizidmaßnahmen; *Getreidemagazin*, 10 (2), 124-127

Hocke, K.B. (2008): Entwicklung und Validierung von Enzymimmunotests zum Nachweis von T-2 Toxin und HT-2 Toxin sowie Vorkommen dieser Mykotoxine in Lebensmitteln des deutschen Marktes; *Dissertation, Universität München*

Hope, R., Aldred, D., Magan, N. (2005): Comparison of environmental profiles for growth and deoxynivalenol production by *Fusarium culmorum* and *F. graminearum* on wheat grain; *Letters in Applied Microbiology*, 40, 295-300

Literaturverzeichnis

Hunder, G., Schümann, K., Strugala, G., Gropp, J., Fichtl, B., Froth, W. (1991): Influence of subchronic exposure to low level dietary deoxynivalenol, a trichothecene mycotoxin, on intestinal absorption of nutrients in mice; *Food Chemistry and Toxicology*, 29, 809-814

JECFA (2001): Joint FAO/WHO expert committee on food additives; Fifty-sixth meeting, Geneva

Joel, S.P., Clark, P.I., Slevin, M.L. (1995): Stability of the i.v. and oral formulations of etoposide in solution; *Cancer Chemother Pharmacol*, 37, 117-124

Kamphues, J., Meyer, H. (2004): *Supplemente zu Vorlesungen und Übungen in der Tierernährung*; Hannover

Koch, H.J., Pringas, C., Maerlaender, B. (2006): Evaluation of environmental and management effects on *Fusarium* head blight infection and deoxynivalenol concentration in the grain of winter wheat; *European Journal of Agronomy*, 24, 357-366

Kommission der Europäischen Gemeinschaft (2006): Empfehlung der Kommission vom 17. August 2006 betreffend das Vorhandensein von Deoxynivalenol, Zearalenon, Ochratoxin A, T-2- und HT-2-Toxin sowie von Fumonisin in zur Verfütterung an Tiere bestimmten Erzeugnissen (2006/576/EG); *Amtsblatt der Europäischen Union*, L229, 7-9

Köhl, J., Waalwijk, C. (2007): Ährenfusariose: Viele Erreger verursachen Probleme; *Getreidemagazin* (2), 100-104

Krauthausen, H.-J., Weinert, J., Bauermann, W., Wolf, G.A. (2003): Mehrjährige Erhebung zum Vorkommen von Ährenfusariosen und dem Mykotoxin Deoxynivalenol in Getreide aus Rheinland-Pfalz; *Gesunde Pflanzen*, 55 (5), 136-143

Kuhlmann, I., Valenta, H., Goll, M., Oldenburg, E., Flachowsky, G. (1999): Untersuchungen zu Schimmelpilzbesatz und Mykotoxingehalt in Getreide aus Thüringen und Sachsen-Anhalt von 1996; *Proceedings 21. Mykotoxin Workshop*, 229-23, Eigenverlag

Kuiper-Goodman, T., Scott, P.M., Watanabe, H. (1987): Risk Assessment of the Mycotoxin Zearalenone; Regulatory Toxicology and Pharmacology, 7, 253-306

*Lacey, J., Bateman, G.L., Mirocha, C.J. (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*

Lew, H., Adler, A., Brodacz W., Edinger, W. (1997): Zum Vorkommen von Nivalenol in Getreide und Mais; Proceedings 19. Mykotoxin-Workshop, 6-9

LfL Tierernährung (2007): Schimmelpilze und Mykotoxine in Futtermitteln; Vorkommen, Bewerten, Vermeiden; Länderübergreifende Zusammenarbeit der Landesanstalten für Landwirtschaft, 2. Auflage, Eigenverlag

*Lienemann, K. (2002): Auftreten von *Fusarium*-Arten an Winterweizen im Rheinland und Möglichkeiten der Befallskontrolle unter besonderer Berücksichtigung der Weizensorte; Dissertation Agr, Universität Bonn*

*Lienemann, K., Oerke, E.-C., Dehne, H.W. (2003): Infektion und Ausbreitung von *Fusarium* spp. an Weizen in Abhängigkeit der Anbaubedingungen im Rheinland; Schriftenreihe des Lehr- und Forschungsschwerpunktes USL*

*Liu, Y., Walker, F., Hoeglinger, B., Buchenauer, H. (2005): Solvolysis Procedures for the Determination of Bound Residues of the Mycotoxin Deoxynivalenol in *Fusarium* Species Infected grain of two Winter Wheat Cultivars Preinfected with Barley Yellow Dwarf Virus; Journal of Agriculture and Food Chemistry, 53, 6864-6869*

Lusky, K., Tesch, D., Göbel, R., Haider, W. (1997): Gleichzeitige Verabreichung der Mykotoxine Ochratoxin A und Zearalenon über das Futter an Schweine-Einfluss auf die Tiergesundheit und Rückstandsverhalten; Tierärztliche Umschau, 52, 212-221

*Magan, N., Lacey, J. (1984): Water relation of some *Fusarium* species from infected wheat ears and grain; British Mycological Society, 83 (2), 281-285*

Literaturverzeichnis

Magan, N., Aldred, D. (2007): Post-harvest control strategies: Minimizing mycotoxins in the food chain; International Journal of Food Microbiology, 119, 131-139

