



Schimmelpilze und Mykotoxine in Futtermitteln

(Futtergetreide, Grünfutter, Silage, Heu, Stroh)

Vorkommen, Bewerten, Vermeiden

**Länderübergreifende Zusammenarbeit der Landesanstal-
ten für Landwirtschaft**

Das Mehrländerprojekt wurde bisher getragen von den Landesanstalten für Landwirtschaft der Bundesländer Baden Württemberg (BW), Bayern (BY), Sachsen (SN) und Thüringen (TH) und nun auf alle Landwirtschaftskammern und Landesanstalten der übrigen Bundesländer erweitert.

An der Erarbeitung der vorliegenden überarbeiteten Schrift (2.Auflage) waren folgende Personen maßgeblich beteiligt:

Dr. W. Richter (Schriftleitung); Dr. M. Schuster; Dr. H. Tischner; S. Weigand; Dr. G. Zimmermann; Dr. J. Eder; Dr. P. Doleschel; Dr. R. Beck und Dr. J. Lepschy von Gleisenthall

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Vöttinger Str. 38

85354 Freising

Dr. O. Steinhöfel; Dr. K. Hörügel † und Gudrun Hanschmann

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

August – Böckstiegel – Straße 1

01326 Dresden

Dr. A. Heinze; Dr. O. Jahn, Dr. H. Hartung und Dr. G. Müller;

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft

Naumburger Str. 98

07743 Jena

Dr. Anja Töpfer, Dr. W. Wagner, Dr. A. Thalmann (Ruhestand)

Landwirtschaftliches Technologiezentrum

Augustenberg

Nesslerstr. 23 - 31

76227 Karlsruhe

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Einführung und Problemsicht	10
2 Die Mykoflora von Futtermitteln	11
2.1 Beurteilung der Mykoflora von Futtergetreide	12
2.2 Beurteilung der Mykoflora von Grünfutter, Silage, Heu und Stroh	14
3 Die wichtigsten Schimmelpilze und ihre Toxine	16
3.1 Feldpilze und deren Mykotoxine	16
3.1.1 Fusarien	16
3.1.1.1 Vorkommen von Fusarien in Futtermitteln	16
3.1.1.2 Bedeutung und Auswirkungen der Fusarientoxine	21
3.1.2 Schwärzepilze	25
3.1.2.1 Vorkommen von Schwärzepilzen in Futtermitteln	25
3.1.2.2 Bedeutung und Auswirkungen von Schwärzepilztoxinen	26
3.1.3 Mutterkorn	26
3.1.3.1 Vorkommen von Mutterkorn in Futtermitteln	26
3.1.3.2 Bedeutung und Auswirkungen von Mutterkorntoxinen	27
3.2 Lagerpilze und deren Mykotoxine	28
3.2.1 Penecillien und Aspergillen	28
3.2.1.1 Vorkommen von Ochratoxin A in Getreide	29
3.2.1.1 Bedeutung und Auswirkungen von Ochratoxin A	32
3.2.1.2 Vorkommen von Roquefortin, Fumitremorgene und Monaculin in Silagen	32
4 Die Beurteilung von Mykotoxingehalten in Futtermitteln	35
5 Maßnahmen zur Vermeidung von Schimmelpilzbefall und Mykotoxinbildung	38
5.1 Ackerbauliche Maßnahmen gegen Fusarien bei Getreide	38
5.1.1 Das Schadbild	38
5.1.2 Anfälligkeit der Getreidearten	40
5.1.3 Abhängigkeit von der Witterung	40
5.1.4 Ernterückstände	42
5.1.5 Sortenanfälligkeit	43
5.1.6 Fungizideinsatz	43
5.1.7 Gesamtstrategie	45
5.2 Konservierung und Lagerung von Getreide	46
5.2.1 Vorbeugende Maßnahmen bei Einlagerung	46
5.2.2 Chemische Konservierung	46

5.2.2.1	Konservierung mit Harnstoff	47
5.2.2.2	Konservierung mit Natronlauge	48
5.2.3	Reinigung von Getreide	50
5.3	Sicherung der aeroben Stabilität von Silagen	52
5.3.1	Folgende Maßnahmen verbessern die aerobe Stabilität von Silagen:.....	52
5.3.2	Therapeutische Maßnahmen	53
5.4	Fütterungsmaßnahmen	53
6	Nachweismethoden.....	56
6.1	Probenahme.....	56
6.2	Mykologische Untersuchungen.....	56
6.2.1	Mykologische Untersuchung von Frischpflanzen.....	56
6.2.2	Mykologische Untersuchung von Konservaten und Mischfuttermitteln	56
6.3	Mykotoxikologische Untersuchungen	57
6.3.1	Physikalisch-chemische Nachweisverfahren	57
6.3.2	ELISA-Verfahren.....	58
6.3.3	Vergleich von Ergebnissen aus HPLC und ELISA Methode	58
6.3.4	Biologische Toxizitätstests.....	59
6.4	Untersuchungskosten	59

Abbildungsverzeichnis	Seite
Abb. 1: Einteilung der Pilze nach Reiß (geändert 1986)	12
Abb. 2: Fusariumbefall bei Körnermais	19
Abb. 3: DON-Gehalte in den Körnermaisversuchen verschiedener Reifegruppen 2002 - 2005 (Mittelwerte)	19
Abb. 4: DON Gehalte in den Jahren 2002 - 2005 an den verschiedenen Versuchstandorten (Mittelwerte)	20
Abb. 5: Vorkommen von Zearalenon in Futtergetreide 1991 - 2000 unter Berücksichtigung der Orientierungswerte bei der Klasseneinteilung	23
Abb. 6: Anteil der zearalenonpositiven Proben (n+ %) und Zearalenongehalte (bezogen auf Trockenmasse) in Silomais und Gras	23
Abb. 7: Auswirkungen von Zearalenon beim weiblichen Schwein	24
Abb. 8: Befall, Aussehen und Auswirkungen von Mutterkorn in Getreide	27
Abb. 9: Vorkommen von OTA in Futtergetreide (Anzahl der Proben 1991-2000, gruppiert nach µg/kg)	30
Abb. 10: Bildung von Ochratoxin A (OTA) und Citrinin (CT) in Futtergerste (A + B = Parallelen)	31
Abb. 11: OTA-Bildung (mg/kg) bei mit DON belastetem Winterweizen während der Lagerung (4-20 Wochen) und unterschiedlichen Kornfeuchten (14/19 %)	31
Abb. 12: <i>Fusarium graminearum</i> – Erreger der partiellen Taubährigkeit und Toxinbildner bei Weizen	39
Abb. 13: Erntegut mit und ohne Fusariumbefall	40
Abb. 14: Deoxynivalenol-Gehalt (relativ) verschiedener Getreidearten Fusarium- Monitoring Bayern 1993-2002	40
Abb. 15: DON-Gehalt in Winterweizen 1989 – 2007 in Bayern	41
Abb. 16: Ausbreitung von <i>Fusarium graminearum</i>	42
Abb. 17: DON-Gehalt von Winterweizen in Abhängigkeit von Vorfrucht und Bodenbearbeitung	43
Abb. 18: Einfluss der Fungizidbehandlung auf DON- Gehalt <i>Fusarium culmorum</i> – künstliche Inokulation; Wirkung von Folicur bzw. Pronto Plus auf den Deoxynivalenol-Gehalt, Winterweizen Contra, (ohne Fungizid = 15,71 mg/kg)	45
Abb. 19: Reduzierung von Mykotoxinen durch chemische Konservierung von Getreide	47
Abb. 20: Konservierung mit Harnstoff	47
Abb. 21: Konservierung mit Natronlauge. Karbonatkristalle können sehr spitz und hart sein, d. h. vor dem Füttern mit Wasser anmischen, um die Kristalle aufzulösen, damit Darmverletzungen vermieden werden..	49
Abb. 22: Reduzierung von DON durch Reinigung	51

Tabellenverzeichnis	Seite
Tab. 1: Qualitätsbewertung von Futtermitteln nach Keimzahlstufen (KZS)	12
Tab. 2: Orientierungswerte für Keimgehalt (nur Pilze in KbE/g) bei QS I im Getreide	13
Tab. 3: Einteilung der ermittelten Keimgehalte der einzelnen Gruppen in Keimzahlstufen.....	13
Tab. 4: Leitkeime und vorläufige Orientierungswerte für Grobfuttermittel	14
Tab. 5: Fusarienarten und ihre Toxine in Getreide.....	17
Tab. 6: Toxingehalte (Trichothecene) im Futter und beobachtete Krankheitserscheinungen bei verschiedenen Tierarten (<i>Literaturdaten</i>).....	22
Tab. 7: Zearalenongehalte im Futter und beobachtet Krankheitserscheinungen bei verschiedenen Tierarten (<i>Literaturdaten</i>)	25
Tab. 8: Von <i>Aspergillen</i> gebildete Mykotoxine (nach Literaturangaben).....	28
Tab. 9: Von <i>Penicillien</i> gebildete Mykotoxine (nach Literaturangaben).....	29
Tab. 10: Ausgewählte Schimmelpilze in Silage.....	32
Tab. 11: Wichtige, silageverderbende Schimmelpilze, Mykotoxine und deren Auswirkungen	33
Tab. 12: Höchstgehalte für Aflatoxin B ₁ (Futtermittelverordnung in der Neufassung vom 7. März 2005, Anlage 5)	34
Tab. 13: Orientierungswerte (BMVEL) für Gehalte an Mykotoxinen in Futtermitteln (mg/kg bei 88 % TM).....	35
Tab. 14: Richtwerte für die Mykotoxine (DON, ZEA, OTA und Fumonisin B1 + B2) auf Empfehlung der EU-Kommission in Futtermitteln (Amtsblatt der Europäischen Union, 22917 vom 23.08.2006).....	37
Tab. 15: Witterungsvoraussetzungen für die Ähreninfektion des Weizens mit <i>F.</i> <i>graminearum</i>	41
Tab. 16: Einstufung der Fusarium-Anfälligkeit von Winterweizensorten 2007	44
Tab. 17: Strategien gegen Ährenfusarien im Weizenanbau	45
Tab. 18: Rohproteinerhöhung (% Punkte) und Ammoniakgehalte bei unterschiedlicher Harnstoffdosierung zu Gerste, Weizen und Mais.....	48
Tab. 19: Einfluss der Aufbereitung durch Windsichtung auf den DON-Gehalt	51

1 Einführung und Problemsicht

Zur Sicherung hoher Leistungen mit der gewünschten Produktqualität und einer guten Tiergesundheit ist die Gewährleistung optimaler Bedingungen in der Haltung, der Fütterung und der Krankheitsvorsorge ein unabdingbares Erfordernis. Zwischen den verschiedenen Störfaktoren bestehen Interaktionen. Dadurch potenzieren sich die möglichen Schäden, und die Ursachenerkennung wird erschwert. Ein bedeutsamer Einflussfaktor auf Gesundheit und Leistung ist die **Futtermittelhygiene**. Besondere Bedeutung dabei haben Schimmelpilze. Ein Teil von ihnen bildet Mykotoxine. Die Schimmelpilze können sowohl die wachsende und reifende Pflanze auf dem Feld befallen oder sich bei ungenügender Konservierung im Lagergut vermehren. Das kann zu Schäden an den Pflanzen oder zum Verderb von Getreide, Stroh, Heu oder Silagen führen.

Ein **hohes Gefährdungspotenzial** besitzen die von den Schimmelpilzen gebildeten Mykotoxine. Sie können schon in sehr geringen Konzentrationen Wachstums- und Fruchtbarkeitsstörungen bei den Tieren verursachen. Außerdem begünstigen sie wegen ihrer immunsuppressiven Wirkung das Auftreten und den Schweregrad von Infektionskrankheiten. Das Erkennen der Schadwirkungen durch Mykotoxine ist schwierig, da selten typische Erkrankungsbilder ausgelöst werden und chronische Leistungs- und Gesundheitsdepressionen dominieren. Häufig sind die suspekten Futtermittel nicht mehr verfügbar, so dass retrospektive Untersuchungen zum mykologischen und mykotoxikologischen Status im Verdachtsfall nicht mehr möglich sind.

Mit der Beratungsunterlage sollen Hinweise zur Interpretation von Analyseergebnissen im landwirtschaftlichen Betrieb und zur Entscheidungsfindung bei beginnendem Futtermittelverderb gegeben werden. Dazu sind die aktuellen Bewertungsmaßstäbe dargestellt, um vorbeugende Maßnahmen zur Vermeidung von Mykotoxinen in Futtermitteln (Futtergetreide, Grünfutter, Silage, Heu und Stroh) und zur Minderung ihrer Schadwirkung durchzuführen.

Die Beratungsunterlage erhebt nicht den Anspruch der Vollständigkeit möchte aber doch das wesentliche beinhaltet wissen. Sie wird regelmäßig überarbeitet, sodass der Nutzer sicher sein kann, den gegenwärtigen Stand des Wissens zusammengefasst und mit den anderen Ländern abgestimmt, vorliegen zu haben. Der Schwerpunkt soll auf den vorbeugenden Maßnahmen liegen, die auch die Umsetzung in die Praxis ermöglichen.

Die bisherige Zusammenarbeit der Landesanstalten für Landwirtschaft der Länder Bayern, Baden-Württemberg, Sachsen und Thüringen wurde nun erweitert um weitere Landesanstalten bzw. Landwirtschaftskammern. In einem ersten Schritt wurde die Überarbeitung einzelnen Autoren bzw. Autorengruppen zugeordnet.

Die Verantwortung für den Inhalt übernehmen die jeweiligen Autoren der überarbeiteten Kapitel und tragen auch für die notwendige Abstimmung mit den anderen Ländern Sorge.

2 Die Mykoflora von Futtermitteln

Alle Futtermittel sind in unterschiedlicher Weise mit Bakterien, Hefen, Schimmel- oder Schwärzepilzen besiedelt. Auf pflanzlichen Materialien sind zum Zeitpunkt der Ernte unvermeidbar bestimmte Keimgruppen (Sammelbegriff: **Feldflora** oder Primärflora) zu finden. Durch Kontamination bei Verarbeitung und Lagerung kann eine **Sekundärflora** hinzukommen, die für den Ort der Verarbeitung oder Lagerung typisch ist. Beide Gruppen werden zusammen als **produkttypische Mikroflora** bezeichnet.

Im Laufe der Lagerung kommt es zur Veränderung der Mikroflora. Die Zahl der ursprünglichen Keime nimmt ab. Es vermehren sich solche, die an die Bedingungen der Lagerhaltung angepasst sind. Sie werden in ihrer Gesamtheit als **Lagerflora** oder **verderbanzeigende Keimflora** bezeichnet. In den zusammengestellten Unterlagen hier soll ausschließlich auf diese Pilze eingegangen werden.

Pilze (Mycota) und ihre Sporen sind überall (ubiquitär) verbreitet. Deshalb ist ein gewisser Besatz unvermeidbar. Die allgemein bekannten und genutzten Begriffe "Schimmel", "Schimmelpilz" oder "verschimmelt" gehen auf Pilze zurück, die durch ihre anfangs weißen, fädigen, flockigen wattig - wolligen oder staubähnlichen Überzüge oder Beläge auf organischem Material auffallen. Diese können bei fortschreitendem Verderb stärker grünlich, bräunlich, schwärzlich oder auch rötlich gefärbt sein. Häufig ist damit ein typischer muffiger Schimmelpilzgeruch verbunden.

Ein Pilzgeflecht (Myzel) wird auch von Schwärzepilzen gebildet, deren Name auf ihre schwärzlichen oder grün-schwärzlichen Kolonien zurückzuführen ist. Kolonien von Fusarien fallen durch rötliche Farbtöne auf. Diese beiden Gattungen sind vermehrt auf Getreide (auch auf Mais) zu finden, das vor der Ernte durch feuchte Witterungsbedingungen geschädigt wurde.

In das Reich der Pilze gehören auch die Hefen, die jedoch keine oder nur Pseudomyzelien bilden.

Hefen, Schimmel- und Schwärzepilze sind mikroskopisch kleine Mikroorganismen mit echten Zellkernen und einer Kernmembran, die auf organische Kohlenstoff-Quellen angewiesen sind. Solche können ihnen durch Futtermittel reichlich zur Verfügung gestellt werden.

Die in erntefrischen pflanzlichen Futtermitteln nachgewiesenen **Feldpilze** gehören zu den Gattungen *Alternaria*, *Cladosporium*, *Drechslera*, *Fusarium*, *Stemphylium*, *Ulocladium*, *Aureobasidium*, *Epicoccum*, *Acremonium*, *Verticillium*, *Stachybotrys*, *Botrytis*, *Trichothecium*. Sie haben teilweise eine phytopathologische Bedeutung (bei Pflanzenkrankheiten) oder leben als Saprophyten (Fäulnisbewohner) auf den Pflanzen. Ein Teil von ihnen ist als Bildner von Mykotoxinen bekannt, besonders *Alternaria* und *Fusarium*. Von *Cladosporium* ist nur bekannt, dass das Myzel toxisch ist, ohne die Toxine zu kennen.

Typische in Futtermitteln nachzuweisende Gattungen der **Lagerpilze** sind *Aspergillus*, *Penicillium*, *Scopulariopsis*, *Trichoderma*, *Paecilomyces*, *Wallemia*, *Mucor*, *Absidia*, *Rhizopus*, *Monascus* und Hefen. Einige Spezies der Gattungen *Aspergillus* und *Penicillium* sind ebenfalls zur Synthese von Mykotoxinen in der Lage.

Oft übersehen und vor allem in ihrer Bedeutung vielfach unterschätzt werden die **Hefen**. Sie sind in der Umwelt weit verbreitet. Dem Ursprung nach können sie zur Feld-

flora gezählt werden, weil sie Futterpflanzen bereits im Feld besiedeln können und von dort in die Lagerstätten eingebracht werden. Sie sind in einem Futtermittel aber im Sinne einer Lagerflora (Verderbnisflora) zu werten, da sie meist erst hier ihre Wirkung entfalten. Wegen ihres großen Enzymbestockes besitzen sie intensive fermentative Fähigkeiten und sind oft entscheidend am Stoffabbau, vor allem in Silagen, beteiligt.

Um die Interpretation unterschiedlicher Keimdifferenzierung zu erleichtern, ist die Einteilung der *Pilze nach Reiß* dargestellt (Abb. 1).

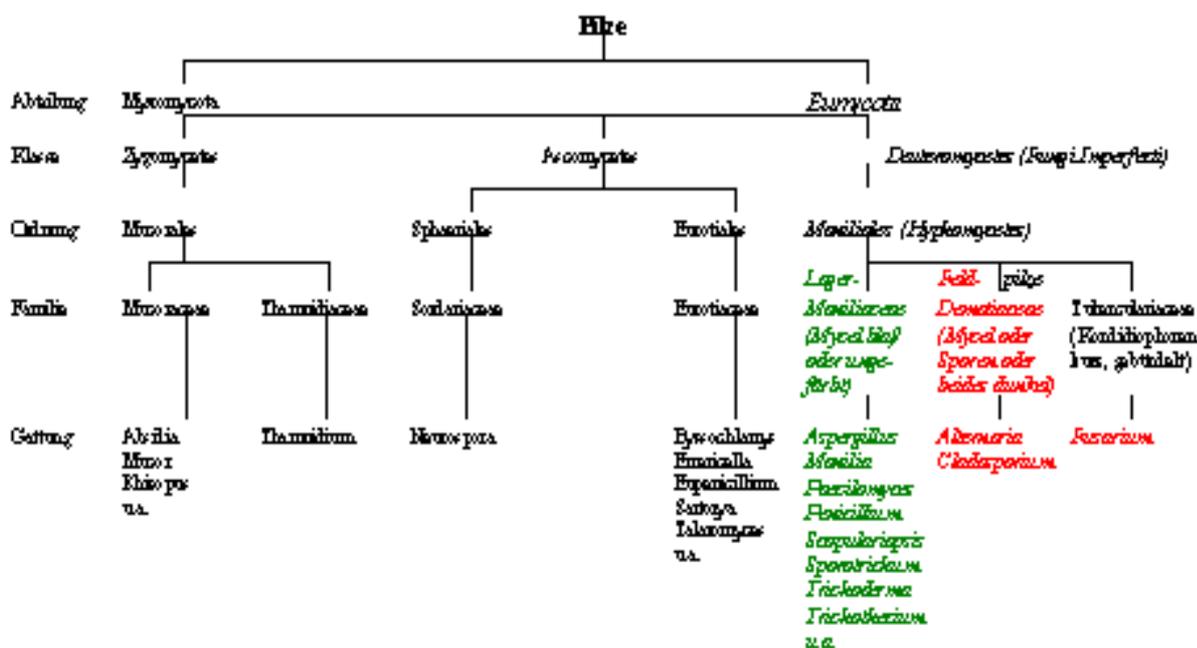


Abb. 1: Einteilung der Pilze nach Reiß (geändert 1986)

2.1 Beurteilung der Mykoflora von Futtergetreide

Im Arbeitskreis „Futtermittelmikrobiologie“ der Fachgruppe Futtermittel des VDLUFA wurde ein **Orientierungswertschema** erarbeitet, welches auch für Getreide anwendbar ist. Diese Orientierungswerte sollen Hinweise geben wie es um die mikrobiologische Qualität eines Futtermittels bestellt ist.

Tab. 1: Qualitätsbewertung von Futtermitteln nach Keimzahlstufen (KZS)

KZS I - bei allen Keimgruppen	QS I	normal
KZS II - bei mindestens einer Keimgruppe	QS II	geringgradig <i>oder</i> mäßig herabgesetzt
KZS III - bei mindestens einer Keimgruppe	QS III	herabgesetzt <i>oder</i> deutlich herabgesetzt
KZS IV - bei mindestens einer Keimgruppe	QS IV	verdorben

Aus der Anwesenheit von Schimmelpilzen der Gattungen *Aspergillus*, *Penicillium*, *Scopulariopsis*, *Wallemia*, u. a. sowie den *Mucorales* und *Hefen* lassen sich Hinweise zu Mängeln bei der Lagerung ableiten. Zur Beschreibung der Qualität wurden 4 Quali-

tätsstufen (QS I bis IV) festgelegt. Sie ergeben sich zwangsläufig aus den jeweils ermittelten Keimzahlstufen (Tab. 1).

Ein Auszug aus dem Bewertungsschema ist Tab. 2 zu entnehmen. Die Maßeinheit wird bei Bakterien und Pilzen immer in „Kolonien bildenden Einheiten“ (KbE) angegeben.

Tab. 2: Orientierungswerte für Keimgehalt (nur Pilze in KbE*/g) bei QS I im Getreide

Feldpilze (Schwärzepilze, Fusarien u. a.)		
Mais	≤ 40.000	
Weizen, Roggen	≤ 50.000	
Gerste	≤ 60.000	
Hafer	≤ 70.000	
Lagerpilze für Mais, Weizen, Roggen, Gerste, Hafer		
Penicillien, Aspergillen u.a.	Mucor	Hefen
≤ 30.000	≤ 2.000	≤ 50.000

* Kolonie bildende Einheiten (KbE)

Die Differenzierung der Keimzahlstufen basiert auf der Einteilung des ermittelten Keimgehaltes (Tab. 3).

Tab. 3: Einteilung der ermittelten Keimgehalte der einzelnen Gruppen in Keimzahlstufen

Keimgehalt einer Keimgruppe überschreitet den Orientierungswert	Keimzahl-Stufe	Bewertung des Keimgehaltes
- nicht	KZS I	normal
- bis zum 5-fachen	KZS II	leicht erhöht <i>oder</i> erhöht
- bis zum 10-fachen	KZS III	deutlich erhöht
- um mehr als das 10-fache	KZS IV	überhöht <i>oder</i> stark überhöht

Immer die höchste ermittelte KZS ist ausschlaggebend für die Einstufung in eine bestimmte QS, unabhängig davon ob die KZS nur bei einer oder mehreren Keimgruppen festgestellt wurde. Die endgültige Qualitätsbeurteilung erfolgt immer unter Berücksichtigung sowohl der vorhandenen Pilz- als auch der Bakterienflora.

Mykotoxinbildner sind unter den produkttypischen Pilzen, z.B. den Fusarien, wie unter den verderbanzeigenden zu finden. Zur Abschätzung der Minderung der Futtertauglichkeit durch giftige Stoffwechselprodukte kann daher eine Mykotoxinbestimmung notwendig sein. Die Ergebnisse von Keimzählung und Keimdifferenzierung können für die Entscheidung, ob und auf welche Mykotoxine untersucht werden sollte, von Bedeutung sein.

2.2 Beurteilung der Mykoflora von Grünfutter, Silage, Heu und Stroh

Die epiphytische (natürlicherweise aufsitzende) Mikroflora auf Futterpflanzen schwankt im Allgemeinen zwischen 0,1 Millionen und 100 Millionen KbE/g für Bakterien, die der Schwärzepilze zwischen 10.000 und 1 Million KbE/g. Das Vorkommen noch höherer Keimzahlen ist nicht ausgeschlossen. Bei Hefen ist mit Größenordnungen von 10.000 bis 500.000 KbE/g zu rechnen. Der epiphytische Besatz an Milchsäurebakterien beträgt in Abhängigkeit von der Witterung und dem Erntezeitpunkt bei Gras ca. 50 000 KbE/g und bei Mais ca. 200 000 KbE/g. Bei den Pilzen sind die Fusarien von besonderer Bedeutung, weil sie nicht nur im Getreide und Stroh sondern auch auf Gras Mykotoxine bilden können.

Tab. 4: Leitkeime und vorläufige Orientierungswerte für Grobfuttermittel

KG	Keimgruppen	Typische Vertreter (Toxinbildner)	(V)OW Mais- silage	(V)OW Gras- silage	(V)OW Heu	(V)OW Stroh
1	Produkttypische Bakterien	Gelbkeime Enterobakterien u.a.	5×10^5	2×10^5	30×10^6	100×10^6
2	Verderbanzeigende Bakterien	Bazillen, Mikrokokken, Staphylokokken	3×10^5	3×10^5	2×10^6	2×10^6
3	Streptomyzeten	-	3×10^4	3×10^4	$1,5 \times 10^5$	$1,5 \times 10^5$
4	Produkttypische Schimmel-Schwärzepilze	Alternaria , Acremonium, Verticillium, Fusarien	5×10^3	1×10^4	2×10^5	2×10^5
5	Verderbanzeigende Schimmel-Schwärzepilze	Aspergillen , Penicillien , Scopulariopsis, Walemia	1×10^4	1×10^4	1×10^5	1×10^5
6	Mucorales	-	3×10^3	5×10^3	5×10^3	5×10^3
7	Verderbanzeigende Hefen	-	1×10^6	5×10^5	$1,5 \times 10^5$	4×10^5

EFMO 2007, Grub

Auch für Heu und Stroh wurden mittlerweile Orientierungswerte mit Qualitätsstufen erarbeitet, die aus Tab. 4 zu entnehmen sind, aber derzeit noch als vorläufig zu handhaben sind.

Aus den Orientierungswerten der Leitkeime (Tab. 4) für die einzelnen Keimgruppen werden die Keimzahlstufen (Tab. 3) und daraus die Qualitätsstufen (Tab. 1) ermittelt. Es ist deshalb aus einem Keim oder einer Keimgruppe nicht auf die Qualität des gesamten Futtermittels zu schließen.

Beispiel

In einer Heuprobe werden 200.000 KbE/g Probe verderbanzeigende Schimmelpilze (z.B. *Penicillium verrucosum*) gefunden. 100.000 KbE/g werden als normal angesehen (= OW). Der OW wird um das Zweifache überschritten. Das Ergebnis führt in die KZS II, als höchstes Ergebnis ist dies QII also mäßig herabgesetzt.

Die Anwendung des Orientierungswertschemas zur Qualitätsbeurteilung und zur Unterscheidung des mikrobiologischen Status von Mischfuttermitteln und Getreide (Handelsfuttermittel) im Hinblick auf die Unverdorbenheit bzw. auf das Verdorben sein von Futtermitteln, auf die Grobfuttermittel als auch auf feuchte bzw. flüssige Futtermittel, ist grundsätzlich möglich. Die Anwendung erfordert jedoch für jede Gruppe dieser Futtermittel eigene Orientierungswerte (OW). Diese Orientierungswerte führen um so besser in die entsprechende Qualitätsstufe, je eher das verwendete Probenkollektiv, das heißt die gezogenen Proben, für die entsprechende Futtermittelgruppe repräsentativ sind. Für Grobfutter, wie Heu, Stroh, Silage und Flüssigfutter sind diese OW noch vorläufig.

Besondere Anforderungen an die Heuqualität ergeben sich in der **Pferdefütterung**. Ein früher Schnitt ist mit einem höheren Gehalt an Rohprotein verbunden als ein späterer Schnitt. Weil es Hinweise gibt, dass das Auftreten von Hufrehe bei Pferden durch zu hohe Kohlenhydratzufuhr begünstigt wird, wird Heu für Pferde später geerntet als für Rinder. Dies führt automatisch zu einem höheren Keimgehalt. Darüber hinaus können schlechte Bedingungen bei der Heuernte (feuchtes Wetter mit verlängerter Trocknungszeit), zu feucht eingebrachtes Heu oder schlechte Lagerbedingungen (schlechte Belüftung, Bildung von Schwitzwasser) zu einer Verpilzung im Lager beitragen. Dann treten leicht Keimgehalte von über 1 Million KbE/g auf.

In der Pferdefütterung steht im Gegensatz zur Rinderhaltung, speziell des Milchviehs, nicht die Zufuhr von möglichst viel Energie aus dem Grobfutter im Vordergrund, sondern von Heu, das nicht zu stark mit Pilzen belastet ist. Erhöhter Keimbesatz mit Pilzen bedeutet auch verstärkte Staubbildung. Das Pferd als "Atmungstier" antwortet sehr leicht auf verpilztes = versportetes Heu mit Atembeschwerden und Bronchitis. Wenn die Verfütterung länger anhält, kommt es sogar zu chronischen Bronchitiden, die bei 30 % aller Tiere nicht mehr heilbar sind. Auch Koliken werden nach Verfütterung von verpilztem Heu berichtet. Vielfach ist zusätzlich das Stroh der Einstreu verpilzt, so dass die Tiere doppelt gefährdet sind.

Die genannten Krankheitsbilder treten umso eher auf, je schlechter die Haltungsbedingungen sind: zu wenig Auslauf an der frischen Luft, zu plötzliche Anstrengung nach längeren Ruhephasen, weitere Fütterungsfehler wie zu plötzlicher Futterwechsel oder überhöhte Kraftfuttermengen.

Weil auch für das Pferd Grobfutter (Weide, Grünfutterkonserven) die Basis einer bedarfsgerechten Fütterung ist, muss die Qualität, wie in der Rinderfütterung optimal sein. Eine gute Möglichkeit bietet auch die Bereitung von Ballensilage. Neue Untersuchungen zeigen dass gute Qualitäten auch bei hohen TM-Gehalten und auch bei Kleinballen möglich sind. So dass die großen Ballen für Betriebe mit mehr und die kleinen Ballen für Betriebe mit weniger Pferden zu empfehlen sind, da der Staubgehalt in jedem Fall gemindert wird.

3 Die wichtigsten Schimmelpilze und ihre Toxine

Schimmelpilze bedeuten nicht nur Nährstoffverluste, sondern unter den bestimmten Bedingungen auch die Bildung von Mykotoxinen.

3.1 Feldpilze und deren Mykotoxine

Neben Schwärzepilzen, wie *Alternaria*, die Toxine mit geringerer Toxizität bilden, führt das in einzelnen Jahren verbreitete Vorkommen von Fusarien in Getreide zu regional und saisonal stark schwankenden Belastungen mit Fusarientoxinen. Die Kontamination mit diesen Toxinen kann sehr unterschiedlich verlaufen. Neben *F. graminearum* und *F. poae* als Toxinbildner kommt gelegentlich auch *F. culmorum* vor.

3.1.1 Fusarien

Von den Feldpilzen haben die Spezies der Gattung *Fusarium* herausragende Bedeutung. Die Gattung *Fusarium* umfasst mehr als 100 Arten, von denen eine große Anzahl weltweite Verbreitung aufweisen. Fusarien sind im Allgemeinen wenig spezialisiert. Die Fusarien befallen über unterschiedliche Infektionswege die lebenden Pflanzen im Feld und stellen somit typische Vertreter der sogenannten Feldpilzflora dar. Ihre Entwicklung im Lager ist im Allgemeinen nicht üblich, aber bei hoher Feuchte möglich. Sie können sowohl Schäden an den Pflanzen sowie durch die Bildung von Mykotoxinen Gesundheits- und Leistungsdepressionen bei den Tieren verursachen. Tab. 5 gibt einen Überblick über die von einzelnen Fusarienarten gebildeten Toxine. Fusarienschäden an Pflanzen äußern sich in den meisten Fällen in Form von Welken oder Fäulnis, gefolgt von Nekrosen. Infolge der Infektionen kommt es zu unmittelbaren Ertragsreduktionen und zu Qualitätsverschlechterungen.

3.1.1.1 Vorkommen von Fusarien in Futtermitteln

Die am längsten bekannteste Fusariose an **Getreide** ist der sogenannte **Schneeschnitzel**, der lange Zeit den Namen *Fusarium nivale* führte, heute aber nicht mehr der Gattung *Fusarium* zugeordnet und als *Microdochium nivale* bezeichnet wird. Das auffälligste Schadbild zeigt sich im Frühjahr nach der Schneeschmelze, wenn ganze Nester von jungen Pflanzen als graue Masse an den Boden gedrückt, abgestorben und von einem weißen bis rötlichen Mycel überzogen sind.

In der Gruppe der Fuß- und Halmbasiserkrankungen spielen *Fusarium*arten eine bedeutende Rolle. Für Wurzelvermorschungen und Halmbasisverbräunungen sind die Spezies *F. culmorum*, *F. graminearum* und *F. poae* bekannt. Aber auch die Arten *F. avenaceum* und *F. crockwellense* sind auf Getreidepflanzen nachzuweisen.

Von Bedeutung für die Futterqualität ist der Befall des Erntegutes mit toxinbildenden *Fusarium*arten. Hier sind die beiden Arten *F. graminearum* und *F. culmorum* als Haupterreger anzuführen. Der Infektionsweg über die Blüte mit Einzelährcheninfektion und basipetaler Ausbreitung wurde nachgezeichnet. Für die Infektion während der Blüte sind mindestens 24 Stunden Feuchtigkeit vonnöten. Der entsprechende Temperaturbereich lässt sich sehr weit fassen, und es ist insbesondere auch den Bedingungen bis zur Reife Aufmerksamkeit zu schenken, da sich in diesem Zeitraum der Befall noch erheblich verstärkt, d. h. die Ausbreitung des Erregers in der Ähre beschleunigt werden kann.

Die wichtigsten Schimmelpilze und ihre Toxine

Die Ährenbonitur auf Taubährigkeit weist nur geringe Korrelationen zur tatsächlichen Pilzbelastung des Erntegutes auf. Um Hinweise für Fusariumbefall zu erhalten, sind den befallsbeeinflussenden Faktoren, wie Bodenbearbeitung, Vorfrucht, Sorten, Witterung ab dem Zeitpunkt der Blüte und Fungizideinsätze Beachtung zu schenken. Eine Untersuchung des Körnerfutters sofort nach der Ernte ist empfehlenswert, denn bei späteren Untersuchungen ist ein mikrobiologischer Nachweis der Fusariumbelastung mit Unsicherheiten behaftet.

Tab. 5: Fusarienarten und ihre Toxine in Getreide

<i>Weizen, Triticale, Hafer</i>	<i>Mais</i>	<i>gebildete Toxine</i>
<i>dominierende Arten</i>		
<i>F. graminearum</i>	<i>F. graminearum</i>	<i>Deoxynivalenol = DON</i> <i>15-Acetyl-DON oder 3-Acetyl-DON</i> <i>Zearalenon = ZON=ZEA (Lagerung)</i>
	<i>F. subglutinans</i>	<i>Moniliformin, Beauvericin</i>
	<i>F. verticillioides</i> = <i>F. moniliforme</i>	<i>Fumonisine</i>
<i>Zusätzlich auftretende Fusarienarten</i>		<i>gebildete Toxine</i>
<i>F. avenaceum</i>	<i>F. avenaceum</i>	<i>Moniliformin, (Enniatine)</i>
<i>F. poae</i>	<i>F. poae</i>	<i>Nivalenol = NIV</i>
<i>F. tricinctum</i>		<i>(Chlamydosporol), (Fungerin)</i>
<i>F. culmorum</i>	<i>F. culmorum</i>	<i>DON, 3-Acetyl-DON, oder NIV, ZON=ZEA</i>
<i>F. crookwellense = F. cerealis</i>		<i>NIV, ZON=ZEA</i>
<i>Atypische F. poae (neue Art?)</i>		<i>Typ A-Trichothecene</i>
<i>F. sporotrichioides</i>		<i>T-2 Toxin</i>
<i>F. langsethiae = atypischer F. poae</i>		<i>T-2 Toxin</i>

Die verschiedenen Getreidearten sind in der Reihenfolge Weizen Triticale - Roggen - Gerste abnehmend empfindlich gegenüber Fusarienbefall und Toxinbildung.

Ähnlich wie bei Getreide werden auch Keimlings- und Auflaufschäden von Fusariumarten beim **Silomais** verursacht. *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. verticillioides* und *F. oxysporum* können Schäden hervorrufen, die von geringen Bestandeslücken bis zu

Totalausfall reichen. Die Saatgutbeizung hat allerdings diese samenbürtigen Pilze stark zurückgedrängt.

Halmbasisfäulen an jungen Maispflanzen, solange der Grund der jungen Maispflanze noch von den Blattscheiden umgeben und noch nicht verholzt ist, werden von den gleichen Erregern verursacht. In die Reihe der Schädiger gesellt sich hier noch *Fusarium poae*. Im weiteren Entwicklungsverlauf der Maispflanze sind Fusarien für die sogenannten Nodienfäulen verantwortlich. Diese pathogenen Pilze sind bodenbürtig und gelangen entweder durch Epidermisrisse oder die untersten Nodien in die Stängelbasis. Die Pilze zerstören das parenchymatische Gewebe, und es kommt zu einer Weichfäule. Symptomatisch fallen eingezogene Stellen im Bereich der Nodien auf, die von einem weißen bis rötlichen Mycel überzogen sein können. Als Folge der Nodienfäulen kann es insbesondere unter Windeinwirkung zum Halmbruch kommen. Wurzel- und Stängelfäulen im späteren Entwicklungsstadium der Maispflanzen werden ebenfalls vornehmlich durch Fusariumarten verursacht. Die Symptome für diese Fusariumerkrankungen äußern sich in vorzeitigem Welken und sich anschließendem Vertrocknen der Blätter und Stängel. Erkrankte Pflanzen weisen keinen festen Stand mehr auf, die Kolben können ebenfalls von den Welkeerscheinungen betroffen werden und nach unten hängen. Die Wurzeln erscheinen zum großen Teil verrottet und weisen eine braunrote Färbung auf.

Neben den Stängelfäulen stellen die Kolbenfäulen die wichtigste Fusariumbelastung an Mais dar. Das Ausmaß der Kolben- und Körnerfäulen ist örtlich sehr unterschiedlich. Unter feuchten Bedingungen können bis 80 % der Kolben erkranken. Der Infektionsweg geht im allgemeinen über die Kolbenspitze. Die Konidien werden durch Wind und Regen auf die Lieschblattspitzen und die heraushängenden Narben getragen. Der Pilz wächst in der Spindel basipetal und außerdem zwischen dem innersten Lieschblatt und dem Kolben tief in den Fruchtstand hinein. Die verschiedenen Fusariumarten lassen sich durch mehr oder weniger unterschiedliche Symptome auseinanderhalten. Kontrollen im Bestand geben durch Stängelbruch, Nodienverbräunungen und auch Myzelbildungen an den Kolben gute Hinweise auf Fusariumbefall der Maisernte. Eine Quantifizierung ist nur durch mikrobiologische und toxikologische Analysen möglich.