Mansfield, M.A., De Wolf, E.D., Kuldau, G.A. (2005): Relationship between weather conditions, agronomic practices, and fermentation characteristics with deoxynivalenol content in fresh and ensiled maize; Plant Disease, 11, 1151-1157

*Mastel, K., Michels, K. (2000): Dauerbrenner *Fusarium*; Landinfo, 9, 9-13*

*Meinert, G. (2003): Bodenschutz gleich *Fusarien*?; DLG-Mitteilungen, 2, 16-18*

*Miedaner, T., Reinbrecht, C. (1999): *Fusarien* in Getreide-Bedeutung von Pflanzenbau und Resistenzzüchtung zur Verminderung von Ertragsverlusten und einer Kontamination mit Mykotoxinen; Getreide, Brot und Mehl, 53 (3), 135-140*

Miller, J.D. (1995): Fungi and Mycotoxins in Grain: Implications for Stored Product Research; Journal of Stored Products Research, 31 (1), 1-16

*Miller, J.D., Culley, J., Fraser, K., Hubbard, S., Meloche, F., Ouellet, T., Seaman, W.L., Seifert, K.A., Turkington, K., Voldeng, H. (1998): Effect of tillage practice on *fusarium* head blight of wheat; Canadian Journal of Plant Pathology, 20, 95-103*

*Mirocha, C.J., Abbas, H.K., Windels, C.E., Xie, W. (1989): Variation in Deoxynivalenol, 15-Acetyldeoxynivalenol, 3-Acetyldeoxynivalenol, and Zearalenone Production by *Fusarium graminearum* Isolates; Applied and Environmental Microbiology, 55 (5), 1315-1316*

*Morgavi, D.P., Riley, R.T., (2007): *Fusarium* and their toxins: Mycology, occurrence, toxicity, control and economic impact; Animal Feed Science and Technology, 137, 201-212*

Müller, H.-M., Lehn, C. (1988): Ergosterin als Maß für das Pilzwachstum in Futtermitteln; Archives of Animal Nutrition, 38 (3), 227-240

Müller, H.-M., Schwadorf, K. (1990): Ergosterol as a measure for fungal growth in feed 2. Ergosterol content of mixed feed components and mixed feed; Archives of Animal Nutrition, 40 (4), 385-395

Müller, H.-M., Reimann, J., Schumacher, U., Schwadorf, K. (1997): 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., Schwadorf, K. (2001): Further survey of the occurrence of *fusarium* toxins in wheat grown in southwest Germany; Archives of Animal Nutrition, 54 (2), 173-182

Naumann, K., Basler, R. (1979): VDLUFA-Methodenbuch, Band III. Die Chemische Untersuchung von Futtermitteln. VDLUFA-Verlag Darmstadt,.

Obst, A., Fuchs, H. (2000): Der *Fusarium*-Besatz bei Winter- und Sommergetreide – Untersuchungsergebnisse von Saatgetreidestichproben aus Bayern 1987-1999; Bodenkultur und Pflanzenbau, 4 (3), 89-98

Oerke, E.-C., Meier, A., Dehne, H.-W., Sulyok, M., Krska, R., Steiner, U. (2010): Spatial variability of *fusarium* head blight pathogens and associated mycotoxins in wheat crops; Plant Pathology, 59, 671-682

Opitz, W., Boberfeld, K., Wöhler, K., Laser, H. (2004): Zur Bedeutung von Pilzbefall für die Futterqualität von Weidefutter im Herbst und Winter in Abhängigkeit von Pflanzengesellschaft, Witterung und Standort; Die Bodenkultur, 55 (3), 135-144

Parry, D.W., Jenkins, P., McLeod, L. (1995): *Fusarium* ear blight (scab) in small grain cereals-a review; Plant Pathology, 44, 207-238

Paulitz, T. C. (1996): Diurnal release of ascospores by *Gibberella zeae* in inoculated wheat plots; Plant Disease, 80 (8), 674-678

Literaturverzeichnis

Perkowski, J., Basinski, T. (2002): Natural contamination of oat with group A trichothecene mycotoxins in Poland; *Food Additives and Contaminants*, 19 (5), 478-482

Pfohl-Leszkowicz, A., Manderville, R.A. (2007): Ochratoxin A: An overview on toxicity and carcinogenicity in animals and humans; *Molecular Nutrition and Food Research*, 51, 61-99

Piper, D.W., Fenton, B.H. (1965): pH stability and activity curves of pepsin with special reference to their clinical importance; *Gut*, 6, 506-509

Plasencia, J., Miroch, C. (1991): Isolation and characterization of zearalenone sulfate produced by *Fusarium spp.*; *Applied and Environmental Microbiology*, 57 (1), 146-150

Reiman, J. (1994): Pilzbesatz und *Fusarien*-Toxine in Getreideproben aus den Regierungsbezirken Stuttgart und Tübingen der Erntejahre 1989 und 1990; Dissertation Agr, Universität Hohenheim

Reiss, J. (1977): Biosynthesewege wichtiger Mykotoxine; *Zeitschrift für Allgemeine Mikrobiologie*, 18 (1), 774-757