Im Sommer 2002 wurde bei **Körnermais** in Bayern erstmals vermehrt über einen hohen Befall mit Fusarien an den Kolben und Körnern berichtet (Abb. 2). Seit diesem Zeitpunkt an der LfL durchgeführte Untersuchungen ergaben, dass auch bei Körnermais verstärkt *Fusarium graminearum* auftritt, der selbe Erreger, der auch bei Weizen und anderen Getreidearten verbreitet ist. Auch bei Körnermais geht der Befall mit der Produktion von Mykotoxinen einher. Bei stärkerem Befall mit *Fusarium graminearum* muss vor allem mit einer Anreicherung von Deoxynivalenol (DON) gerechnet werden. Aus diesem Grunde wird seit 2002 im Landessortenversuch Körnermais bei allen geprüften Sorten in den Körnern der Gehalt an DON als einem der wichtigsten Fusarium-Toxine bestimmt.

Die Ergebnisse der vergangenen Jahre zeigen einen deutlichen Jahres- und Standorteinfluss. Die Abb. 3 zeigt die Mittelwerte der untersuchten Sorten in den Jahren 2002 - 2005. So blieb z.B. 2003 durch das warme und trockene Wetter das Wachstum von Fusarium sehr begrenzt und es konnten allgemein nur eine Kontamination im niedrigen Bereich festgestellt werden. Der einzige Versuchsort, der einen optisch feststellbaren Befall aufwies, war in dem Jahr Mittich (Lks. Passau). Dort erreichten einige Sorten durchaus bedenkliche Werte. Mehr als die Hälfte der Sorten war stark betroffen mit Gehalten deutlich über 1 mg DON/kg Körnermais.



Abb. 2: Fusariumbefall bei Körnermais

Im Jahr 2002 und auch wieder 2005 traten allgemein recht hohe Werte auf. Einige Sorten lagen ganz deutlich über den anzustrebenden Grenz- bzw. Richtwerten. Besonders stark belastete Sorten erreichten Werte über 6 mg/kg. Die Ergebnisse bestätigten, dass der Befall in hohem Maße sortenspezifisch ist.

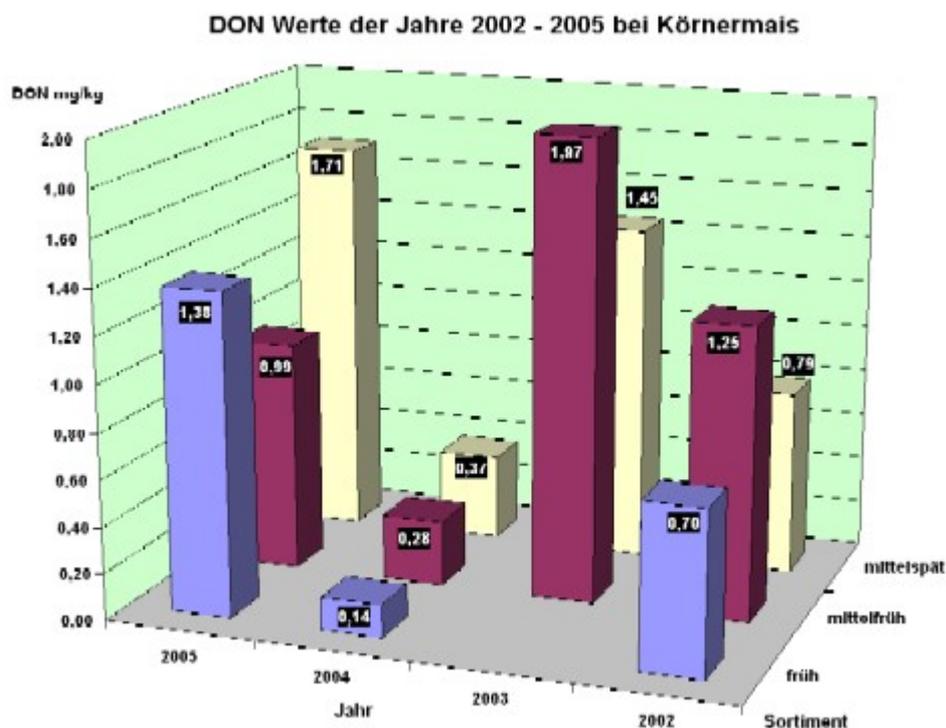


Abb. 3: DON-Gehalte in den Körnermaisversuchen verschiedener Reifegruppen 2002 - 2005 (Mittelwerte)

Die Abb. 4 zeigt die an den einzelnen Versuchsorten in den Jahren 2002 bis 2005 festgestellten Werte als Mittel über alle Sorten. Zusätzlich zu den Jahreseinflüssen wird hier deutlich, dass es auch ganz entscheidende **Ortseffekte** gibt. Je nach den örtlichen

Fruchtfolge-, Temperatur- und Niederschlagsverhältnissen können Befall und Mykotoxinbildung äußerst unterschiedlich sein.

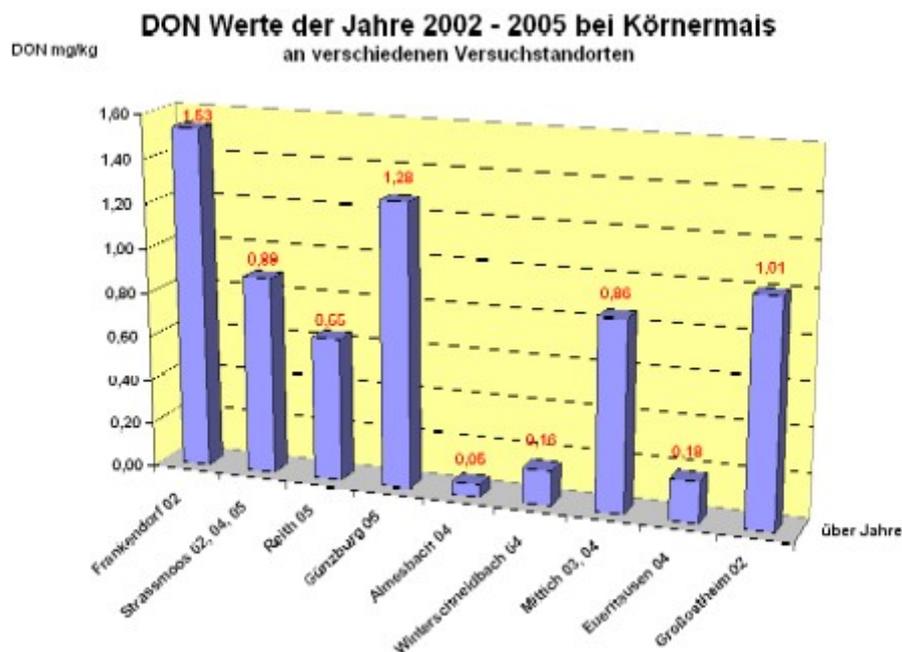


Abb. 4: DON Gehalte in den Jahren 2002 - 2005 an den verschiedenen Versuchstandorten (Mittelwerte)

Fusariumarten spielen auch **Futtergräsern** als Erreger von Fußkrankungen und als Verursacher von Weißährigkeit eine Rolle. Die Kenntnisse über beteiligte Fusariumspezies und evtl. Mykotoxinbildung in den Futterpflanzen ist außerordentlich unzureichend. Fleckenweises Vergilben bzw. Absterberscheinungen im Bestand sollten Anlass zur Ursachenforschung in Form von mikrobiologischen Untersuchungen geben.

Fusariumarten sind bei **Luzerne** als Erreger von Wurzel- und Kronenfäule bekannt. Vorrangig ist *F. oxysporum* für derartige Schadbilder verantwortlich. Es sind aber auch Vergesellschaftungen mit anderen pilzlichen Pathogenen bekannt. Im Bestand sollten Welkeerscheinungen und Vergilbungen Veranlassung sein, mikrobiologische Analysen einzuleiten.

Auftretende Fuß- und Welkeerkrankungen bei **Futtererbsen** sind zu einem hohen Prozentsatz auf Fusariumerreger zurückzuführen. Als Haupterreger gilt *F. solani f. pisi*. Als Gefäßparasit, der stärker Welken induziert, nimmt *F. oxysporum f. pisi* den ersten Platz ein. Es kommt aber sehr oft zu Mischinfektionen beider Pilze, die weiterhin noch mit anderen Fusariumarten vergesellschaftet auftreten. Die Artenverteilung und Rolle als Krankheitserreger kann örtlich sehr unterschiedlich sein. Diese Fuß- und Welkekrankheiten können unter Bedingungen eines stärkeren Erbsenanbaus schwerwiegende Dezimierungsfaktoren darstellen. Das Erscheinungsbild weist sich mit kümmerwuchspflanzen im Bestand aus. Von den älteren Blättern ausgehend kommt es zum Vergilben der Pflanze. Die Wurzeln und der Stängelgrund zeigen Vermorschungserscheinungen. Eine andere Form der Fusariuminfektionen ist das Welken einzelner Pflanzen, die meist in Tümpeln zusammenstehen. Wurzeln und Stängel weisen äußerlich noch keine Schädigung auf. Im Inneren ist allerdings schon eine Verbräunung der

Gefäße zu erkennen. Diese Erbsenwelke erscheint temperaturabhängig verhältnismäßig spät und zeigt sich in unseren Breiten erst etwa ab Mitte/Ende Juni. Aufmerksame Kontrollen ab diesem Zeitpunkt auf vorgenannte Symptome sollten bei Feststellung derselben zu einer mikrobiologischen Untersuchung Veranlassung geben.

Bei **Ackerbohnen** sind Fusariumarten sowohl als Fußkrankheitserreger als auch als Welkeverursacher nachgewiesen. Ebenso wie bei Erbsen ist das Artenspektrum regional sehr unterschiedlich in der Dominanz. Schnell fortschreitende Vergilbungserscheinungen der Bestände sind auf alle Fälle ein Anzeichen für mögliche Fusariuminfektionen und durch Laboruntersuchungen abzuklären.

3.1.1.2 Bedeutung und Auswirkungen der Fusarientoxine

Deoxynivalenol (DON, Vomitoxin) gehört zu den Trichothecenen und damit zu einer Gruppe von mehr als 60 natürlich vorkommenden Pilzgiften. Ergebnisse zum Vorkommen dieser Mykotoxine liegen in größerem Umfang nur für Deoxynivalenol (DON) vor, wobei für die Praxis letztlich nur die Toxine Bedeutung haben, die routinemäßig untersucht werden können. Die anderen sind beim Auftreten von Schadensfällen bedeutend. In Getreide, das hinsichtlich DON untersucht wurde, zeigt sich ohne Differenzierung nach Getreideart und Untersuchungsmethode sowie Erntejahr, dass der Anteil der Proben, unter der Nachweisgrenze, über 50 % liegt. Wird der Bereich bis zu 1 mg DON/kg Getreide mit einbezogen liegt der Anteil der Proben unter dem Schwellenwert bei drei Viertel der untersuchten Proben.

Typische klinische Anzeichen einer DON-Vergiftung sind Futterverweigerung, Erbrechen und Durchfall. Der Landwirt kann solche Krankheitsanzeichen meist nur bei hohen DON-Konzentrationen beobachten. Latente Futterverweigerung bleiben meist unerkannt und führen zu den größeren wirtschaftlichen Schäden. Bei längerer erhöhter DON-Verabreichung tritt auch bei Schweinen ein Gewöhnungseffekt ein, so dass die Futteraufnahme wieder ansteigt. Weitere Wirkungen von DON sind das Auslösen von Entzündungserscheinungen im Magen-Darm-Bereich, die Beeinträchtigung der Fruchtbarkeit sowie seine immunsuppressiven Eigenschaften, die zur erhöhten Anfälligkeit der Tiere führen können. Besonders zur Immunitätsschwächung liegen abweichende wissenschaftliche Ergebnisse vor, die Schlussfolgerungen erschweren. Bei der Bewertung von Krankheitsbildern sollte auch den unter Praxisbedingungen meist wirkenden weiteren Einflussfaktoren (andere Fusarientoxine, mikrobielle Futterqualität, Stressfaktoren) Beachtung geschenkt werden. Die zelltoxische Wirkung des DON kann bei erhöhter Belastung zu Veränderungen von Blut- und Leberparametern führen. Krankheitssymptome bei anderen Tierarten sind im Literaturüberblick (Tab. 6) dargestellt.

Zearalenon (ZEA oder ZON), auch F-2 Toxin genannt, wird von verschiedenen Fusariumarten, wie z. B. *Fusarium graminearum*, *F. culmorum*, *F. moniliforme*, gebildet (siehe Tab. 5). In früheren Untersuchungen wurden meist Proben untersucht, die in Betrieben Probleme mit Mykotoxinen vermuten ließen. Von 1991-2000 wurden so Futtergetreideproben untersucht und insgesamt 12 % positive Proben (n+) gefunden.

Tab. 6: Toxingehalte (Trichothecene) im Futter und beobachtete Krankheitserscheinungen bei verschiedenen Tierarten (*Literaturdaten*)

Tierart	Gehalte mg/kg Futter	Krankheitserscheinungen
Rinder:		
Kälber	über 10	Blutgerinnung beeinträchtigt
Milchkühe	über 10 über 5	Übergang in die Milch geringere Futterraufnahme und Milchleistung
Schafe	über 10	weniger Leukozyten Höhere Krankheitsanfälligkeit
Pferde	Schimmeliges Futter Über 20	ELEM (Equine Leucoencephalomalacie), Blindheit, Koordinationsstörungen, Leberveränderungen Futterverweigerung und Fruchtbarkeitsstörungen Fruchtbarkeitsstörungen
Fische	über 1	Futterverweigerung Nekrosen, Entzündungen
Kaninchen	über 1	Blutgerinnungsfaktoren beeinträchtigt
Geflügel		
Hühner	über 20 über 5 über 0,4	Zunahmen und Lebendgewicht reduziert Rückstände in Eiern geringere Futterraufnahme Futter weniger bevorzugt
Puten	bis 5	werden noch toleriert
Schweine	über 1	Futterverweigerung, geringere Zu- nahmen und Durchfall möglich

Die Untersuchungen zeigen, dass über 0,050 mg nur 2 % positive Proben zu finden sind und dies nicht in allen Jahren (Abb. 5). Für Europa konnte aus Literaturdaten eine

Häufigkeit positiver Proben von 13 % errechnet werden, wobei die maximalen Zearalengehalte mit 1,2 mg/kg höher als in Bayern liegen.

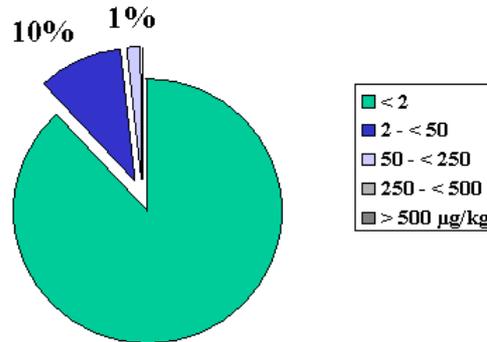


Abb. 5: Vorkommen von Zearalenon in Futtergetreide 1991 - 2000 unter Berücksichtigung der Orientierungswerte bei der Klasseneinteilung

Nicht nur bei Getreide ist das Erntegut im Hinblick auf Mykotoxinbelastung vom Feld her zu überprüfen, auch das Erntegut von Silomais und Gras kann einen Befall mit Fusarien aufweisen und damit zu einer Mykotoxinbelastung im Futter führen, wie in Abb. 6 verdeutlicht wird. Die Untersuchungen von OLDENBURG et al. (1996) zeigen einen deutlichen Gehalt von Zearalenon in der Maisrestpflanze von im Mittel 0,4 mg ZEA/kg TM auf, wobei der Kolben geringere Gehalte von 0,05 mg ZEA/kg TM aufweist. TOWERS (1997) zeigt hohe Zearalengehalte bei Weidegras auf. Am häufigsten wurden Gehalte zwischen 0,3 und 1,0 mg/kg Trockenmasse gefunden. Eine Vorbelastung am Feld ist durch eine verbesserte Sorgfalt bei Konservierung und Lagerung der Futtermittel auszugleichen.

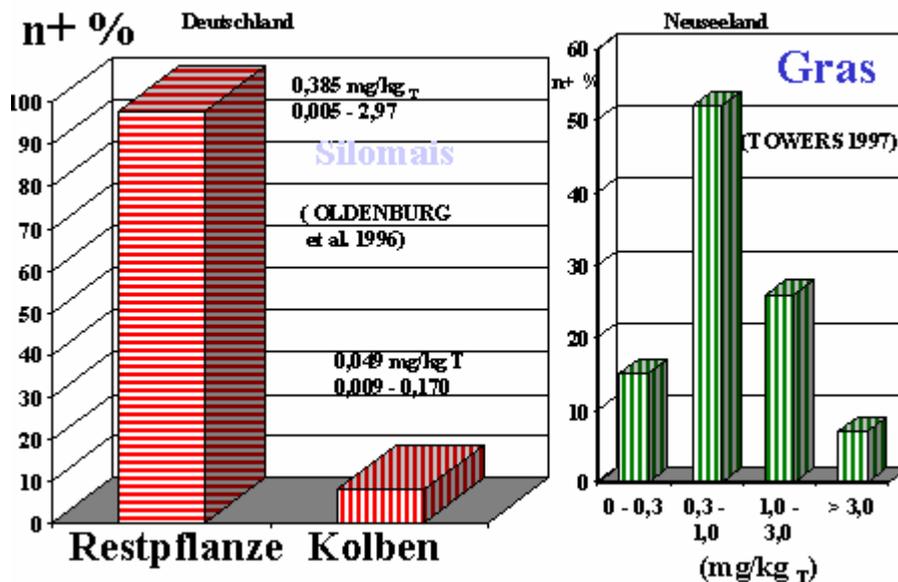


Abb. 6: Anteil der zearalenonpositiven Proben (n+ %) und Zearalengehalte (bezogen auf Trockenmasse) in Silomais und Gras

Auswirkungen des östrogen wirkenden Zearalenons wurden 1928 erstmals als Vulvo-Vaginitis beschrieben. Im Jahre 1966 erfolgte erstmals die Bestimmung einzelner Zearalenderivate, wobei neben den bekannten α - und β -Zearalenol über 10 weitere natürlich vorkommende Derivate existieren.

Als typische Merkmale der Zearalenontoxikosis treten beim weiblichen Schwein Rötung, Schwellung und Entzündung der Vulva auf, wobei auch Scheiden- und Mastdarmvorfall beobachtet werden kann. Verbunden mit äußeren Symptomen ist die Vergrößerung des Uterus mit Zystenbildung an den Eierstöcken. Futtergerste, mit der diese Symptome (Abb. 7) erzeugt werden konnten, enthielt ca. 2 mg Zearalenon und zeigte deutlichen Fusariumbefall.

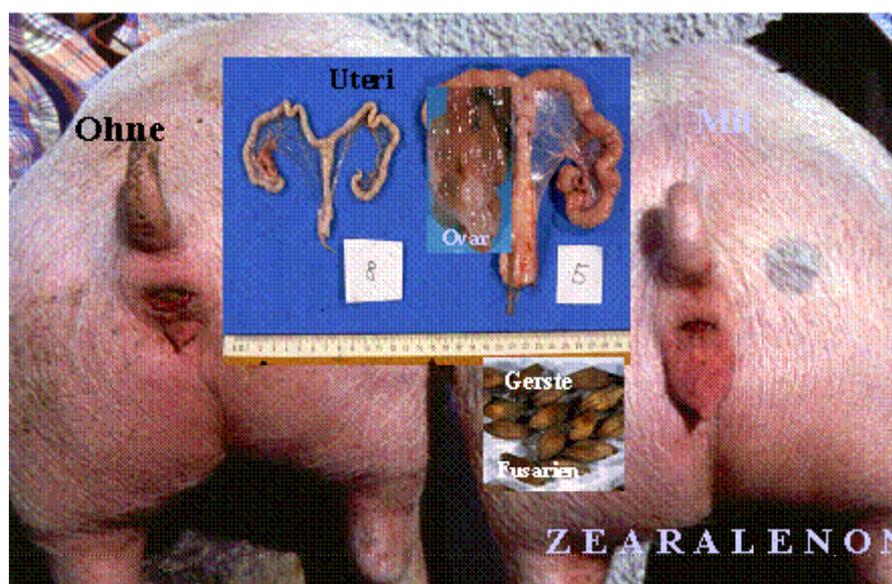


Abb. 7: Auswirkungen von Zearalenon beim weiblichen Schwein

Fruchtbarkeitsstörungen werden bei brünstig erscheinenden Sauen erwartet; einmal, weil die Entwicklung des Gelbkörpers (Corpus luteum) gehemmt und zum anderen eine Bedeckung durch den Eber nicht geduldet wird. Eber sind zwar weniger empfindlich, männliche Läufer zeigen aber bei Zearalenon-Aufnahme die Schwellung des Präputiums und der Gesäugeleiste an. Bei Ebern wird über Atrophie der Hoden, sowie geringerer Spermienkonzentration berichtet. Bei neugeborenen Ferkeln wurde auch eine starke Schwellung und Rötung der Vulva beschrieben, die auf Zearalenon in der Sauenmilch zurückgeführt wurde. Ein Nachweis dieser klinischen Veränderungen beim Saugferkel durch die Zearalenonbelastung der Muttersau konnte in Schweinezuchtbeständen nicht erbracht werden. Von graviden Sauen werden verminderte Wurfgrößen, Totgeburten, Geburt lebensschwacher Ferkel und Ferkel mit Grätschstellung beschrieben. Durch den Landwirt lassen sich diese Symptome in Sauenherden beim Einsatz von Fusarium belastetem Futter mit Zearalenon zum Teil beobachten. Krankheitssymptome bei anderen Tierarten sind dem Literaturüberblick zu entnehmen.

Aus der Tab. 7 lässt sich deutlich eine unterschiedliche Speziesempfindlichkeit ablesen, zu der auch unterschiedliche alters- und geschlechtsspezifische Empfindlichkeiten hinzukommen. Schweine sind deutlich empfindlicher als Rinder und Geflügel. Junge Tiere wie Ferkel empfindlicher als alte Tiere wie z.B. Zuchtsauen.

Tab. 7: Zearalenongehalte im Futter und beobachtet Krankheitserscheinungen bei verschiedenen Tierarten (Literaturdaten)

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

3.1.2 Schwärzepilze

3.1.2.1 Vorkommen von Schwärzepilzen in Futtermitteln

Der Begriff „Schwärzepilze“ wird auf mehrere Pilzgattungen angewendet. Man beschreibt mit diesem Ausdruck Pilze, die dunkle Myzelien (Pilzgeflechte) bilden und bei starker Vermehrung das Substrat, auf dem sie wachsen, grünlich-schwärzlich aussehen lassen. So enthalten ihre Kolonien auf Kultur Nährböden grün-schwärzliche Pigmente. Sie werden vor allem auf Gras, Heu, Stroh und Getreide gefunden.

Die Hauptvertreter sind:

Alternaria sp.

Cladosporium sp.

Drechslera (Helminthosporium) sp.

Epicoccum sp.

Alle Gattungen haben gemeinsam, dass sie für ihr Wachstum eine hohe Feuchtigkeit benötigen. Wenn Getreide wegen ungünstiger Witterung nicht geerntet werden kann und sehr lange auf dem Halm steht, lässt sich eine allmähliche Dunkelfärbung des Getreides beobachten, die von der Vermehrung der Schwärzepilze herrührt. Wenn Stroh

feucht auf dem Felde liegen bleibt, können sich Vertreter der genannten Gattungen ebenfalls vermehren. Es treten gehäuft aber noch andere Gattungen auf: *Chaetomium* sp. und *Stachybotrys* sp.

3.1.2.2 Bedeutung und Auswirkungen von Schwärzepilztoxinen

Von *Epicoccum* und *Drechslera* wurden noch keine toxische Wirkungen auf Tiere beschrieben. Mit *Cladosporium* befallenes Getreide kann sehr giftig sein, jedoch wurden noch keine Toxine identifiziert. Von *Alternaria* sind schwach toxische Metaboliten bekannt (u. a. Tenuazonsäure, Alternariol), jedoch werden toxische Wirkungen beschrieben, die sich mit den bisher isolierten Verbindungen nicht erklären lassen. Tritt *Stachybotrys atra* vermehrt auf, wird von Stachybotryotoxikose (bei Mensch und Tier) berichtet, hervorgerufen durch makrozyklische Trichothecene, verwandt mit den Fusarientoxinen aus der Trichothecen-Gruppe. Auch *Chaetomium* kann toxisch sein.

In Deutschland gibt es nach derzeitigem Kenntnisstand nur ein Institut, das Toxine von Schwärzepilzen untersucht. Dies mag zum einen daran liegen, dass die wirklich toxischen Verbindungen noch nicht bekannt sind und keine Routine-Analytik besteht. Zum anderen finden die Fusarien derzeit ein größeres Interesse. Bei phytopathologischen Tests auf den Besatz mit samenbürtigen Pilzen sind Schwärzepilze zwar häufig nachzuweisen, wenn jedoch Fusarien vorhanden sind, sind Schwärzepilze auf den Kulturplatten gegenüber den Fusarien unterrepräsentiert. Dies beruht auf der Tatsache, dass Schwärzepilze weniger Sporen als Fusarien bilden, dazu stets mehrkammerige. Dies tun die Fusarien zwar auch, daneben haben sie oft noch zahlreiche einzellige Mikrokonidien.

3.1.3 Mutterkorn

3.1.3.1 Vorkommen von Mutterkorn in Futtermitteln

In den letzten Jahren war in Deutschland, regional unterschiedlich, das Auftreten von Mutterkorn zu beobachten. Mutterkorn, dessen Dichte etwas geringer als die des Getreides ist, kann aber weder vollständig noch ohne Verlust von Getreide ausgelesen werden. Mutterkorn lässt sich - bis zu ca. 10 % - in die sogenannte Leichtkornfraktion verschieben, was einen beträchtlichen Getreideverlust darstellt. Als Mutterkorn werden die Sklerotien, das Dauermycel des Pilzes *Claviceps purpurea*, bezeichnet. Dieser Pilz gehört zu einer Gruppe mit über 30 Arten, die über 600 Gräser befallen können, einschließlich aller Getreidearten. Auf das Feld kommen die Mutterkörner entweder bei der Ernte oder über das Saatgut. Im Frühjahr keimen sie aus und entlassen ihre Ascosporen. Gelangen diese auf die Narbe einer Gramineenblüte, kann es zur Infektion kommen. Besonders frühblühende Gräser wie Acker- und Wiesenfuchsschwanz können Getreidebestände infizieren. Auf den infizierten Gräsern entwickelt sich der Mutterkornpilz und es kommt zur Honigtaubildung, die bis zu zwei Wochen dauern kann. Über Insekten werden die Konidien im Honigtau von Gräsern auf die Getreideblüte übertragen. Die Infektion der Narbe der Getreideblüte kann auch direkt über die Sporen des ausgekeimten Mutterkorns erfolgen, zwischen Öffnen der Blüte und Befruchtung. Feuchte Witterung erhöht das Sporenangebot, trockene vermindert es und erhöht bei Roggen die erfolgreiche Bestäubung mit geringeren Infektionschancen für die Sporen des Mutterkorns. Bei Regen und kühler Witterung sind Weizen und Gerste anfälliger. Nach einem Jahr mit starkem Mutterkornbefall ist auch der Infektionsdruck in den Folgejahren höher. Andere Faktoren wie Kulturmaßnahmen - Randstreifen, Brachen - und verstärkte Anfälligkeiten, z.B. bei Hybridroggen, scheinen die Infektionen zu be-

günstigen. Das Vorkommen von Mutterkorn unterliegt witterungsbedingt starken regionalen und jährlichen Schwankungen.

In dem begrenzten Belastungsgebiet war im darauffolgenden Erntejahr wieder eine Reduzierung eingetreten. Mutterkorn ist in Weizen, Gerste und verstärkt in Roggen, aber auch in Triticale zu finden. Dies zeigen auch die Untersuchungen anderer Autoren. Das in Bayern in Haferproben gefundene Mutterkorn stammte von Gräsern im Haferbestand. Es kann daher zwar von einem wiederkehrenden Vorkommen von Mutterkorn ausgegangen werden, nicht aber von einem generellen Problem. Trotzdem sollte der Bestand bei der Ernte bzw. das Druschgut in Befallsgebieten regelmäßig kontrolliert werden (Abb. 8).

3.1.3.2 Bedeutung und Auswirkungen von Mutterkorntoxinen

Alkaloide sind fettlösliche Pflanzeninhaltsstoffe. Zusammen mit Säuren sind wasserlösliche Salze möglich. Die Mutterkornalkaloide sind Derivate der Lysergsäure. In Mutterkorn lassen sich neben LSD, Ergometrin, Ergosin, Ergotamin, Ergocornin, α + β -Ergokryptin und Ergocristin nachweisen. Die Alkaloide führen zu ausgeprägter Kontraktur der glatten Muskulatur und des Uterus. Die mittlere tödliche Dosis (LD_{50} mg/kg i.V.) schwankt zwischen den Alkaloiden (0,3 - 3,2 mg/kg). Die Alkaloide, die wirksamen Substanzen im Mutterkorn, schwanken stark in Menge und Zusammensetzung. Dabei bedeutet LD_{50} , dass in Tierversuchen mit Kaninchen, die Dosis ermittelt wurde, bei der 50 % der Tiere verendeten. Sie zeigt die unterschiedliche Toxizität der einzelnen Alkaloide auf, die deutlich um den Faktor 10 schwankt und damit die Ermittlung der Futtertauglichkeit von mutterkornhaltigem Getreide zusätzlich erschwert. Es ließe sich auch nur schwer ein Referenztoxin ableiten, da auch die Zusammensetzungen im Mutterkorn schwanken. Mit der Untersuchung von Ergometrin, Ergotamin und Ergokryptin werden nur etwa 30 % des Gesamtalkaloidgehaltes (GA) erfasst. Derzeit wird in Bayern nur an wenigen Proben, der Gesamtalkaloidgehalt überprüft.



Abb. 8: Befall, Aussehen und Auswirkungen von Mutterkorn in Getreide

In orientierenden Untersuchungen lagen die Schwankungen zwischen 0,01 und 0,28 % Gesamtalkaloidgehalt im Mutterkorn. Für Zentraleuropa werden als durchschnittlicher Gesamtalkaloidgehalt 0,2 % im Mutterkorn angegeben (Wolff 1998). Die meist älteren Untersuchungen lassen nur Aussagen zu Mutterkorn zu, nicht aber zu den Alkaloidgehalten bezogen auf das Lebendgewicht.

Als Beispielskalkulation für 2 kg Getreide je Zuchtsau mit 250 kg LG je Tag ergäben sich bei dem futtermittelrechtlich festgelegten Höchstwert von 1000 mg Mutterkorn/kg Getreide bei dem oben genannten mittleren GA-gehalt von 0,2 % 2000 µg/kg Getreide und dies ergäbe dann eine GA-Aufnahme von 16 µg GA/kg LG und Tag. Die derzeit vorliegenden Daten werden als noch nicht ausreichend für Orientierungswerte zum Gesamtalkaloidgehalt angesehen.

3.2 Lagerpilze und deren Mykotoxine

3.2.1 Penecillien und Aspergillen

In den Tabellen 8 und 9 sind die von Aspergillen bzw. Penecillien gebildeten Mykotoxine zusammengestellt.

Tab. 8: Von *Aspergillen* gebildete Mykotoxine (nach Literaturangaben)

Aspergillus spp.	Aflatoxin	Citrinin	Kojisäure	Sterigmatocystin	Ochratoxin (OTA)	Penicillin-Säure
<i>A. amstelodami</i>				X		
<i>A. candidus</i>		X	X			
<i>A. chevalieri</i>				X		
<i>A. clavatus</i>						
<i>A. flavus</i>	X		X	X		
<i>A. giganteus</i>						
<i>A. nidulans</i>			X	X		
<i>A. niveus</i>		X				
<i>A. ochraceus</i>					X	X
<i>A. oryzae</i>			X		X	
<i>A. ostianus</i>	X				X	
<i>A. parasiticus</i>	X		X			
<i>A. ruber</i>				X		
<i>A. rugulosus</i>				X		
<i>A. sulphureus</i>						X
<i>A. tamarii</i>			X			
<i>A. terreus</i>		X				
<i>A. versicolor</i>				X		

Tab. 9: Von *Penicillien* gebildete Mykotoxine (nach Literaturangaben)

Penicillium spp.	Aflatoxin	Citrinin	Kojisäure	Sterigmatocystin	Ochra-toxin (OTA)	Patulin	Penicillinsäure
<i>P. citrinum</i>		X					
<i>P. claviforme</i>		X				X	
<i>P. cyclopium</i>		X			X		X
<i>P. expansum</i>		X				X	X
<i>P. luteum</i>				X			
<i>P. natatum</i>		X				X	
<i>P. palitans</i>		X			X		X
<i>P. patulum</i>						X	
<i>P. puberulum</i>	X						X
<i>P. urticae</i>						X	
<i>P. veridicatum</i>		X			X	X	X
Penicillium sp.			X				

3.2.1.1 Vorkommen von Ochratoxin A in Getreide

Es können von einer Reihe verderbanzeigender Schimmelpilze, darunter vor allem Aspergillen und Penicillien, die sich unter bestimmten Bedingungen im Getreide entwickeln können, Mykotoxine gebildet werden. Eines davon, das Mykotoxin Ochratoxin A (OTA), gehört zu einer Gruppe von 10 strukturell verschiedenen Ochratoxinen und schädigt hauptsächlich die Nieren. Bei Schweinen kann es mangelnde Gewichtszunahme, erhöhte Wasseraufnahme und häufigen Harnabsatz verursachen. In einer Studie zeigte Hadlok 1989 auf, dass OTA sowohl in Getreide als auch im Blut von Mensch und Tier zu finden ist. Ochratoxin A wird als nierentoxisch eingestuft und zudem als kanzerogen, teratogen und immunsuppressiv diskutiert.

OTA kann auch in trockenem Getreide gebildet werden, wenn entweder durch Feuchtigkeitwanderungen infolge Temperaturwechsel Kondensationspunkte mit höherem Wassergehalt entstehen (Hot-Spot-Theorie) oder durch die Atmungstätigkeit von Kornkäfern oder anderen Getreideschädlingen (Milben, Larven von Mehlmotten) Feuchtigkeit gebildet wird und dann sekundär Verschimmelung eintritt, was oft nicht bemerkt wird. In Trocknungsanlagen ist der Wasserbewegung Beachtung zu schenken. Das mit der Lüftung auszutreibende Wasser darf nicht im Getreidestock kondensieren, sondern muss hinausbefördert werden (genügende Kapazität).

Oft wird nicht beachtet, dass bei gleichem Wassergehalt Getreide als ganzes Korn lagerbeständig sein kann. Wird es aber geschrotet, tritt bei kritischem Wassergehalt Verderb ein. Dieser wird stark beschleunigt, wenn Getreideschrot mit Sojaschrot und Mineralfutter gemischt wird, weil der höhere Gehalt an Eiweiß, aber vor allem an Wirkstoffen dem Wachstum von Pilzen Vorschub leistet.

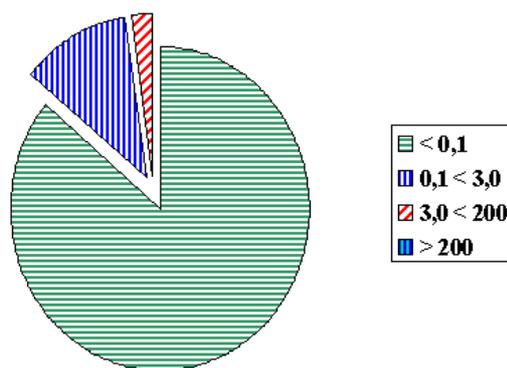


Abb. 9: Vorkommen von OTA in Futtergetreide (Anzahl der Proben 1991-2000, gruppiert nach µg/kg)

Im Grenzfeuchtebereich kann die Temperatur des Getreides den Ausschlag geben. Es wurde deshalb vermutet, dass im Frühjahr bis Sommer am häufigsten OTA zu finden ist. Diese Tendenz kann nur begrenzt durch eigene Ergebnisse mit der Probenahme im Herbst und im Frühjahr für verschiedene Erntejahre belegt werden.

Gehalte von mehr als 200 µg OTA/kg Getreide traten in den letzten Erntejahren (Abb. 9) nicht auf.

Die Untersuchungen zur Mykotoxinbildung während der Lagerung von Futtergetreide dienen vor allem der Erarbeitung von Hinweisen zur Vermeidung von Mykotoxinen. Die bisherigen Untersuchungen zeigten, dass unter bestimmten Bedingungen (Feuchtegehalt > 18 %) das Mykotoxin Ochratoxin A gebildet werden kann, und dies um so mehr, wenn das Getreide mit einem Toxinbildner infiziert wurde. Aus der Literatur ist bekannt, dass ein Pilz auch mehrere Toxine bilden kann. Die Futtertauglichkeit wird durch die Summe aller schädigenden Stoffe bestimmt und nicht nur von einem nachgewiesenen Toxin. Um das z. T. häufige Vorkommen von OTA in Getreide erklären zu können, wurde die Situation wie sie z.B. für ein Schimmelnest typisch ist, simuliert, da anzunehmen ist, dass die Verteilung von Schimmelnestern zur Kontamination von Getreide bei der Auslagerung beiträgt. Es wurde in einem Versuch, in dem *Penicillium verrucosum* in beimpfter Gerste mit 19 % Feuchtegehalt nach 20 Wochen Ochratoxin A gebildet hatte, zusätzlich das Vorkommen weiterer Toxine untersucht. Bei dem eingesetzten Stamm war bekannt, dass er neben OTA auch Citrinin (CT), das auch nieren-schädigend wirkt, aber nicht wie OTA in die Nahrungskette gelangt, bildet. Proben aus dem Lagerungsversuch mit Gerste, die Ochratoxin A enthielten, wurden hinsichtlich des Vorkommens von Citrinin am Lehrstuhl für Milchhygiene der Universität München untersucht. In diesem Versuch wurde gleichzeitig die Gerste aus dem Erntejahr 1994 (alt) mit dem Erntejahr 1995 (neu) verglichen (Abb. 10). Hier deutet sich an, dass eine nennenswerte Citrininbildung später als die OTA-Bildung erfolgt. Die geringe Nachweisgrenze von 100 µg/kg Gerste lässt aber den Beginn der CT-Bildung nicht erkennen, über die Varianten alt (> 1 Jahr gelagert) und neu (frisch eingelagert) sollte der Einfluss der Lagerdauer erfasst werden.