Richardson, K.E., Hamilton, P.B. (1990): Comparative toxicity of scirpentriol and its acetylated derivatives; *Poultry Science*, 69, 397-402

Rohweder, D., Valenta, H., Sondermann, S., Schollenberger, M., Drochner, W., Pahlow, G., Döll, S., Dänicke, S. (2011): Effects of storage conditions on the mycotoxin contamination of *Fusarium culmorum*-infected and non-infected wheat straw; *Mycotoxin Research*, 27, 145-153

Schlüter, K., Kropf, U., Karlovsky, P. (2006): Untersuchungen zur systematischen Infektion von *Fusarium culmorum* an Winterweizen in Schleswig-Holstein; *Gesunde Pflanzen*, 58 (2), 107-116

Schlüter, K., Kropf, U. (2006): *Fusarium*-Befall aus dem Boden?; *Landwirtschaft ohne Pflug*, 2, 28-32

Schollenberger, M., Lauber, U., Terry-Jara, H., Suchy, S., Drochner, W., Müller, H.-M. (1998): Determination of eight trichothecenes by gas chromatography mass-spectrometry after sample clean-up by two-stage solid phase extraction; *Journal of Chromatography A*, 815, 123-132

Schollenberger, M., Drochner, W., Rühle, M., Suchy, S., Terry-Jara, H., Müller, H.-M. (2005): Trichothecene toxins in different groups of conventional and organic bread of the German market; *Journal of Food Composition and Analysis*, 18, 69-78

Schollenberger, M., Müller, H.-M., Rühle, M., Suchy, S., Plank, S., Drochner, W. (2006): Natural occurrence of 16 *Fusarium* toxins in grains and feedstuffs of plant origin from Germany; *Mycopathologia*, 161, 43-52

Schollenberger, M., Drochner, W., Müller, H.-M. (2007): *Fusarium* toxins of the scirpentriol subgroup: a review; *Mycopathologia*, 164, 101-118

Schollenberger, M., Müller, H.-M., Rühle, M., Suchy, S., Drochner, W. (2008): Redisribution of 16 *Fusarium* toxins during commercial dry milling of maize; *Cereal Chemistry*, 85 (4), 557-560

Seitz, L.M., Bechtel, D.B. (1985): Chemical, physical and microscopial studies of scab-infected hard red winter wheat; *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 33, 373-377

Sinha, K.K., Bhatnagar, D. (1999): *Mycotoxins in Agriculture and Food Safety*; Marcel Dekker, Inc., 255-277

Snijders C.H.A. (1990): Systemic fungal growth of *Fusarium culmorum* in stems of winter wheat; *Journal of Phytopathology*, 129, 133-140

Tassou, C.C., Natskoulis, P.I., Magan, N., Panagou, E.Z. (2009) : Effect of temperature and water activity on growth and ochratoxin A production boundaries of two As-

Literaturverzeichnis

pergillus carbonarius isolates on a simulated grape juice medium; Journal of Applied Microbiology 107, 257-268

Tischner, H., Eiblmeier, P. (2005): Toxinbildung durch Ährenfusariosen bei Triticale; Getreidemagazin, 10 (2), 120-123

Töpfer, A. (2006): Forschungsprojekt Mykotoxine in Getreide und Stroh-Information und Sachstandsbericht; Tätigkeitsbericht LUFA Augustenberg 2005-2006, 148-150, Eigenverlag

Töpfer, A., Wagner, W., Michels, K., Mastel, K. (2007): Comparative study of mycotoxin content on grain and straw in different cereals – first results; Proceedings 29. Mycotoxin Workshop, 110, Eigenverlag

Torp, M., Nirenberg, H.I. (2004): *Fusarium langsethiae* sp. nov. on cereals in Europe; International Journal of Food Microbiology, 95, 247-256

Ulbrich, M., Hoffmann, M., Drochner, W. (2004): Fütterung und Tiergesundheit; Eugen Ulmer GmbH, Stuttgart

Valero, A., Marin, S., Ramos, A.J., Sanchis, V. (2007): Effect of preharvest fungicides and interacting fungi on *Aspergillus carbonarius* growth and ochratoxin A synthesis in dehydrating grapes; Letters in Applied Microbiology, 45, 194-199

Waalwijk, C., Kastelein, P., de Vries, I., Kerényi, Z., van der Lee, T., Hesselink, T., Köhl, J., Kema, G. (2003): Major changes in *Fusarium* spp. in wheat in the Netherlands; European Journal of Plant Pathology, 109, 743-754

Whitaker, T.B., Hagler, W.M., Giesbrecht, F.G., Johnsson, A.S. (2000): Sampling, sample preparation, and analytical variability associated with testing wheat for deoxynivalenol; Journal of AOAC International, 83, 1285-1292

Literaturverzeichnis

White, C.I., Edwards, S.G., Stewart, A.H. (2007): An investigation into the level of fusarium mycotoxins in samples of UK wheat straw used for bedding livestock; Proceedings of the British Society of Animal Science Annual Conference 2007, 106

Wichert, B., Nater, S., Wittenbrink, M.M., Wolf, P., Meyer, K., Wanner, M. (2008): Judgement of hygienic quality of roughage in horse stables in Switzerland; Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 92, 432-437