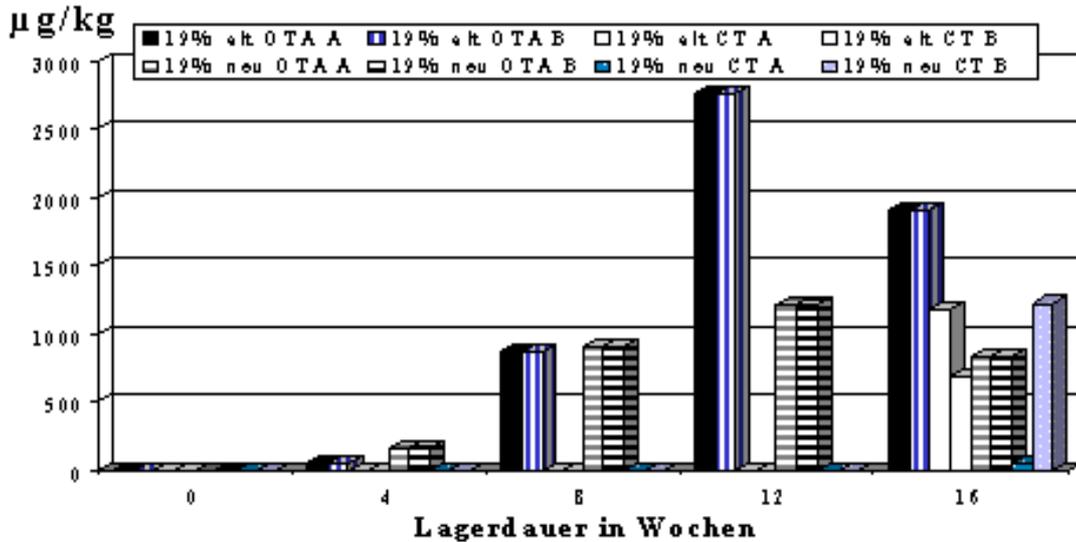


Abb. 10: Bildung von Ochratoxin A (OTA) und Citrinin (CT) in Futtergerste (A + B = Parallelen)

In weiteren Untersuchungen zeigte sich, dass das am Feld gebildete Fusarientoxin Deoxynivalenol während der Lagerung weitgehend stabil bleibt, bei hoher Feuchte sogar leicht ansteigt (Abb. 11). Die OTA-Bildung beginnt bei künstlicher Infektion ab der 12. Woche; 4 Wochen später bei natürlicher Infektion. Die Untersuchung der Proben, 19 % (Feuchtegehalt) und 20 Wochen Lagerdauer, auf Citrinin verlief ohne Ergebnis, da die Nachweisgrenze (NWG) der Methode zu hoch war. Es scheint erst ab etwa 1 mg OTA auch > 0,1 mg Citrinin gebildet zu werden.

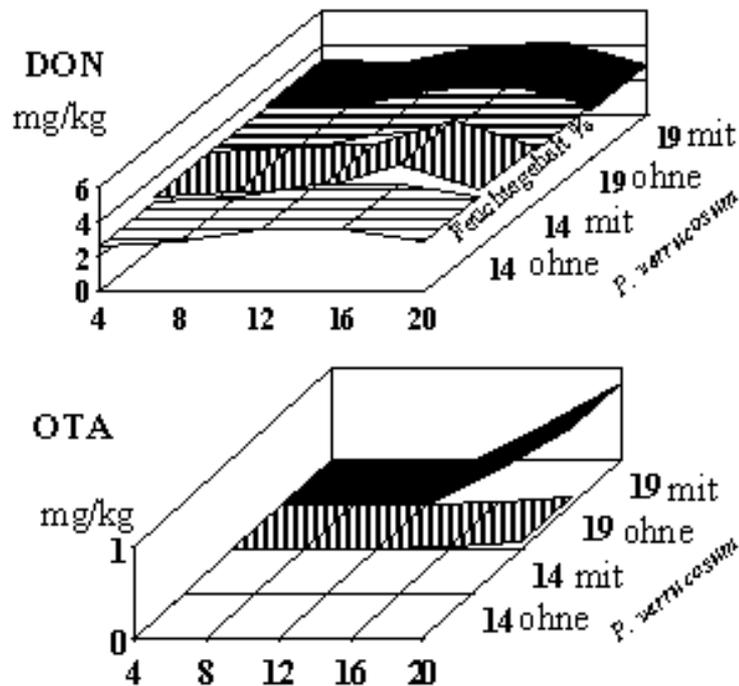


Abb. 11: OTA-Bildung (mg/kg) bei mit DON belastetem Winterweizen während der Lagerung (4-20 Wochen) und unterschiedlichen Kornfeuchten (14/19 %)

3.2.1.1 Bedeutung und Auswirkungen von Ochratoxin A

Ochratoxin A ist beim Menschen als krebserregender Stoff eingestuft und führt auch bei landwirtschaftlichen Nutztieren zu Nierenschäden. Das beim Schwein klinisch als Polyurie/Polydipsie- Syndrom bezeichnete Krankheitsbild wird jedoch meist erst zur Schlachtung durch gelblich verfärbte und vergrößerte Nieren erkannt. Ochratoxin A vermindert außerdem noch die Eiweissynthese, wodurch es zur Leistungsbeeinträchtigung und zur Schwächung des Immunsystems kommt. Bei 200 µg/kg Futter treten bereits leichte Nierenveränderungen auf. Nach den Gleichungen von Krogh 1987 wird bei < 200 µg OTA im Futter der Dänische Grenzwert von 10 µg/kg in Nieren unterschritten. Neben OTA wird auch häufig das verwandte Penicilliumtoxin Citrinin in Futtermitteln festgestellt, dass bei ähnlichen Schadwirkungen sich additiv mit OTA verhält.

OTA besitzt im tierischen Gewebe und im Blut eine lange Halbwertszeit, so dass unerwünschte Rückstände im Fleisch auftreten und die Lebensmittelsicherheit beeinflussen können.

3.2.1.2 Vorkommen von Roquefortin, Fumitremorgene und Monaculin in Silagen

In Futterrationen für Rinder kann Maissilage in ähnlichen Anteilen enthalten sein wie Getreide in Futterrationen für Schweine. Es können damit eher Probleme durch Schimmelpilze in Maissilage für Rinderhalter auftreten. Der fortschrittliche Landwirt wird deshalb seine Siliertechnik dem Ausgangsprodukt anpassen, und hier ist es vor allem der Trockenmassegehalt, der in der Restpflanze zu 23 – 25 % und im Kolben 58 – 60 % betragen sollte.

Zudem sollten die Körner angeschlagen, die Lieschen zerkleinert sein und ihr Gesamtgehalt unter 2 % in der Trockenmasse liegen. Die Energiekonzentration sollte größer als 6,4 MJ NEL pro kg Trockenmasse sein. Die Verdichtung als Voraussetzung für schimmelfreies Futter sollte mehr als 230 kg Trockenmasse pro m³ erreichen. Diese Standardwerte führen aber auch nur dann zu einer schimmelfreien Silage, wenn der epiphytische Keimbesatz vom Ausgangsprodukt berücksichtigt wurde. Dies ist vor allem bei feuchtwarmer Witterung bei der Ernte oder bei Frühfrösten im Herbst zu beachten. Ein Reagieren der Siliertechnik heißt, den Verschmutzungsgrad und den Abreifegrad des Maises am Feld zu ermitteln und die Häckselqualität sowie die Walzarbeit daraufhin abzustellen.

Tab. 10: Ausgewählte Schimmelpilze in Silage (Quelle: Richter und Bauer 1997)

	Maissilage (n =26)		Grassilage (n =27)	
	Sichtbarer Schimmel		Sichtbarer Schimmel	
	ohne	mit	ohne	mit
Mittlere Keimzahl (log KbE/g Silage)	4,1	5,9	3,5	4,8
	Anzahl der positiven Proben			
<i>Penicillium roqueforti</i>	9	7	2	1
<i>Aspergillus fumigatus</i>	7	8	8	10
<i>Monascus ruber</i>	1	2	7	13

Die wichtigsten Schimmelpilze und ihre Toxine

Schimmelpilze sind obligat aerob, es darf daher im Silo kein Sauerstoff sein. Dies ist in aller Regel dann nachprüfbar möglich, wenn bei der Abdeckung die Gärgashaube entsteht. Die vorgenannten Maßnahmen dienen der Erzeugung einer stabilen Silage. Festgestellt wird dies immer erst bei der Entnahme. Hier ist eine Entnahmetechnik, die glatte Flächen hinterlässt und den Futterstock nicht auflockert, notwendig. Als negativ sind in jedem Fall Geräte anzusehen wie Greifer und Frontlader. Als positiv sind anzusehen: Blockschneider und Fräsen. Da die Stabilität der Silage nicht vorausgeschätzt werden kann, alle anderen Bedingungen aber weitgehend fest sind wie Stallbelegung und Entnahmesystem, zeigt es sich immer wieder, dass bei fehlender Stabilität, die Menge die entnommen werden müsste, zu groß ist.

Hier zeigte sich, dass auch in Silagen, die äußerlich keinen Schimmelbefall erkennen ließen, Pilze nachzuweisen waren, allerdings waren die mittleren Keimgehalte um mehr als eine Größenordnung kleiner (Tab. 10). Der Nachweis von Mykotoxinen in Silagen wurde von verschiedenen Autoren erbracht, wobei aber große Schwankungen in den zum Teil verschimmelten Silagen vorkamen.

Penicillium roqueforti dominierte in Maissilage (9 in Proben ohne, 7 in Proben mit sichtbarem Schimmelpilzbefall). *Aspergillus fumigatus* fiel in Maissilage und in Grassilage auf (7 in Maissilageproben ohne, 8 in Maissilageproben mit sichtbarem Schimmelpilzbefall; 8 in Grassilageproben ohne, 10 in Grassilageproben mit sichtbarem Schimmelpilzbefall). *Monascus ruber* war der vorherrschende Pilz in Grassilage (7 in Grassilageproben ohne, 13 in Grassilageproben mit sichtbarem Schimmelpilzbefall), Während er in Maissilage relativ selten vorkam (1 in Maissilageproben ohne, 2 in Maissilageproben mit sichtbarem Schimmelpilzbefall).

Die Ergebnisse der Untersuchungen über das Vorkommen von verderbanzeigenden Schimmelpilzen wurden für Gras- und Maissilage getrennt dargestellt (Tab. 11).

Tab. 11: Wichtige, silageverderbende Schimmelpilze, Mykotoxine und deren Auswirkungen

Schimmelpilze	Wichtige in Silage nachgewiesene Toxine	Auswirkungen (In der Literatur beschrieben)
<i>Fumigatus</i>	Verruculogen Fumitremorgene	Schwindel, Gleichgewichtsstörungen, Todesfälle
<i>M. ruber</i>	Monaculine Citrinin	Einfluss auf die Pansenbakterien Nierenschädigend
<i>P. roqueforti</i>	Roquefortin, PR-Toxin, Mycophenolsäure u. a.	Schlechtere Futteraufnahme Verwerfen Fruchtbarkeitsstörungen Durchfall

Die wichtigsten Schimmelpilze und ihre Toxine

Tab. 12: Höchstgehalte für Aflatoxin B₁ (Futtermittelverordnung in der Neufassung vom 7. März 2005, Anlage 5)

unerwünschter Stoff	Futtermittel (88 von Hundert Trockenmasse)	Höchstgehalt in mg/kg
Aflatoxin B1	Einzelfuttermittel	0,02
	Alleinfuttermittel für Rinder, Schafe und Ziegen, ausgenommen:	0,02
	Alleinfuttermittel für Milchvieh	0,005
	Alleinfuttermittel für Kälber und Lämmer	0,01
	Alleinfuttermittel für Schweine und Geflügel (ausgenommen Jungtiere)	0,02
	Andere Alleinfuttermittel	0,01
	Ergänzungsfuttermittel für Rinder, Schafe und Ziegen (ausgenommen Ergänzungsfuttermittel für Milchvieh, Kälber und Lämmer)	0,02
	Ergänzungsfuttermittel für Schweine und Geflügel (ausgenommen Jungtiere)	0,02
	andere Ergänzungsfuttermittel	0,005

4 Die Beurteilung von Mykotoxingehalten in Futtermitteln

Gesetzliche Regelungen liegen bisher nur für das Mykotoxin Aflatoxin vor, das jedoch in den heimischen Futtermitteln nicht auftritt, sondern nur in Importen aus den Tropen und Subtropen. In der Tab. 12 sind die deutschen Höchstwerte für Aflatoxin B₁ aufgelistet. Für Mutterkorn liegt ein Höchstwert von 1000 mg/kg Getreide (88 % TM) vor.

Für DON und ZEA wurden bisher Orientierungswerte (Tab. 13) vorgeschlagen, bei denen eine Reihe von Einschränkungen bei der Anwendung empfohlen werden (Quelle: DLG-Mitteilungen 8/2000). Diese Werte basierten auf dem verfügbaren Wissensstand und hatten zum Ziel, Leistung und Gesundheit der Tiere unter den üblichen Produktionsbedingungen nicht zu beeinträchtigen. Es wurden keine Langzeiteffekte und Wechselwirkungen, aber auch nicht Haltung und Allgemeinbefinden der Tiere berücksichtigt. Als Bezugsgröße wurde die verfütterte Gesamtration herangezogen und keine Differenzierung der Futtermittel vorgenommen.

Tab. 13: Orientierungswerte (BMVEL) für Gehalte an Mykotoxinen in Futtermitteln (mg/kg bei 88 % TM)

Tierart bzw. Tierkategorie	Deoxynivalenol <i>mg/kg</i>	Zearalenon <i>mg/kg</i>
Schwein		
Präpupertäre weibliche Zuchtschweine	1,0	0,05
Mastschweine und Zuchtsauen	1,0	0,25
Rind		
präruminierend	2,0	0,25
weibliches Aufzuchtrind / Milchkuh	5,0	0,50
Mastrind	5,0	k. O.
Huhn (Legehühner, Masthühner)	5,0	k. O.

k. O. = nach derzeitigem Wissensstand keine Orientierungswerte erforderlich

Einschneidend für Aflatoxin und Mutterkorn ist futtermittelrechtlich das **Verschneidungsverbot**. In § 23 Absatz 2 FMG ist dies festgelegt.

(1) Der Gehalt an unerwünschten Stoffen in Futtermitteln darf die in Anlage 5 Spalte 3 festgesetzten Höchstgehalte nicht überschreiten.

(2) Es ist verboten, ein Futtermittel mit einem Gehalt an einem unerwünschten Stoff, der den in Anlage 5 Spalte 3 festgesetzten Höchstgehalt überschreitet, zu Verdünnungszwecken mit dem gleichen oder einem anderen Futtermittel zu mischen.

(3) Wird ein Futtermittel mit einem Gehalt an einem unerwünschten Stoff, der den in Anlage 5 Spalte 3 festgesetzten Höchstgehalt übersteigt, einer geeigneten Behandlung zur Verminderung oder Entfernung (Reinigung) oder zur Inaktivierung (Dekontamination) des unerwünschten Stoffes unterzogen, darf sein Gehalt an diesem Stoff nach der Behandlung den in Anlage 5 Spalte 3 festgesetzten Höchstgehalt nicht überschreiten. Nachfolgend sind einige für die Futtermittelkontrolle zuständige Stellen aufgelistet.

Zuständige Behörden der Futtermittelüberwachung:

(Auswahlbeispiele)

Bayern **Regierung von Oberbayern**

Futtermittelüberwachung Bayern

SG 56

80534 München

Sachsen: **Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft**

Kontrolldienst (Referat 72/73)

August-Böckstiegel-Str. 1

01326 Dresden

Thüringen: **Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft**

Futtermittelüberwachung (Referat 310)

Naumburger Straße 98

07743 Jena

Baden-Württemberg: **Ministerium für Ernährung / ländlichen Raum**

Referat 31

Postfach 103444

70029 Stuttgart

Die Beurteilung von Mykotoxingehalten in Futtermitteln

Tab. 14: Richtwerte für die Mykotoxine (DON, ZEA, OTA und Fumonisin B1 + B2)
auf Empfehlung der EU-Kommission in Futtermitteln
(Amtsblatt der Europäischen Union, 22917 vom 23.08.2006)

Mykotoxin	Zur Fütterung bestimmte Erzeugnisse	Richtwert in mg/kg (ppm) für Futtermittel in 88% TM
Deoxynivalenol	Futtermittelausgangserzeugnisse (*)	
	— Getreide und Getreideerzeugnisse (**) außer Maisnebenprodukte	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 Maisnebenprodukte	2
	— Maisnebenprodukte	3
	Ergänzungs- und Alleinfuttermittel	
	— Ergänzungs- und Alleinfuttermittel für Ferkel und Jungsauen	0,10
	— Ergänzungs- und Alleinfuttermittel für Sauen und Mastschweine	0,25
— Ergänzungs- und Alleinfuttermittel für Kälber, Milchkühe, Schafe (einschl. Lämmer) und Ziegen (einschl. Ziegenlämmer)	0,5	
Ochratoxin A	Futtermittelausgangserzeugnisse (*)	
	— Getreide und Getreideerzeugnisse (**)	0,25
	Ergänzungs- und Alleinfuttermittel	
	— Ergänzungs- und Alleinfuttermittel für Schweine	0,05
— Ergänzungs- und Alleinfuttermittel für Geflügel	0,1	
Fumonisin B1 + B2	Futtermittelausgangserzeugnisse (*)	
	— Mais und Maiserzeugnisse (***)	60
	Ergänzungs- und Alleinfuttermittel	
	— Schweine, Pferde (Equidae), Kaninchen und Heimtiere	5
	— Fische	10
	— Kälber (< 4 Monate), Geflügel, Lämmer und Ziegenlämmer	20
— Wiederkäuer (> 4 Monate) und Nerze	50	

Die Beurteilung von Mykotoxingehalten in Futtermitteln

(*) 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.

Neue Richtwerte wurden von der EU erlassen und in Tab. 14 aufgelistet, die aber nicht Höchstwerte im Sinne des Futtermittelrechts sind.

5 Maßnahmen zur Vermeidung von Schimmelpilzbefall und Mykotoxinbildung

5.1 Ackerbauliche Maßnahmen gegen Fusarien bei Getreide

5.1.1 Das Schadbild

Das Schadbild der Ährenfusariosen zeigt sich nach der Blüte während der Kornbildung. Teilbereiche der Ähre bleichen aus, bei feuchter Witterung ist mit bloßem Auge ein rosa-roter Sporenschleim zu erkennen. Später siedeln sich Schwärzepilze an. Die befallenen Ährenteile heben sich dann schmutzig-grau von den noch gesunden grünen Bereichen ab (Abb. 12). In den betroffenen Ährenabschnitten wird die Kornausbildung beeinträchtigt. Das Krankheitsbild wird als partielle Weiß- oder Taubährigkeit bezeichnet.

Während in Süddeutschland seit Beginn der Beobachtungen *Fusarium graminearum* als Verursacher dominierte, kam im Norden zunächst häufiger *Fusarium culmorum* vor. In den letzten Jahren scheint auch dort *Fusarium graminearum* die Oberhand zu gewinnen. *Fusarium poae*, *Fusarium avenaceum* und der nicht mehr zur Gattung *Fusarium* zählende Pilz *Microdochium nivale* (früher: *Fusarium nivale*) haben meist nur untergeordnete Bedeutung.



Abb. 12: *Fusarium graminearum* – Erreger der partiellen Taubährigkeit und Toxinbildner bei Weizen

Als Schaden sind neben den Ertragverlusten durch die partielle Taubährigkeit vor allem die giftigen Stoffwechselprodukte (Mykotoxine) des Pilzes im Erntegut hinzunehmen. Diese mindern nicht nur die Back- und Brauqualität des Weizens (niedrigere Fallzahlen und Sedimentationswerte, geringere Volumenausbeute der Gebäcke), sondern können auch die Gesundheit von Mensch und Tier (verminderte Futtermittelverwertung, Fruchtbarkeitsstörungen) beeinträchtigen. Typische Körner mit Fusariumbefall sind weiß bis schwach rötlich, leichter und weicher als normale Körner (Abb. 13). Sie sind durch herkömmliche Reinigungsmaßnahmen nur schwer aus einer Partie zu trennen, da sie sich in der Größe kaum von gesunden Körnern unterscheiden. Ein Teil der Mykotoxine befindet sich sogar in den äußerlich normal aussehenden Körnern. Mit dem alleinigen Herausreinigen von Schmachtkörnern kann der Toxingehalt in der Regel nur moderat, aber nicht umfassend gesenkt werden.

Über die Einflussfaktoren auf den Befall und die Toxinbildung von Ährenfusarien bei Getreide liegen in den einbezogenen Ländern mehrjährige Ergebnisse aus Monitoringprogrammen und aus begleitenden Feldversuchen vor. Bereits seit dem Jahr 1989 wurden in Bayern jährlich einige Hundert Praxisproben von Getreideerntegut auf Vorhandensein von Fusarien und Mykotoxinen untersucht, um einen Überblick über die Belastung und Hinweise auf Einflussfaktoren zu erhalten.