Willcock, J., Magan, N. (2001): Impact of environmental factors on fungal respiration and dry matter losses in wheat straw; Journal of Stored Products Research, 37, 35-45

Wollenweber, H.W., Reinking, O.A. (1935): Die Fusarien - Ihre Beschreibung, Schadwirkung und Bekämpfung; Verlag Paul Parey, Berlin

Zhou, B., Li, Y., Gillespie, J., He, G.-Q., Horsley, R., Schwarz, P. (2007): Doehlert Matrix Design for Optimization of the Determination of Bound Deoxynivalenol in Barley Grain with Trifluoroacetic Acid (TFA); Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55, 10141-1014

10 Anhang

10.1 Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Chemische Struktur des Ochratoxin A.....	7
Abbildung 2: Chemische Struktur der Trichothecene	12
Abbildung 3: Chemische Struktur des Zearalenons.....	13
Abbildung 4: Anzahl der Strohproben je Bundesland und Erntejahr.....	36
Abbildung 5: Monatsmittel des Niederschlags und der Temperatur in den Vegetations- perioden der Erntejahre 2007 und 2008	54
Abbildung 6: Mittelwerte des Niederschlags je Monat aus den Ernteperioden 2007 und 2008 aufgeteilt in die Bereiche Nord- und Süddeutschland bzw. Ost- und Westdeutschland (Aufteilung siehe Abbildung 9)	55
Abbildung 7: Mittelwerte des Niederschlags je Erntejahr (2007 und 2008) aufgeteilt in die Bereiche Nord- und Süddeutschland.....	56
Abbildung 8: Unterschiede im Toxingehalt zwischen Weizen und Gerste über beide Versuchsjahre (**p<0,01, ***p<0,001).....	69
Abbildung 9: Aufteilung Deutschlands in die Regionen Nord und Süd bzw. Ost und West unter Angabe der Probenzahl je Region und Erntejahr (2007/2008).....	74

10.2 Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Mittelwerte mit Angabe der Standardabweichung von Ergosteringehalten von Getreidekörnerproben der Getreidearten Weizen, Gerste und Hafer (Müller und Lehn, 1988)	5
Tabelle 2: Beurteilung des Ergosteringehaltes von Getreidekörnern (aus Reiman, 1994 von Schnürer und Jonsson, 1992).....	6
Tabelle 3: Gehalt an DON und Ergosterin in Weizenkörnerproben (Seitz und Bechtel, 1985)	6
Tabelle 4: Von <i>Fusarium</i> -Spezies produzierte Trichothecentoxine und Zearalenon in Getreide (Bottalico, 1998; Torp und Nirenberg, 2004).....	11
Tabelle 5: Trichothecentoxine mit den charakteristischen Substituenten	13
Tabelle 6: Einfluss der Bodenbearbeitung auf den DON-Gehalt von Weizenkörnern und Weizenstroh (Berner et al., 2005).....	20
Tabelle 7: Orale Toxizität einiger <i>Fusarium</i> -Toxine und Ochratoxin A (Sinha und Bhatnagar, 1999; Pfohl-Leszkowicz und Manderville, 2007; Kuiper-Goodman et al., 1987)	22
Tabelle 8: Empfindlichkeit landwirtschaftlicher Nutztiere gegenüber Mykotoxinen (Dänicke et al., 1999).....	25
Tabelle 9: Auswirkungen unterschiedlich hoher Trichothecengehalte im Futter auf das Krankheitsbild verschiedener Tierarten (LfL, 2007)	26
Tabelle 10: Auswirkungen unterschiedlich hoher ZON-Gehalte im Futter auf das Krankheitsbild verschiedener Tierarten (LfL, 2007).....	27
Tabelle 11: Auszug aus den Richtwerten der EU (2006) zu Mykotoxingehalten in Futtermitteln.....	30
Tabelle 12: Strohaufkommen und Zahl der Proben je Bundesland und Erntejahr	35
Tabelle 13: Sensorische Prüfung von Stroh (Kamphues et al., 2004).....	38
Tabelle 14: Einteilung der Proben bezüglich des Futterwertes und des Hygienestatus nach Punkten.....	38
Tabelle 15: Nachweis (S/N=3)- und Bestimmungsgrenzen (S/N=6) der 13 Trichothecentoxine und ZON.....	47
Tabelle 16: Ergosterin in der Strohfraktion der Getreidepflanze	58
Tabelle 17: <i>Fusarium</i> -Toxingehalte in den Strohproben der Ernten 2007 und 2008 berechnet auf einen Trockenmassegehalt von 88 % (Mittelwert der pos. Proben)...	59

Anhang

Tabelle 18: Anzahl an Toxinen die gleichzeitig in einer Strohprobe nachgewiesen wurden.....	61
Tabelle 19: Kombination der <i>Fusarium</i> -Toxine in der Gesamtzahl an Strohproben..	62
Tabelle 20: Kombination der <i>Fusarium</i> -Toxine innerhalb der einzelnen Getreidearten.....	63
Tabelle 21: Toxingehalte in Strohproben der Erntejahre 2007 und 2008.....	64
Tabelle 22: Vorkommen von <i>Fusarium</i> -Toxinen in verschiedenen Getreidearten in beiden Erntejahren	66
Tabelle 23: Toxingehalte in Proben der Stroharten Weizen und Gerste über beide Versuchsjahre.....	70
Tabelle 24: Vergleich der Toxingehalte in Proben der Stroharten Weizen, Gerste, Roggen, Triticale und Hafer aus beiden Erntejahren.....	71
Tabelle 25: Anteil (N) der Stroharten an der Gesamtzahl an Proben (201) nach geographischer Herkunft in den Erntejahren 2007 und 2008.....	73
Tabelle 26: Toxingehalte in Weizen- und Gerstenstroh in Nord- bzw. Süddeutschland.....	75
Tabelle 27: Toxingehalte in Weizen- und Gerstenstroh in Ost- bzw. Westdeutschland.....	76
Tabelle 28: Toxingehalte in Weizen- und Gerstenstroh bei unterschiedlicher Vorfrucht.....	77
Tabelle 29: Toxingehalte in Weizen- bzw. Gerstenstroh bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung	78
Tabelle 30: Toxingehalte in Weizen- bzw. Gerstenstroh bei unterschiedlichen Lagerorten	79
Tabelle 31: Toxingehalte in Weizen- bzw. Gerstenstroh mit unterschiedlicher Lagerdauer	80
Tabelle 32: Korrelation zwischen den <i>Fusarium</i> -Toxinen in der Strohart Weizen aus beiden Versuchsjahren (2007/2008) (Korrelationskoeffizient/Signifikanz).....	81
Tabelle 33: Korrelation zwischen den <i>Fusarium</i> -Toxinen in der Strohart Gerste aus beiden Versuchsjahren (2007/2008) (Korrelationskoeffizient/Signifikanz).....	81
Tabelle 34: Korrelation zwischen den <i>Fusarium</i> -Toxinen in der Strohart Hafer aus beiden Versuchsjahren (2007/2008) (Korrelationskoeffizient/Signifikanz).....	82
Tabelle 35: Korrelation zwischen den <i>Fusarium</i> -Toxinen in der Strohart Triticale aus beiden Versuchsjahren (2007/2008) (Korrelationskoeffizient/Signifikanz).....	82

Anhang

Tabelle 36: Korrelation zwischen den <i>Fusarium</i> -Toxinen in der Strohart Roggen aus beiden Versuchsjahren (2007/2008) (Korrelationskoeffizient/Signifikanz).....	83
Tabelle 37: Korrelation der analysierten Toxine mit den Werten des Hygienestatus aus den Erntejahren 2007 und 2008 (Korrelationskoeffizient/Signifikanz).....	83
Tabelle 38: Behandlungsmodell für ZON mit Trifluoressigsäure (TFA) im Vergleich zur Behandlung ohne TFA (Behandlung ohne TFA = 100%)	85
Tabelle 39: Vergleich der Behandlungsmodelle mit bzw. ohne Clara-Diastase.....	86
Tabelle 40: Vergleich der Behandlungsmodelle des Magen-Darm-Modells	87
Tabelle A1: Vorkommen von <i>Fusarium</i> -Toxinen in den einzelnen Bundesländern über beide Erntejahre	136
Tabelle A2: Niederschlag der Monate März bis September je Bundesland der Jahre 2007 und 2008.....	140
Tabelle A3: Temperatur der Monate März bis September je Bundesland der Jahre 2007 und 2008.....	142
Tabelle A4: Ergebnisse für den Futterwert und den Hygienestatus der sensorischen Überprüfung aus dem Jahr 2007	144
Tabelle A5: Ergebnisse für den Futterwert und den Hygienestatus der sensorischen Überprüfung aus dem Jahr 2008	148

10.3 Datenanhang

Tabelle A1: Vorkommen von *Fusarium*-Toxinen in den einzelnen Bundesländern über beide Erntejahre

Bundes- land	Toxine	% pos. Proben	Bereich (µg/kg)	MW (µg/kg) ± s*
SH (n=17)	NIV	65	60-2473	762±753
	DON	82	56-2580	721±715
	15-ADON	6	23-23	23
	3-ADON	6	78-78	78
	SCIRP	12	343-640	491±210
	T2-			
	TETRA	6	42-42	42
	HT-2	47	9-149	55±44
	T-2	35	16-117	56±41
	ZON	47	9-524	100±175
NDS (n=32)	NIV	31	21-696	278±247
	DON	91	46-3180	759±808
	15-ADON	16	12-245	121±91
	3-ADON	6	30-99	65±49
	T2-			
	TETRA	3	152-152	152
	HT-2	41	9-431	74±110
	T-2	16	18-116	49±43
ZON	44	9-767	155±213	
NRW (n=18)	NIV	28	30-412	198±157
	DON	72	18-9035	2325±2699
	15-ADON	44	28-1834	397±621
	3-ADON	17	71-187	141±61
	SCIRP	6	24-24	24
	T2-			
	TETRA	6	77-77	77
	HT-2	28	9-101	46±39
T-2	17	13-40	28±14	