Erntegut von Weizen mit Fusariumbefall



Weißer bis leicht rötlicher, eingedellter Körner, leichter und weicher als normale Körner



Erntegut von Weizen ohne Fusariumbefall



Gesund aussehende Körner mit einheitlicher Färbung und Größe



Abb. 13: Erntegut mit und ohne Fusariumbefall

5.1.2 Anfälligkeit der Getreidearten

In der Anfälligkeit für Fusariumbefall und Toxinbildung gibt es bemerkenswerte Unterschiede zwischen den Getreidearten (Abb. 14).

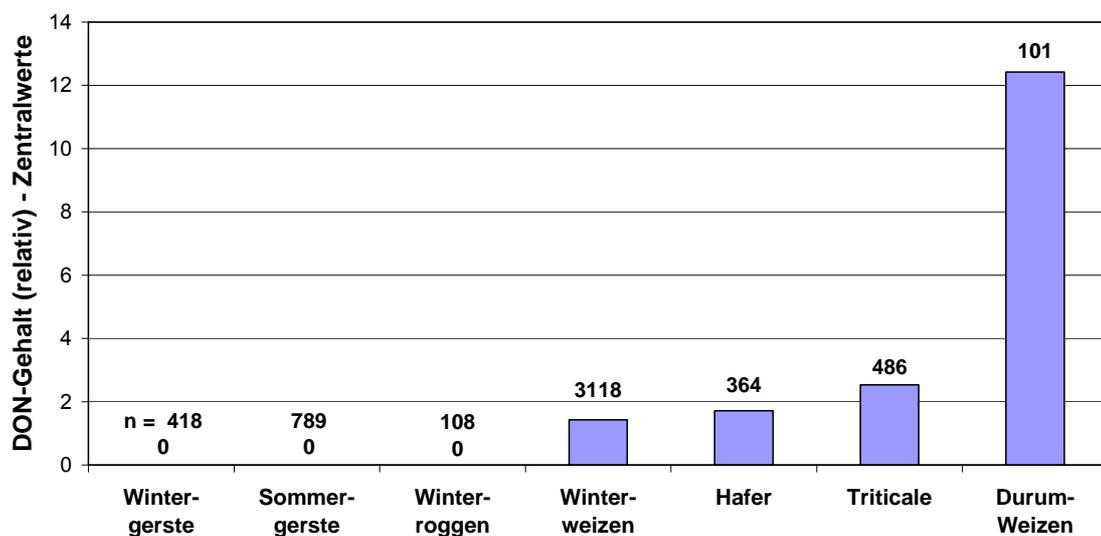


Abb. 14: Deoxynivalenol-Gehalt (relativ) verschiedener Getreidearten Fusarium-Monitoring Bayern 1993-2002

5.1.3 Abhängigkeit von der Witterung

Betrachtet man die DON-Gehalte der Hauptgetreideart Winterweizen über mehrere Jahre, so ist zu erkennen, dass die Schwankungen von Jahr zu Jahr enorm sein können (Abb. 15). Während zum Beispiel in 2001 ein niedriges Toxinniveau registriert wurde, wurden in der Ernte 2002 wieder signifikant höhere Werte gemessen.

4BMaßnahmen zur Vermeidung von Schimmelpilzbefall und Mykotoxinbildung

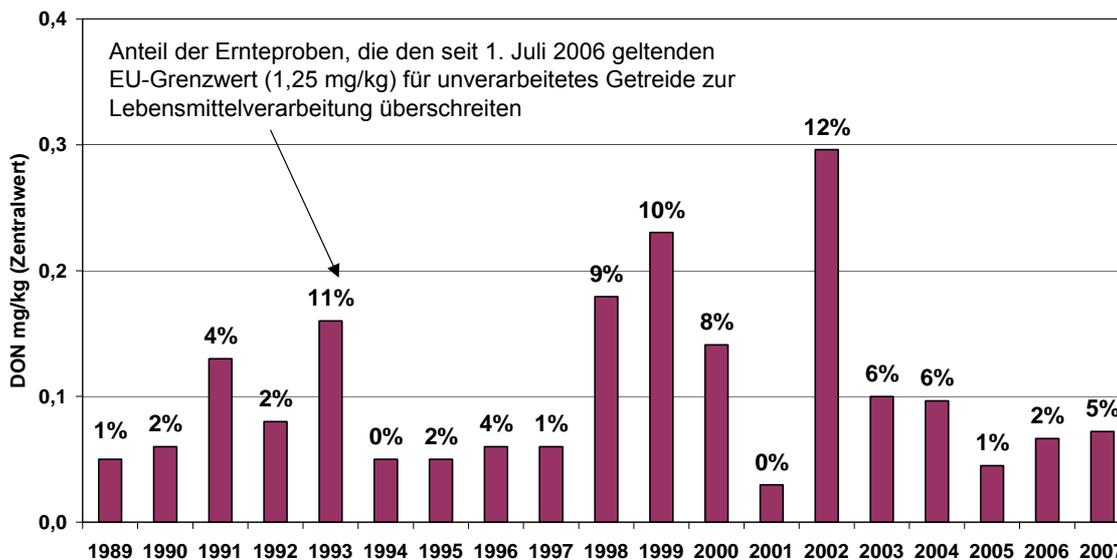


Abb. 15: DON-Gehalt in Winterweizen 1989 – 2007 in Bayern

Diese Unterschiede deuten auf einen wesentlichen Einfluss der Witterung hin. Entscheidend ist die Witterung ab dem Ährenschieben des Getreides. Der Fusarium-Pilz kann die Ähren besonders gut besiedeln, wenn längere warmfeuchte Abschnitte eintreten oder Blattnässeperioden von etwa fünf Tagen mit Niederschlag vorliegen (Tab. 15).

Tab. 15: Witterungsvoraussetzungen für die Ähreninfektion des Weizens mit *F. graminearum*

<p>1. Askosporenflug</p> <ul style="list-style-type: none"> - in Weizenstadien BBCH 39/41 – 61 mindestens 1 Niederschlag ≥ 4 mm, - dann 1 Tag mit Temperatur $> 18^{\circ}\text{C}$ oder mehrere zusammenhängende Tage mit Temperatur $\geq 16^{\circ}\text{C}$ <p>2a. Ähreninfektion durch Askosporen</p> <ul style="list-style-type: none"> - nach Askosporenflug in den Stadien BBCH 55 – 69 insgesamt 2 Tage mit Temperatur $\geq 17^{\circ}\text{C}$ und Niederschlag ≥ 2 mm <p>oder</p> <p>2b. Konidiosporenbildung auf oberen Blättern und Ähreninfektion</p> <ul style="list-style-type: none"> - unmittelbar nach Askosporenflug ≥ 3 Tage lang Niederschlag oder Blattnässe

Diese Verhältnisse sind vor allem während gewittriger Wetterlagen oder bei mehrtägigem Tiefdruckeinfluss häufiger anzutreffen. Das Getreide ist während der Blüte besonders anfällig für Infektionen. Für die weitere Ausbreitung auf der Ähre und für die Toxinbildung im Korn ist auch die Witterung nach der Blüte bis zur Abreife des Weizens von Bedeutung. Je feuchter die Bedingungen und je mehr die Ernte dadurch verzögert wird, umso mehr Toxine scheinen gebildet zu werden. Darüber liegen jedoch noch wenige Erkenntnisse vor.

5.1.4 Ernterückstände

Die wichtigsten Ausgangspunkte für Infektionen des Getreides durch *Fusarium graminearum* sind nicht zersetzte Maisernterückstände im Getreideschlag. Dabei ist vernachlässigbar, ob die Maissorte mehr oder weniger anfällig für die Fusarium-Stängelfäule war. In beiden Fällen bilden sich ausreichend Sporen zum Infizieren des Getreides. Von geringerer Bedeutung sind die Reste mehrjähriger Grasbestände oder einer Getreidevorfrucht.

Der Befall des Weizens erfolgt in der Regel durch Sporenflug direkt von den Ernterückständen an der Bodenoberfläche auf die Ähren (Abb. 16). Bei anhaltend kühlfeuchten Bedingungen nach dem Sporenflug kann auch eine symptomlose Zwischenvermehrung auf den oberen Blättern stattfinden. Da die Flugfähigkeit der Fusariumsporen sehr begrenzt ist, geht der entstehende Befall in erster Linie vom eigenen Feld aus. Je nach Windverhältnissen kann aber ein Teil der Sporen auch über längere Strecken transportiert werden.

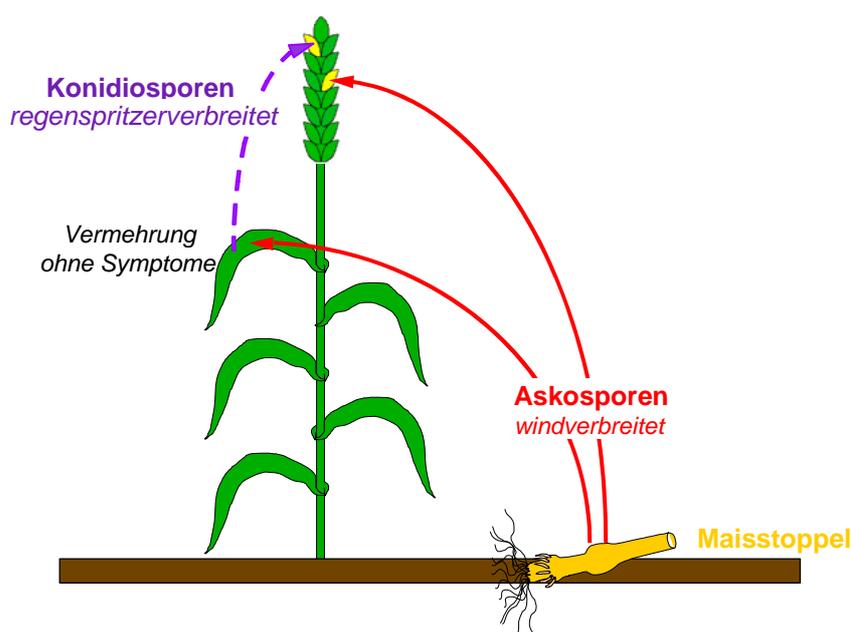


Abb. 16: Ausbreitung von *Fusarium graminearum*

Je mehr Maisstroh auf der Bodenoberfläche liegen bleibt, desto höher ist die Infektionsgefahr. Die Ernterückstände sollten deshalb möglichst zerkleinert und eingepflügt werden. Bei Silomais ist dies in der Regel kein Problem. Schwieriger ist die Einarbeitung der großen Restmengen von Körnermais. Eine Möglichkeit ist ein zusätzlicher Arbeitsgang mit einem Schlägelhäcksler nach der Ernte. Daneben werden zur Zeit spezielle Mähdrescher mit integriertem Intensiv-Häcksler geprüft, welche eine ausreichende Zerkleinerung bereits bei der Ernte gewährleisten sollen. Wird das Stroh nicht zerkleinert, so erfolgt in schweren Böden nach dem Einpflügen zum Teil eine Konservierung. Vor der zweiten Nachfrucht kann es wieder hochgepflügt werden und stellt eine Fusarium-Befallsquelle dar. In Trockengebieten ist auf schweren Böden in manchen Jahren keine saubere Pflugarbeit möglich. Die Minimalbodenbearbeitung nach Maisvorfrucht beinhaltet ein erhebliches Risiko für Fusarium-Befall des Weizens (Abb. 17).

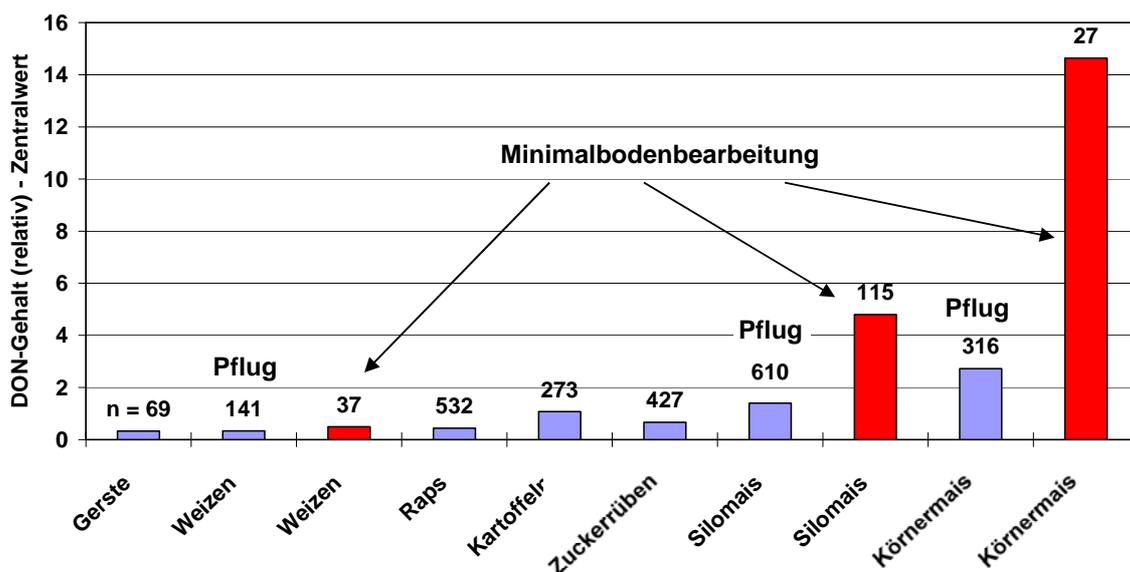


Abb. 17: DON-Gehalt von Winterweizen in Abhängigkeit von Vorfrucht und Bodenbearbeitung

In Gegenden mit Erosionsgefahr wird zum Teil auf den Pflug verzichtet. Hier ist es wichtig, durch gute Zerkleinerung und wiederholte (oberflächliche) Einarbeitung, die Rotte der Erntereste zu beschleunigen. Wenig anfällige Weizensorten (Tab. 16) sind als Nachfrucht zu wählen. Manche Betriebe ziehen es vor, den Mais aus der Fruchtfolge mit Weizen herauszunehmen und ihn mehrere Jahre hintereinander anzubauen, den Weizen aber in eine andere Fruchtfolge zu stellen.

5.1.5 Sortenanfälligkeit

Ein bedeutendes Instrument zur Verminderung des Fusarium-Risikos, zumindest in Weizen, besitzt der Landwirt in der Sortenwahl (Tab. 16). Zwar gibt es keine vollständig resistenten Sorten, aber doch erhebliche Unterschiede in der Resistenz gegen Ährenfusarien. Im A-Weizen-Bereich schneidet die Sorte Toras am besten ab, gefolgt von Impression und Sokrates. Bei den Sorten mit E-Backqualitäten sind zum Beispiel Bussard und Enorm mit einer hohen Resistenz ausgestattet, bei den C-Weizen Hermann und Skalmjeje. Nicht ganz so gut ist die Situation im Bereich der B-Weizen.

Auch Triticale ist anfällig für Ährenfusarien. Zwar gibt es bisher vom Bundessortenamt für Triticale keine Einstufung der Fusarium-Anfälligkeit. In Sortenversuchen mehrerer Bundesländer erwiesen sich jedoch die Sorten Benetto und Tremplin als weniger anfällig, Modus, Trimester und Versus dagegen als stärker anfällig. Eine Mittelstellung nahmen SW Talento, Lamberto und Vitalis ein.

Für die übrigen Getreidearten liegen noch keine gesicherten Erkenntnisse über die Ausprägung der Sortenresistenzen vor.

5.1.6 Fungizideinsatz

Die besondere Problematik der Bekämpfung von Ährenfusarien mit Fungiziden liegt darin, dass es keine Bekämpfungsschwellen gibt. Sobald erste Symptome zu sehen sind, ist es für jegliche Abwehrmaßnahmen zu spät. Der Landwirt muss deshalb das zu erwartende Befalls- und Toxinrisiko für seinen Getreidebestand aufgrund der Vorfrucht, der Bodenbearbeitung, der Sortenanfälligkeit und der Witterung ab dem Ährenschieben abschätzen.

4B Maßnahmen zur Vermeidung von Schimmelpilzbefall und Mykotoxinbildung

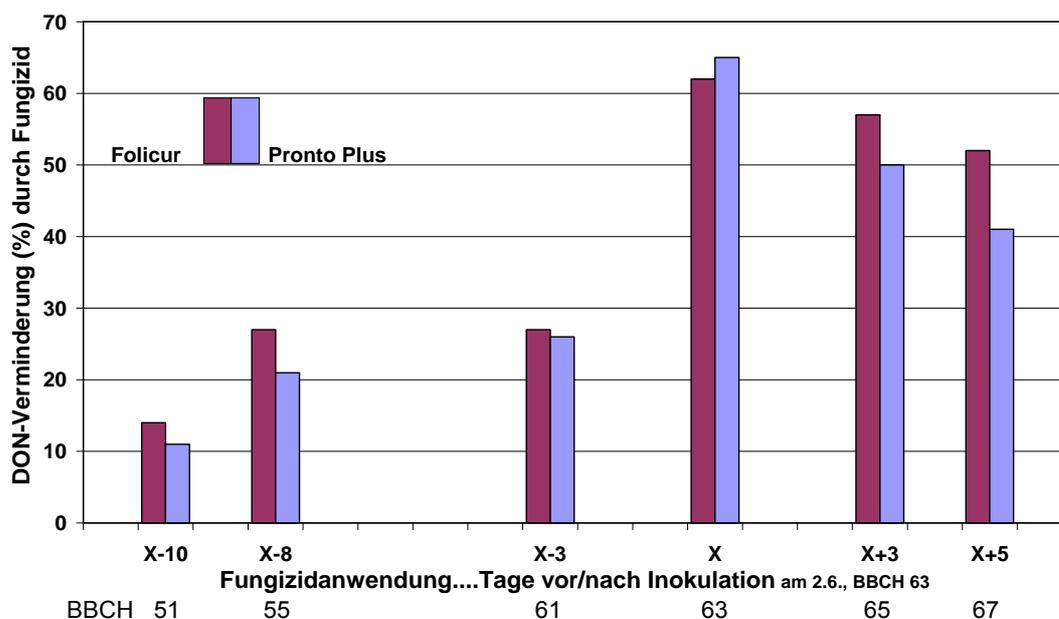


Abb. 18: Einfluss der Fungizidbehandlung auf DON- Gehalt *Fusarium culmorum* – künstliche Inokulation; Wirkung von Folicur bzw. Pronto Plus auf den Deoxynivalenol-Gehalt, Winterweizen Contra, (ohne Fungizid = 15,71 mg/kg)

5.1.7 Gesamtstrategie

Es ist ein Irrtum zu glauben, ausschließlich mit Sortenwahl oder Fungiziden das *Fusarium*-Risiko in den Griff zu bekommen.

kein Mais kein Weizen als Vorfrucht	Vorfrucht Mais oder Weizen			
	mit Pflugeinsatz nach Weizen Risiko gering - mittel	Mais Risiko mittel - hoch	ohne Pflugeinsatz nach Weizen Risiko mittel - hoch	Mais Risiko sehr hoch
Risiko gering - mittel			rottefördernde Produktionstechnik Maisernterückstände schlägeln Einsatz von Scheibenegge, Grubber	
Futterweizen Mahlweizen weitgehend freie Sortenwahl aus den empfohlenen Sorten	Sortenwahl siehe links	Mahlweizen: z.B. Impression, Sokrates, Toras Futterweizen: z.B. Hermann, Skalmje	Sortenwahl siehe links	nur Sorten mit besten Resistenz anbauen: derzeit Toras, Solitär
standortgerechte Düngung und Pflanzenschutz	standortgerechte Düngung und Pflanzenschutz ab mittel anfälligen Sorten (z.B. Tommi, Certo) Produktions- technik anpassen (siehe rechts)		(verhaltene N-Düngung, Lager verhindern); Ährenbehandlung mit fusarium- wirksamen Azolfungiziden	
mit <i>Fusarium</i> befallene Teilflächen (Vorgewende, Lagergetreide) getrennt ernten, Mähdrescher auf optimale Erntegutreinigung einstellen				

Tab. 17: Strategien gegen Ährenfusarien im Weizenanbau

Aus den langjährigen Auswertungen von Praxisflächen und von Feldversuchen ist klar abzuleiten, dass bei starkem Befallsdruck die Orientierungswerte für den Gehalt des Mykotoxins Deoxynivalenol in Futtergetreide allein mit teilresistenten Sorten oder mit Fungiziden nicht einzuhalten sind. Daher muss der Landwirt eine Gesamtstrategie entwickeln,

die an mehreren Punkten ansetzt (Tab. 17). Wenn Mais in der Fruchtfolge ist, müssen Bodenbearbeitung, Sortenwahl und Pflanzenschutz zusammenwirken, um das Fusarium-Risiko möglichst gering zu halten. Auf Flächen ohne Maisanbau in der Fruchtfolge ist die Situation entspannter zu sehen, jedoch kann auch für diese Fälle keine vollständige Entwarnung gegeben werden. Insbesondere bei Weizen nach Weizen besteht ein erhöhtes Fusarium-Risiko.