Anhang

	ZON	67	10-187	58±65
HE	NIV	25	180-275	227±67
(n=8)	DON	88	262-23269	4163±8454
	15-ADON	38	84-509	335±223
	3-ADON	25	52-87	69±25
	SCIRP	13	218-218	218
	T2-			
	TETRA	13	42-42	42
	HT-2	63	9-142	45±56
	T-2	25	6-86	46±57
	ZON	50	9-245	121±126
RP	NIV	36	117-431	277±142
(n=11)	DON	91	36-6430	1949±2383
	15-ADON	36	30-70	47±20
	3-ADON	18	66-219	142±108
	HT-2	64	9-79	41±35
	T-2	55	6-48	22±15
	ZON	27	13-124	52±62
BW	NIV	33	69-208	131±60
(n=15)	DON	93	16-8506	1495±2256
	15-ADON	33	12-1582	338±696
	3-ADON	7	337-337	337
	SCIRP	20	24-124	64±53
	MAS	13	18-28	23±7
	T2-			
	TETRA	13	42-389	216±245
	T2-Triol	7	61-61	61
	HT-2	67	9-293	79±84
	T-2	67	6-129	46±44
	ZON	60	9-196	80±57
BY	NIV	22	21-362	141±121
(n=58)	FUS X	2	33-33	33
	DON	79	17-13985	875±2156
	15-ADON	14	12-2437	383±833

Anhang

	3-ADON	5	30-293	141±137
	SCIRP	14	24-235	87±72
	MAS	5	18-18	18
	DAS	2	21-21	21
	T2-			
	TETRA	14	65-478	180±139
	HT-2	62	9-413	65±80
	T-2	43	2-146	35±33
	ZON	43	7-493	89±121
MV	NIV	17	110-110	110
(n=6)	DON	100	40-3125	1097±1461
	15-ADON	33	12-368	190±252
	3-ADON	17	76-76	76
	T2-			
	TETRA	17	104-104	104
	HT-2	50	33-93	62±30
	T-2	33	27-93	60±47
	ZON	50	22-278	142±129
BB	NIV	33	81-2486	924±1354
(n=9)	DON	56	41-284	133±91
	SCIRP	33	163-413	251±140
	MAS	11	29-29	29
	T2-			
	TETRA	22	182-314	248±93
	HT-2	44	14-23	18±5
	T-2	22	24-42	33±13
	ZON	22	14-51	33±26
SA	NIV	33	132-246	189±80
(n=6)	DON	83	409-4121	1946±1894
	15-ADON	50	36-383	153±199
	3-ADON	33	158-189	174±22
	SCIRP	17	104-104	104
	HT-2	100	9-674	133±266
	T-2	50	8-214	80±116

Anhang

	ZON	67	16-74	51±28
TH	NIV	38	21-34	25±7
(n=8)	DON	88	52-2526	618±863
	15-ADON	13	356-356	356
	T2-			
	TETRA	13	78-78	78
	HT-2	50	32-320	113±139
	T-2	50	8-87	45±34
	ZON	25	13-117	65±74
SN	NIV	43	46-676	315±325
(n=7)	DON	71	139-1974	921±819
	15-ADON	14	12-12	12
	3-ADON	14	91-91	91
	HT-2	57	29-55	41±12
	T-2	43	15-79	40±34
	ZON	43	9-48	24±21
SL	NIV	33	490-662	576±122
(n=6)	DON	100	52- 227	1338±898
	15-ADON	17	115-115	115
	3-ADON	17	30-30	30
	T2-			
	TETRA	17	42-42	42
	HT-2	100	9-251	76±90
	T-2	67	21-57	31±17
	ZON	67	9-87	33±37

* Standardabweichung

Anhang

Tabelle A2: Niederschlag der Monate März bis September je Bundesland der Jahre 2007 und 2008

Niederschlag		Schleswig-	Nordrhein-		Rheinland-Pfalz	Saarland	Baden-Württemberg
		Holstein	Niedersachsen	Westfalen			
Maerz	2007	54,49	65,04	72,36	71,01	84,30	80,31
Maerz	2008	84,57	82,56	92,08	99,88	132,39	99,81
April	2007	3,37	3,96	1,56	1,11	5,52	4,16
April	2008	40,54	47,51	61,81	61,20	66,37	110,19
Mai	2007	91,02	122,06	136,04	96,49	107,16	161,40
Mai	2008	14,17	18,84	46,69	33,84	36,87	52,81
Juni	2007	123,20	96,18	103,67	105,94	124,22	133,21
Juni	2008	42,82	45,19	68,47	68,34	52,61	80,69
Juli	2007	152,91	124,81	121,90	82,41	99,78	115,84
Juli	2008	103,69	110,11	99,81	75,22	77,03	85,71
August	2007	78,53	82,94	143,86	87,71	81,94	107,27
August	2008	142,86	100,00	88,03	72,68	98,36	108,05
September	2007	82,89	102,74	101,63	66,03	57,26	72,54
September	2008	54,59	46,07	59,16	59,12	70,82	63,77

Anhang

(Fortsetzung Tabelle A2)

Niederschlag		Hessen	Bayern	Mecklenburg- Vorpommern	Brandenburg	Sachen- Anhalt	Sachsen	Thüringen
Maerz	2007	66,67	57,83	52,50	55,19	58,53	53,76	65,05
Maerz	2008	84,79	97,80	67,08	61,09	53,41	56,63	72,24
April	2007	1,46	8,49	2,27	1,37	4,28	2,23	5,67
April	2008	71,20	106,04	65,48	72,22	70,14	100,52	81,34
Mai	2007	129,24	167,61	90,92	123,21	117,11	110,86	121,75
Mai	2008	28,26	37,34	14,73	12,08	12,72	18,89	15,30
Juni	2007	108,52	107,97	131,40	101,76	100,27	86,64	103,62
Juni	2008	64,10	77,42	36,42	35,66	46,94	58,26	55,85
Juli	2007	105,77	145,17	109,44	112,95	109,06	102,50	127,56
Juli	2008	53,69	110,30	52,31	56,43	70,28	72,83	64,08
August	2007	103,61	98,64	83,71	73,39	77,32	93,92	81,69
August	2008	63,85	98,89	75,57	62,24	57,72	78,76	50,08
September	2007	98,38	124,49	63,36	77,90	108,35	103,73	132,46
September	2008	56,43	66,20	38,62	50,45	49,48	57,87	59,78

Anhang

Tabelle A3: Temperatur der Monate März bis September je Bundesland der Jahre 2007 und 2008

Lufttemperatur		Schleswig-Holstein	Niedersachsen	Nordrhein-Westfalen	Rheinland-Pfalz	Saarland	Baden-Württemberg
Maerz	2007	6,82	7,13	6,96	6,23	6,26	5,16
Maerz	2008	4,49	4,85	4,90	4,46	4,70	3,97
April	2007	10,40	11,68	12,56	12,98	13,62	12,21
April	2008	7,54	7,88	7,90	7,58	7,80	7,41
Mai	2007	12,77	13,85	14,22	14,47	14,67	14,18
Mai	2008	13,38	14,52	15,21	15,58	15,79	14,82
Juni	2007	16,60	17,55	17,30	17,22	17,28	16,93
Juni	2008	15,86	16,78	16,54	16,93	17,13	16,91
Juli	2007	16,51	17,11	17,05	16,95	16,92	17,05
Juli	2008	17,77	18,22	17,71	17,89	18,12	17,72
August	2007	17,15	17,03	16,58	16,66	16,86	16,52
August	2008	16,90	17,36	17,34	17,26	17,19	17,09
September	2007	13,49	13,43	13,03	12,52	12,66	11,85
September	2008	13,24	13,11	12,67	12,01	12,12	11,76

(Fortsetzung Tabelle A3)

Anhang

Lufttemperatur		Hessen	Bayern	Mecklenburg-Vorpommern	Brandenburg	Sachen-Anhalt	Sachsen	Thüringen
Maerz	2007	6,02	5,10	6,73	7,03	6,84	5,98	5,45
Maerz	2008	4,21	3,47	4,30	4,55	4,68	3,94	3,68
April	2007	11,95	11,34	10,09	11,17	11,18	10,65	10,54
April	2008	7,23	7,31	7,68	8,36	8,09	7,49	6,89
Mai	2007	14,17	13,96	13,81	15,20	14,75	14,58	13,87
Mai	2008	14,97	14,24	13,22	14,86	14,64	14,02	13,87
Juni	2007	17,23	17,16	17,11	18,47	18,14	17,83	17,03
Juni	2008	16,86	16,96	16,45	18,01	17,56	17,23	16,63
Juli	2007	16,85	17,15	17,23	18,18	18,07	17,85	16,94
Juli	2008	17,95	17,48	18,26	19,08	18,78	18,13	17,79
August	2007	16,39	16,33	17,50	17,98	17,50	17,15	16,29
August	2008	17,29	16,99	17,60	18,26	18,16	17,66	17,25
September	2007	12,21	11,45	13,44	13,35	13,34	12,36	11,91
September	2008	12,02	11,61	13,38	13,31	12,97	12,27	11,73

Anhang

Tabelle A4: Ergebnisse für den Futterwert und den Hygienestatus der sensorischen Überprüfung aus dem Jahr 2007

Probennummer	Futterwert (Pkt)	Hygienestatus (Pkt)
1	19	-4
2	16	-7
3	16	-7
4	16	-6
5	13	-10
6	16	-9
7	17	-3
8	18	-6
9	16	-5
10	14	-8
11	16	-3
12	17	-4
13	17	-3
14	17	-4
15	17	-7
16	12	-6
17	16	-4
18	14	-7
19	18	-5
20	18	-3
21	13	-9
22	17	-4
23	17	-4
24	18	-3
25	9	-13
26	13	-8
27	17	-5
28	18	-5
29	17	-4
30	19	-2

Anhang

31	18	-8
32	18	-5
33	17	-5
34	17	-6
35	19	-2
36	19	-4
37	17	-4
38	19	-12
39	16	-6
40	17	-13
41	18	-9
42	16	-7
43	19	-5
44	19	-2
45	16	-7
46	19	-3
47	13	-6
48	17	-7
49	15	-5
50	14	-4
51	15	-4
52	14	-5
53	14	-6
54	14	-9
55	17	-1
56	15	-5
57	18	-2
58	18	-4
59	13	-11
60	16	-6
61	19	-3
62	18	-6
63	16	-3