5.2 Konservierung und Lagerung von Getreide

Für den Verderb eines Futtermittels durch Schimmelpilze ist der Feuchtegehalt von entscheidender Bedeutung. Dabei steht den Mikroorganismen für Wachstum und Vermehrung das frei verfügbare, d.h. nicht chemisch gebundene Wasser zur Verfügung. Trockene Futtermittel (z.B. Extraktionsschrote) werden bei längerer Lagerung zunächst von xerophilen (d.h. trockenheitsliebenden) Schimmelpilzen und osmotoleranten Hefen befallen. Sie bauen organische Substanz ab und können im Sinne einer "Pilotflora" durch das Freiwerden von Wasser nachfolgend anderen Schimmelpilzen und später Bakterien Lebensraum für das Wachstum in dem Substrat bieten. Feuchte Futtermittel und Silagen verderben durch die große Gruppe der "Verrottungspilze". Besonders Mucoraceen, Trichoderma und *Monascus ruber* sind häufige Verderber sehr feuchter Substrate.

5.2.1 Vorbeugende Maßnahmen bei Einlagerung

- Hygiene bei der Ernte und Einlagerung optimieren:
Schmutzanteil, Mähdrescherreinigung usw.
- Kontrolle des Druschgutes auf:
Besatz, Schädlingsbefall usw.
- Lagerungstechnik und Futterlogistik:
Was zuerst eingelagert wird auch zuerst verbrauchen;
Lager reinigen;
kühl und trocken lagern;
- Temperaturkontrolle konsequent anwenden:
Erntegut abkühlen,
Kontrolle monatlich wiederholen,
bei Temperaturanstieg häufiger:
- Konservierungsverfahren auf Bedürfnisse abstimmen:
Auswahl nach Feuchtegehalt und Lagerdauer durchführen.
Schlagkraft durch chemische Verfahren erweitern usw.
- Verkürzung der Lagerdauer:
alsbaldiger Verbrauch bei kritischem Feuchtegehalt

5.2.2 Chemische Konservierung

Durch die in der Praxis bekannten chemischen Konservierungsverfahren, wie mit Propionsäure, Futterharnstoff und Natronlauge lässt sich Schimmelpilzwachstum wirksam unterdrücken. Dies kann ebenfalls mit Natriumdisulfit oder Ammoniak erfolgen. Bei Propionsäure liegen derzeit keine Hinweise vor, einmal gebildete Mykotoxine zu reduzieren. Dagegen sind die anderen o. g. Konservierungsstoffe mit einem gewissen reduzierenden Potential verbunden (Abb. 19).

4BMaßnahmen zur Vermeidung von Schimmelpilzbefall und Mykotoxinbildung

Wenn auch dies wissenschaftlich noch nicht vollständig bis zu Fütterungsversuchen belegt ist, kann zumindest für die Konservierungsverfahren mit Harnstoff oder Natronlauge (Sodagrain) auf einen sogenannten Mitnahmeeffekt verwiesen werden, der dann sinnvoll ist, wenn aus Gründen der Erhöhung der Schlagkraft der Konservierung diese Verfahren eingesetzt werden.

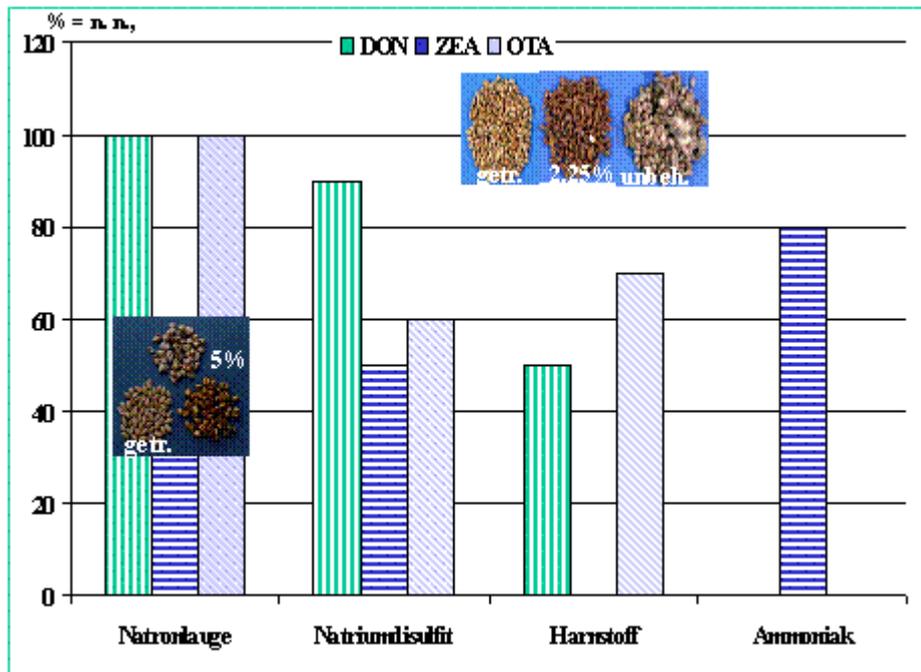


Abb. 19: Reduzierung von Mykotoxinen durch chemische Konservierung von Getreide

5.2.2.1 Konservierung von Getreide mit Futterharnstoff für Wiederkäuer

Futterharnstoff ist ein Futterzusatzstoff und unterliegt somit der Futtermittelhygiene-Verordnung (Anlage II). Futterharnstoff mit feuchtem Getreide gemischt ermöglicht eine stabile Lagerung über längere Zeit. Feuchtes Getreide (Feuchtegehalt > 18 - 25 %), wird mit 2,25 kg Futterharnstoff (Prills) je 100 kg Getreide gemischt (Solldosierung).



Abb. 20: Konservierung mit Harnstoff

Unter 18 % Getreidefeuchte ist noch eine Zugabe von 0,5 Liter Wasser je 100 kg Getreide erforderlich. Bei dieser Reaktion wird Wärme frei, so dass sich das behandelte Getreide auch bis zu 50° C erwärmen kann. Die konservierende Wirkung erfolgt durch die starke

4BMaßnahmen zur Vermeidung von Schimmelpilzbefall und Mykotoxinbildung

fungizide Wirkung des freiwerdenden Ammoniaks, das durch die mikrobielle Spaltung von Harnstoff entsteht. Harnstoff wird dabei unter Anwesenheit von genügend Wasser durch das Enzym Urease in Kohlendioxid und Ammoniak zerlegt. Die Freisetzung erfolgt in mehreren Reaktionsschritten über Ammoniumkarbaminat, -karbonat und -bikarbonat und endet in einem Zersetzungsgleichgewicht zwischen Ammoniumkarbonat, Ammoniak und Ammoniumbikarbonat, das eine längere konservierende Wirkung bedingt.

Nach dem Mischen muss das Getreide in einem Flachlager mit Folie abgedeckt werden, um die Verteilung des gebildeten Ammoniaks zu verbessern und ein Entweichen zu erschweren. Eine luftdichte Abdeckung ist nicht erforderlich. Bei starker Erwärmung und sehr starker Kondensatbildung unter der Folie sollte eine Entlüftung erfolgen. Normalerweise ist nach dem Abklingen der Umwandlung des Futterharnstoffs auch ein Abklingen der Temperatur im Lager verbunden. Nach vier Wochen kann die Folie entfernt und mit dem Verfüttern begonnen werden. Das mit Futterharnstoff konservierte Getreide verfärbt sich braun bis dunkelbraun (Abb. 20). Je höher die Ammoniakkonzentration, umso dunkler ist die Verfärbung. Das behandelte Getreide verklebt und ist nicht mehr rieselfähig. Daher ist eine Lagerung in einem Hochsilo ausgeschlossen. Wird das behandelte Getreide aus dem Flachlager entnommen, kann es durch leichtes Pressen z.B. mit der Radladerschaufel wieder fließfähig gemacht werden. Über eine Schnecke lässt sich das Getreide einer Quetsche oder Mühle zur weiteren Verarbeitung zuführen. In die Rationsplanung ist die Rohproteinerhöhung als NPN zu berücksichtigen (Tab. 18).

Tab. 18: Rohproteinerhöhung (% Punkte) und Ammoniakgehalte bei unterschiedlicher Harnstoffdosierung zu Gerste, Weizen und Mais.

Harnstoff (%)	Rohproteinerhöhung	Ammoniakgehalt % NH ₃
1,5	3,2	0,49
2,25	4,0	0,60
2,5	4,3	0,64
2,75	4,5	0,68
3,0	4,8	0,72
4,0	5,8	0,87

5.2.2.2 Konservierung mit Natronlauge

Unter dem Begriff "Sodagrain" wird die Behandlung von Getreidekörnern mit "Ätznatron" (Natriumhydroxid, NaOH, E524), verstanden. Dieses Verfahren eignet sich insbesondere in der Wiederkäuerfütterung unter Einsatz von Futtermischwagen. Getreide wird dabei mit Natriumhydroxid (Schuppen, Perlen, Pellets) gemischt (ca. 10 Min.); anschließend wird die notwendige Wassermenge (ca. 20 l/dt) dazugegeben, um bei längerem, intensiverem Mischen eine Endfeuchte von 25-30 % zu erzielen. Im Flachlager kann durch weiteres Mischen (nach 1-2 Tagen) die Rieselfähigkeit erhalten werden, die im Hochsilo nicht gegeben ist.



Abb. 21: Konservierung mit Natronlauge. Karbonatkristalle können sehr spitz und hart sein, d. h. vor dem Füttern mit Wasser anmischen, um die Kristalle aufzulösen, damit Darmverletzungen vermieden werden..

Die Dosierung ist je nach Getreideart unterschiedlich:

- Weizen 2,5-3 %,
- Gerste 3,5 %,
- Hafer, 4 %,
- Mais 5 %,
- Rapssaat 5 %.

Nach 8-10 Tagen kann das behandelte Getreide verfüttert werden. Die Lagerdauer ist vorsorglich auf 6 Monate zu begrenzen (insbesondere in den Sommermonaten).

Das mit Natronlauge behandelte Getreide wird mürbe und ohne Mahlen oder Quetschen verfüttert. Körner im Kot von Kühen, und damit Verluste, können vor allem bei wieder abgetrockneten Körnern beobachtet werden (Abb. 21). In der Praxis wird daher ein weiteres Aufquellen der Körner durch Wasserzugabe vor dem Verfüttern erreicht. Die Verfütterung wird nur bei Milchkühen propagiert. Durch die Ätznatronbehandlung wird der Stärkeabbau im Pansen reduziert. Verbunden mit dem hohen pH 11-12 des behandelten Getreides lässt sich der pH-Wert im Pansen bei hoher Getreideaufnahme gegenüber Getreideschrot besser stabilisieren.

Beim Einsatz von Sodagrain wird Natrium über den Bedarf gegeben. Durch die hohe Na-Aufnahme steigt der Wasserbedarf der Tiere an. Bei der Verfütterung von aufgeschlossenem Stroh wurde in eigenen Untersuchungen ein Mehrbedarf von ca. 10 % beobachtet. Der freie Zugang zum Tränkwasser ist daher wichtig.

Die Reduzierung von Mykotoxinen wurde in den dargestellten Verfahren analytisch nachgewiesen und muss noch in Fütterungsversuchen bestätigt werden, wobei der Vorteil der geringeren Mykotoxinbelastung vom Feld bei früherer Ernte, die durch die chemische Konservierung schon möglich ist, ohnehin gegeben ist.

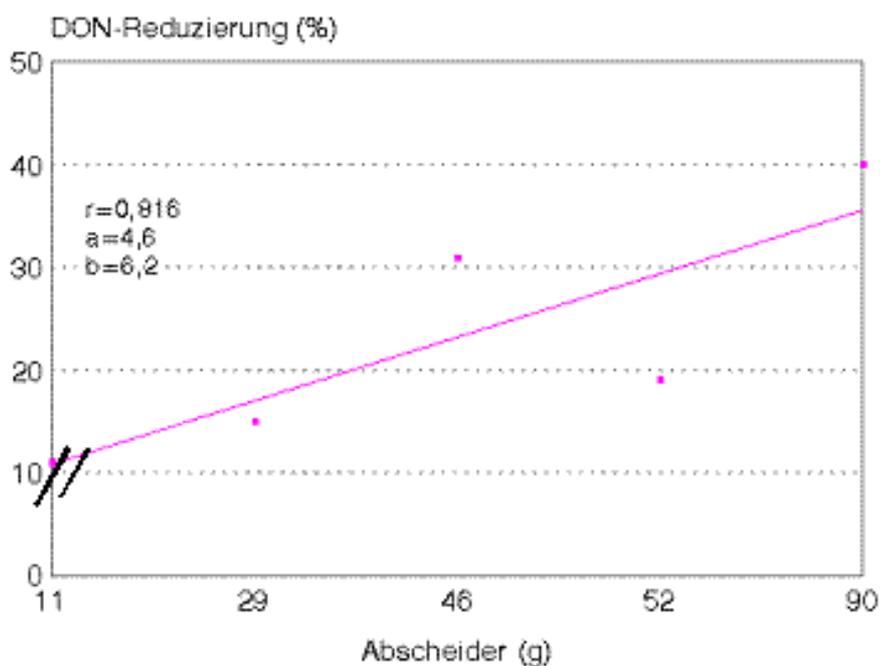
5.2.3 Reinigung von Getreide

Aus der Saatguterzeugung ist bekannt, dass sich die Qualität der Waren durch geeignete maschinelle Aufbereitung verbessern lässt. Die dafür verwendeten Maschinen wie Windsichter, Sieb, Trieur, Tischausleser oder pneumatischer Sortiertisch trennen das Erntegut nach den jeweiligen Sortiereigenschaften der Samen auf. Dabei werden sowohl die Samen unerwünschter Pflanzenarten als auch schlecht ausgebildete Samen der zu bearbeitenden Art aus der Grundmasse entfernt. Fusarium erkranktes Getreide ist bereits optisch an einer uneinheitlichen Ausbildung der Samen und unterschiedlichen Färbungen der Samenschale zu erkennen. Die erkrankten Samen sind häufig geschrumpft und weisen einen hellen, stumpfen Farbton auf. Ursache dieser sichtbaren Veränderungen sind die verminderte Einlagerung von Assimilaten in das Endosperm und das Myzel des Pilzes, das den Samen völlig durchdringt. Es bestand daher der Grund zur Annahme, dass sich die erkrankten Samen in einigen Sortiereigenschaften von den gesunden Samen unterscheiden. Als einfachste Aufbereitungsmaschine mit dem höchsten Durchsatz kommt hierfür der Steigsichter in Frage, der die Samen nach Sinkgeschwindigkeiten trennt. Um das Getreide für die Futtermittelherstellung qualitativ aufzuwerten, ist es natürlich auch wichtig zu wissen, ob mit der leichten Fraktion (Abgang) besonders die mit DON belasteten Samen aus dem Grundgetreide entfernt werden können.

Die Samenausbildung wird natürlich nicht nur durch den Befall mit Krankheitserregern wie z. B. Fusarien beeinflusst. Sie ist u. a. auch abhängig von der Witterung, dem Standort und dem genetisch fixierten Sortenpotential. Daher kommt es darauf an, die Aufbereitungsmaschinen den jeweiligen Gegebenheiten anzupassen und vor der eigentlichen Aufbereitung die DON-Gehalte in der verbleibenden Grundmasse zu kontrollieren. Einstellungen mit etwa 20 % Abgang erscheinen jedoch als optimal, um auch genügend belastete Samen zu entfernen. Einige landwirtschaftliche Betriebe verfügen über Mähdruschnachreiniger oder Anlagen zur Saatgutaufbereitung, die auch für die Aufbereitung von Getreide zur Erzeugung von Futtermitteln geeignet sein könnten. Dabei ist nur der Steigsichter zur Abtrennung der spezifisch leichten Samen zu benutzen. Für Betriebe mit vorhandener Technik dürften sich die Kosten auf bis zu ca. 15.- EURO je Tonne belaufen. Der Abgang ist zu entsorgen. In Untersuchungen der TLL wurden insgesamt 15 Proben Winterweizen mit bekannten DON - Gehalten mittels eines Laborsteigsichters in eine spezifisch leichte und eine spezifisch schwere Fraktion getrennt. Dies betraf 6 Proben mit hohen, 4 Proben mit mittleren und 5 Proben mit niedrigen DON-Gehalten aus der Ernte 2000 (Tab. 19). Die Fraktionen wurden danach gewogen und anschließend der Gehalt an DON bestimmt. Der Luftstrom im Laborsteigsichter war eingestellt, um etwa 20 - 25 % der Samen aus der Grundmenge auszutragen. Er lag mit einer Fördermenge von 82 m³/h über der für Saatgut üblichen Einstellung. Die Aufbereitung führte bei allen Proben mit mittleren und hohen Gehalten zu einer merklichen Verminderung der DON-Gehalte in der verbleibenden Grundmenge, so dass nur noch vier Proben bedenkliche Gehalte von über 1 mg/kg aufwiesen. Doch auch hier waren die DON-Gehalte im Vergleich zu den Originalproben in einem Bereich von 75 - 348 % zurückgegangen. 20 % Abgang sind optimal, um genügend belastete Samen auszusortieren.

Tab. 19: Einfluss der Aufbereitung durch Windsichtung auf den DON-Gehalt

Proben-Nr.	DON-Gehalte (mg/kg)			Anteil Abgang (%)
	Original-probe	aufbereitete Probe	Abgang	
1	< NG	0,11	0,81	11,9
2	0,22	0,14	2,8	19
3	1,2	0,6	5,6	11,1
4	< NG	0,03	0,13	45,2
5	3,5	1,9	13,6	14,4
6	2,5	0,87	8	13
7	2	1,5	7	13,6
8	0,61	0,2	1,1	23,3
9	< NG	0,02	0,05	22,7
10	4,6	1,6	14	30,3
11	< NG	0,04	0,19	22,9
12	< NG	0,03	0,05	23,8
13	2,6	1,2	5,9	23,8
14	0,72	0,44	2	31,9
15	0,26	0,31	2,1	13,7



Probenreiniger (Fa. Pfeuffer)

Abb. 22: Reduzierung von DON durch Reinigung

In Abb. 22 ist ein Ergebnis aus Untersuchungen der LfL zur Reinigung von stark mit Fusarium befallenen Weizen dargestellt. Mit zunehmenden Abscheidermengen steigt die Reduzierung der DON-Gehalte in der Reinware an. Dies bedeutet in diesem Fall eine Abnahme in dem zu verfütternden Getreide.