Anhang

64	15	-5
65	15	-4
66	18	-2
67	17	-4
68	15	-4
69	17	-6
70	17	-1
71	13	-7
72	13	-6
73	16	-2
74	18	-3
75	17	-4
76	16	-4
77	13	-7
78	20	0
79	18	-4
80	18	-6
81	17	-6
82	19	-4
83	7	-16
84	15	-8
85	20	0
86	17	-4
87	14	-10
88	14	-6
89	18	-6
90	19	-1
91	15	-13
92	14	-3
93	15	-8
94	18	-7
95	19	-2
96	17	-5

Anhang

97	19	-2
98	18	-1
99	19	-2
100	19	-2
101	16	-3
102	14	-7
103	19	-2
104	19	-1
105	17	-4
106	19	-1

Anhang

Tabelle A5: Ergebnisse für den Futterwert und den Hygienestatus der sensorischen Überprüfung aus dem Jahr 2008

Probennummer	Futterwert (Pkt.)	Hygienestatus (Pkt.)
501	16	-5
502	20	-2
503	19	-3
504	17	-5
505	18	-2
506	20	-2
507	17	-2
508	17	-3
509	20	-2
510	13	-3
511	18	-10
512	12	-14
513	18	-6
514	19	-2
515	14	-12
516	18	-3
517	20	-3
518	18	-7
519	15	-6
520	15	-4
521	15	-5
522	15	-7
523	18	-8
524	16	-1
525	19	-3
526	17	-7
527	17	-8
528	16	-6
529	20	-3
530	17	-8

Anhang

531	15	-8
532	19	-2
533	13	-15
534	16	-6
535	15	-6
536	15	-4
537	14	-7
538	19	0
539	20	-2
540	17	-3
541	15	-7
542	16	-2
543	14	-6
544	18	-1
545	19	-2
546	19	0
547	16	-3
548	10	-17
549	18	-2
550	15	-15
551	16	-9
552	16	-3
553	12	-3
554	20	-1
555	16	-16
556	18	-3
557	20	-1
558	13	-4
559	17	-8
560	14	-5
561	16	-7
562	20	-2
563	18	-2

Anhang

564	13	-15
565	16	-3
566	17	0
567	20	-2
568	18	-3
569	16	-3
570	20	-2
571	17	-6
572	16	-2
573	19	-5
574	17	-1
575	17	-4
576	18	-4
577	17	-4
578	16	-5
579	15	-4
580	15	-4
581	17	-10
582	18	-8
583	19	-2
584	15	-2
585	18	-3
586	19	-1
587	13	-7
588	14	-6
589	13	-3
590	13	-4
591	16	-2
592	20	-2
593	15	-6
594	16	-4
595	16	-5

Anhang

Abbildung A1: Probenbegleitschein

An
Universität Hohenheim
Institut für Tierernährung (450)
z. Hd. Frau Dr. Schollenberger
70593 Stuttgart

Emil-Wolff-Str. 10
70599 Stuttgart

Probenbegleitschein zur Probenahme von Strohproben

Probenmenge: ca 500 g

Beschreibung der
Probenahme:

Strohart Weizen Gerste Anderes (bitte spezif.)

Sorte (falls bekannt):

Lagerform: Rundballen Quaderballen Andere (bitte spezif.)

Lagerort: im Freien unter Dach

Erntetermin: (wenn Termin nicht bekannt bitte Jahr angeben!)

Vorfrucht:

Bodenbearbeitung: wendend (z.B. Pflug) nicht wendend

Pestizid:

Bemerkungen:

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Diese Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Stuttgart, den 10.07.2011, Sarah Sondermann

Danksagung

Mein aufrichtiger Dank gilt Herrn Prof. Dr. Dr. Dr. h.c. W. Drochner für die Überlassung des Themas und die Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit.

Bei Frau Dr. Schollenberger möchte ich mich herzlich bedanken für die Unterstützung während der gesamten Arbeit. Nicht nur aus fachlicher, sondern auch aus persönlicher Sicht hätte ich mir keine bessere Betreuerin vorstellen können. Vielen Dank dafür.

Dem gesamten Institut für Tierernährung an der Universität Hohenheim und insbesondere dem Laborteam möchte ich für die gute Zusammenarbeit danken.

Meinen Mit-Doktoranden Anne-Christine Hunger, Achim Hoffmann, Susanne Remppis, Bastian Hildebrand, Gerald Wischer und Dirk Rohweder danke ich für die tolle Zusammenarbeit und die interessanten Gesprächsthemen während meiner Zeit am Institut.

Ich möchte den Mitarbeitern des FLI Braunschweigs, die an diesem Projekt beteiligt waren, für die gute Zusammenarbeit danken. Patricia Leberl von der LA Chemie (Hohenheim) möchte ich für die Einarbeitung in die sensorische Beurteilung der Strohproben danken und Dr. Karin Hartung und Herrn Prof. Piepho aus dem Institut für Bioinformatik für die Hilfe bei der statistischen Auswertung der Daten. Ich danke dem Deutsche Wetterdienst für die Bereitstellung der Wetterdaten.

Auf diesem Weg möchte ich mich auch bei Eduard Wilken und Steffen Bock bedanken.

Zuletzt danke ich meinen Eltern, die mir das Studium der Agrarbiologie und die Promotion erst ermöglicht haben und mich in jeder Hinsicht unterstützt haben.

Euch/Ihnen allen vielen Dank.