Fusarium Baden-Württemberg 1999; Wirkung der Getreidereinigung (2 Standorte, 6 Sorten)

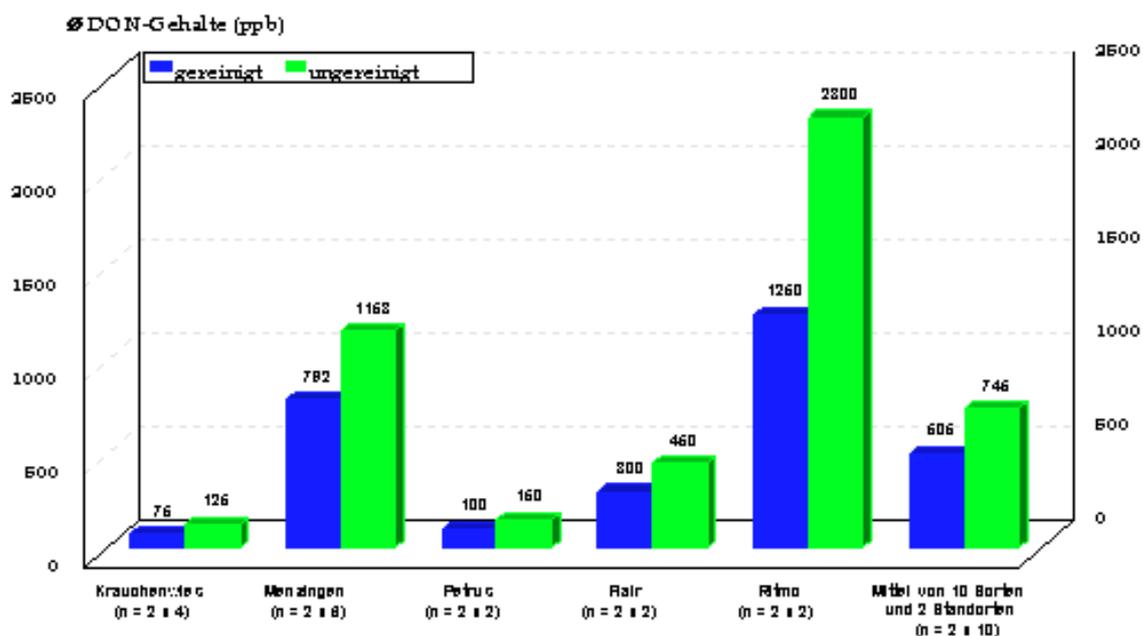


Abb. 23: Wirkung der Getreidereinigung bei DON-belastetem Getreide

Die Reinigung von belastetem Getreide sollte besonders in Ferkelerzeugerbetrieben wegen der höheren Tierempfindlichkeit durchgeführt werden. Sie ist vor der Konservierung und Lagerung einzuordnen (Abb. 23).

5.3 Sicherung der aeroben Stabilität von Silagen

Nährstoff- und trockensubstanzreiche Silagen werden an der Anschnittfläche oft warm. Die Kahlhefen bauen explosionsartig den Restzucker und die Milchsäure unter Lufteinfluss zu Kohlendioxid, Wasser und thermischer Energie ab. Wiedererwärmung von Silage bringt pro 10 K Erwärmung einen täglichen Energieverlust von 0,1 MJ NEL pro kg Trockenmasse. Der nachfolgende Anstieg von pH-Wert, Temperatur und Wassergehalt in den Silagen beschleunigt die Schimmelbildung und Fäulnis der Gras- und Maissilagen.

5.3.1 Folgende Maßnahmen verbessern die aerobe Stabilität von Silagen:

- Verringerung der Keimbelastung bei der Ernte, beim Anwelken und bei der Bergung der Siliergüter.
- Verringerung der Hefekonzentration in den Silagen durch Reduzierung der Sauerstoffverfügbarkeit bei der Einlagerung und in der Hauptgärphase, d.h. Lagerdichten über 230 kg TM. je m³ und zügigem Verschließen des Silos.
- Trockenmassegehalt des Siliergutes von maximal 35 bis 40 % bei Grassilage und 30 – 35 % bei Maissilage.
- Optimierung der Anschnittflächen, z.B. für die Sommerfütterung flachere Silostapel oder in Folienschläuchen bzw. Ballen silieren, Vorschub einplanen.
- Silobefüllzeiten von maximal 2 Tagen, am besten innerhalb eines Tages.
- Reduzierung der Gasdurchlässigkeit durch geeignete Folien, Abdeckung und Silowände.
- Häcksellängen von maximal 6 bis 8 mm bei Silomais und maximal 40 mm bei Gras.

4B Maßnahmen zur Vermeidung von Schimmelpilzbefall und Mykotoxinbildung

- Schnelle pH-Wertsenkung durch Siliermitteleinsatz.
- Einsatz von Silier- bzw. Konserviermitteln mit dem Gütezeichen der DLG, welche den oxidativen Abbau der Milchsäure durch Hefen reduzieren bzw. verhindern, d.h. biologische Siliermittel mit heterofermentativen Milchsäurebildnern, welche neben der Milchsäure, trotz geringfügig höherer Silierverluste, kurzkettige Fettsäuren, wie Essigsäure oder eventuell Propionsäure liefern.
- Konservierungsmittel, wie z.B. Propionsäure, Benzoesäure, Sorbinsäure, Sulfid, Ameisensäure, Harnstoff, Kochsalz, Nitrit, insbesondere für instabile Oberflächen.
- Zuckerhaltige Zusätze, wie z.B. Melasse sollten nur bei extrem zuckerarmen Siliergütern zugesetzt werden, da sonst mit einer starken Hefevermehrung, sowohl in der Hauptgärphase als auch bei der Auslagerung der Silagen, zu rechnen ist.

5.3.2 Maßnahmen bei Nacherwärmung

- sind oft wenig wirksam bzw. sehr teuer. Das Reagieren auf eine Silagenacherwärmung beschränkt sich auf folgende Maßnahmen:
- Vermeidung jeglicher Auflockerung und Zwischenlagerung der Silage,
- Erhaltung der Lagerdichte der Silage im Silo bei der Entnahme durch geeignete Entnahmetechnik (Blockschneider, Fräsen),
- Wenn Zwischenlagerung nicht vermeidbar ist, dann nur in Blöcken oder Ballen nicht als aufgelockertes Schüttgut lagern,
- Oberflächenkonservierung mit Säuren oder Salzen Wirken nur bis zur Eindringtiefe,
- Erhöhung des täglichen Entnahmevorschubes (im Sommer > 40 cm/Tag, im Winter >20 cm/Tag), bei einer Temperatur von < 10 °C geht die Aktivität der Hefen deutlich zurück,
- Umsilieren bzw. Intervallentnahme wenn zusätzlich Probiensäure oder Ammoniumpropionat zur Stabilisierung eingebracht, festgewalzt und ca. 14 Tage luftdicht abgedeckt werden kann. So könnten auch Futtermischungen siliert (Vorrats-TMR) werden. Der Vorschub könnte dann neu eingestellt werden.

5.4 Fütterungsmaßnahmen

(Quelle: Dänicke et al. 2000; FAL Braunschweig)

Schimmelpilze sind aufgrund ihrer enzymatischen Aktivität generell am Abbau organischer Substanzen in Futtermitteln beteiligt. Dies verschlechtert die Futterqualität infolge der Reduzierung des Nährstoffgehaltes. Eine Verschiebung des pH-Wertes bzw. die Bildung niedermolekularer Abbauprodukte kann zusätzlich Störungen der Tiergesundheit hervorrufen. Schimmelpilzsporen sind allergene Substanzen für Mensch und Tier. Besonders bei Sportpferden ist bekannt, dass das Auftreten einer hohen Schimmelpilzemission in der Stallluft zu Atemwegsproblemen führt.

Geflügel und Pferde sind für die Ausprägung von Systemmykosen besonders empfänglich. Aspergillosen des Hühnergeflügels bei hochbelasteter Einstreu und verschimmeltem Futter führen zu gehäuften Todesfällen bei Jungtieren sowie schwer diagnostizierbaren Leistungsdepressionen. Als Systemmykosen müssen auch Erkrankungen durch Hefen angeführt werden. Im Gegensatz zu Schimmelpilzen ist die krankmachende Wirkung durch Hefen stets an deren Vermehrung im Organismus geknüpft, so dass im Futtermittel nur den, im Tierkörper vermehrungsfähigen Arten Beachtung zu schenken ist. Der Übergang der Hefen im Organismus zur pathogenen Mycelform sowie die Bildung von sauren Phosphatasen, zellwandgebundenen Proteasen und Phospholipasen sind wesentliche Virulenzkriterien von im Organismus vermehrungsfähigen Hefen, die besonders beim Ferkel und

4B Maßnahmen zur Vermeidung von Schimmelpilzbefall und Mykotoxinbildung

Kalb zu Durchfällen führen können. Schwerwiegende Gesundheitsstörungen können auch aus der Aufnahme der durch Schimmelpilze gebildeten Mykotoxine resultieren.

Ausgehend von der unterschiedlichen Sensibilität zwischen den Nutztierarten und der dominierend auf Getreide beruhenden Rationszusammensetzung treten die meisten Mykotoxikosen beim Schwein auf. Besonders empfindlich sind die Schweine während der Trächtigkeit, der Säugezeit und in der Aufzuchtphase.

Bei Wiederkäuern ist davon auszugehen, dass die Mykotoxine teilweise in den Vormägen durch die Mikroorganismen metabolisiert werden, wie dies beispielweise für DON in das weitgehend untoxische de-epoxy DON erfolgt. Letzteres wird dann vorwiegend mit dem Urin ausgeschieden. Damit haben mykotoxinbedingte Erkrankungen und Leistungsdepressionen eine geringere Bedeutung als bei Schweinen. Auch Geflügel ist weniger empfindlich.

Die durch die Schimmelpilztoxine verursachten Krankheitssymptome sind meist multi-kausal und können auch durch Infektionen oder Fütterungsfehler hervorgerufen werden. Deshalb ist vor der Einleitung von Gegenmaßnahmen eine entsprechende Ursachenabklärung erforderlich. Erfahrungen zeigen dabei, dass oftmals Leistungsdepressionen oder Erkrankungen bereits bei noch moderater, eventuell langanhaltender Mykotoxinbelastung in Verbindung mit einer angespannten Tiergesundheitssituation auftreten können.

Während die Vermehrung des Feldpilzbesatzes oder das Auftreten von Lagerpilzen nur über die ordnungsgemäße Einlagerung und gegebenenfalls durch den Zusatz konservierender Säuren zu vermeiden ist, lassen sich nach Dänicke et al. (2000) zwei Bereiche zur Detoxifikation mykotoxinbelasteter Futtermitteln abgrenzen. Von den bei der Futtermittelbearbeitung bekannten Maßnahmen wurde bereits auf den günstigen Effekt der Getreidereinigung verwiesen. Demgegenüber bewirkt eine kurzzeitige Erhitzung keine wesentlichen Abbaueffekte, da Trichothecene sehr hitzestabil sind. Auch bei der Silierung tritt keine Reduzierung von DON ein. Während der Zusatz von Propionsäure den bereits vorhandenen Mykotoxingehalt nicht reduziert, ist bei der Konservierung mit Futterharnstoff oder Natronlauge (Soda-grain) ein Mykotoxinabbau zu erwarten. Das Siliergut ist dann jedoch nur in der Wiederkäuerfütterung einsetzbar. Der Zusatz von Natrium-Metabisulfit ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) mittels hydrothermischer Behandlung führte zur sehr deutlichen DON-Reduzierung. Da es sich jedoch mit der Konditionierung um eine technisch sehr aufwendigen Methode handelt, sollten einfachere Verfahren zur Anwendung von Natrium-Metabisulfit geprüft werden.

Als weitere Möglichkeit wird die Detoxifikation während der Fütterung angesehen. Dazu werden von mehreren Herstellern als Mykotoxinbinder beworbene Futterzusätze angeboten. Durch ihre kurzfristige und einfache Handhabung über eine Futterzumischung gibt es für diese Produkte bei den Landwirten ein großes Interesse. Die Adsorbentien (z. B. Bentonit, Zeolith, usw.) sollen dabei im Verdauungstrakt Mykotoxine an sich binden und dann ausgeschieden werden, was eine reduzierte Mykotoxinresorption über die Darmwand bewirken soll. Diese Wirkung konnte bei Aflatoxin B1 bzw. Ochratoxin A aufgezeigt werden, wogegen sie für die Trichothecene bzw. für Zearalenon nicht bzw. in nur geringem Umfang zutrifft. Nachweisbar geht auch von Mikroorganismen ein detoxifizierendes Potential aus, wobei die aus dem DON-Abbau resultierenden Verbindungen keine nachteiligen Leistungseffekte bewirkten. Die mit dem Einsatz solcher Produkte, (Mykotoxinbinder) von Praktikern beobachteten positiven Effekte ließen sich jedoch bisher in gezielten wissenschaftlichen Versuchsanstellungen nicht eindeutig nachweisen und quantifizieren.

4B Maßnahmen zur Vermeidung von Schimmelpilzbefall und Mykotoxinbildung

Da der Einsatz der firmenpatentierten Mykotoxinbinder zu einer merklichen Steigerung der Futterkosten führt, sollte deshalb im vorab über eine Futteruntersuchung Kenntnis zur spezifischen Mykotoxinbelastung vorliegen, um den Erfolg der Maßnahme in Relation zum Kostenaufwand abzuschätzen.

Mit der alternativen Verwendung von Bierhefe lässt sich eine für die Stabilisierung der Abwehrkraft günstige Ergänzung durch Aminosäuren und Vitamine des B-Komplexes erzielen. Bei einer Zumischung von 2 bis 3 % ergibt sich dabei noch ein Kostenvorteil gegenüber den speziellen Mykotoxinbindern.

Ein hoher Mykotoxineintrag, besonders von Trichothecenen, belastet die Leber und schränkt ihre Entgiftungsfunktion ein. Zunehmende Zellschädigungen führen zur Herabsetzung der Abwehrkräfte. Als erfolgversprechende Gegenmaßnahme bei derartigen Fütterungsschäden hat sich die Gabe hoher Dosierungen der die Immunabwehr stabilisierenden Vitamine C und E bewährt. Ebenfalls sollen erhöhte Anteile der Spurenelemente Eisen, Selen und Mangan die Abwehrfunktion stabilisieren. Demgegenüber bleiben Behandlungen mit Antibiotika oder anderen Medikamenten in der Regel ohne Erfolg.

Empfehlungen:

- verdächtige Partien analysieren.
- Reinigungsmöglichkeiten nutzen.
- Rationsgestaltung: Futter mit höherer Belastung bei empfindlichen Tieren (krank, jung usw.) meiden; Orientierungswerte beachten Höchstwerte einhalten.
- Mykotoxinbinder nur ergänzend einsetzen; Kosten und mögliche Wirkung beachten.

6 Nachweismethoden

6.1 Probenahme

Die Probenahme spielt bei der Ermittlung einer realistischen Mykotoxinbelastung eine entscheidende Rolle. Durch die Ungleichverteilung des Pilzes und der Toxine innerhalb eines Futterstocks ist es erforderlich, an vielen Stellen Proben zu entnehmen, um dann aus dieser Sammelprobe eine repräsentative Laborprobe zu gewinnen. Eine rechtliche Empfehlung zur Probenahme bei Futtermitteln basiert auf den Angaben der Futtermittelprobenahme- und Analyseverordnung. Folgende Empfehlungen zur Probennahme von Futter und Lagergetreide werden gegeben:

- 7 bis 40 möglichst gleich große Einzelproben in Abhängigkeit von Tonnage an verschiedenen Stellen der Partie entnehmen
- zu einer Sammelprobe durch intensives Vermischen vereinen
- Geeignete Probenahmegeräte verwenden (Schaufel oder Stecher)
- zu einer Endprobe von ca. 1 bis 2 kg reduzieren (z.B. Flächenausgrenzung durch Bildung von Diagonalen einer kreisförmig ausgebreiteten Sammelprobe; Probeteiler)
- Weitere Homogenisierung erfolgt im Labor
- Endprobe in einen sauberen dichten Plaste- oder Papierbeutel verpacken und eindeutig kennzeichnen
- Protokoll zur Probenahme beilegen
- Auf schnellstem Wege zur Untersuchung einsenden

6.2 Mykologische Untersuchungen

6.2.1 Mykologische Untersuchung von Frischpflanzen

Zur Isolierung und Differenzierung der Fusariumarten aus Frischpflanzen werden vorrangig Anzüchtungsverfahren auf geeigneten Nährböden verwendet. Zur Anwendung empfehlen sich:

- PCR-Analytik;
- ELISA-Tests, die bisher nur gattungsspezifisch geführt werden können;
- Nachweis polysaccharidabbauender Enzyme, weitgehend unspezifisch.

6.2.2 Mykologische Untersuchung von Konservaten und Mischfuttermitteln

Gängige Praxis sowohl in der Phytopathologie als auch in der Futtermittelmikrobiologie ist die:

- **Mikroskopische Untersuchung von Präparaten aus makroskopisch sichtbar verschimmeltem Material.** Farbe des Rasens, Mycelbildung, Vorhandensein von Sporangien, Konidienträger, Form und Größe der Konidien, Auffinden von sexuellen Fruktifikationsorganen usw. können zumeist eine Gattungs- in einzelnen Fällen auch eine Speziesdiagnose ermöglichen und eine anschließende Kultivierung ersparen. Mittels angebotener
- **ELISA-Tests** können bestimmte Pilzarten z.B. Aspergillen und Penicillien semiquantitativ nachgewiesen werden.
- Die **PCR-Technik** bietet zunehmend die Möglichkeit, besonders toxische Schimmelpilze (z.B. Fusarien) nachzuweisen.

Die gängigste Methode, die auch eine quantitative Beurteilung des Hefen- und Schimmelpilzgehaltes ermöglicht, ist die Kultivierung auf festen Nährmedien. Bei der Untersuchung von Getreide existieren dabei zwei prinzipiell unterschiedliche Herangehensweisen, die in verschiedenen Laboratorien bei abweichender Fragestellung gleichberechtigte Gültigkeit haben.

1. Die Bestimmung der **Infektionsrate** (%). Insbesondere bei der Beurteilung der Befallshäufigkeit von Getreide mit Fusarien bietet sich an, die Körner nach einer Oberflächendesinfektion auf Differentialnährböden auszulegen, zu bebrüten, die befallenen Körner zu zählen und das Ergebnis prozentual auszudrücken.
2. Die Bestimmung des Gehaltes an Schimmelpilzen mittels **Keimzählverfahren** (KbE/g Futter). Die zermahlene Probe wird eingewogen, in einer Suspensionslösung geschüttelt, verdünnt und eine definierte Menge davon auf Nährböden ausgestrichen bzw. im Plattengussverfahren eingebracht. Nach mehrtägiger Bebrütung werden die entstandenen Pilzkolonien ausgezählt und differenziert. Das Ergebnis lässt eine Hochrechnung der Keimbelastung/g Futtermittel zu.

Ebenso entscheidend wie die Wahl der richtigen Methode sind die Art der Probennahme sowie die generelle Vorgehensweise bei mykologischen Untersuchungen entsprechend der Fragestellung.

6.3 Mykotoxikologische Untersuchungen

Generell gibt es für den routinemäßigen Nachweis von Mykotoxinen drei Verfahren: physikalisch-chemische, immunochemische und biologische Analysemethoden.

6.3.1 Physikalisch-chemische Nachweisverfahren

Zu diesen Nachweisverfahren zählt die **Hochleistungsflüssigkeits-chromatographie (HPLC)**, wie sie im Bereich der Spurenanalytik organischer Verbindungen zum Einsatz kommt. Kombiniert mit Massenspektrometer wird sie auch zur Strukturaufklärung neuer Toxinverbindungen eingesetzt. Diese Analysensysteme gewährleisten sehr zuverlässige Analysenwerte, sind jedoch sehr teuer in der Anschaffung und im Betrieb und erfordern hohe Qualifikationen des Bedienungspersonals. Im Laborbetrieb wird für die Analytik von Zearalenon (ZEA) und Deoxynivalenol (DON) hauptsächlich die HPLC mit UV- bzw. Fluoreszenzdetektion, eingesetzt.

Die nachzuweisenden Toxine werden in der Regel mit Methanol/Wasser oder Acetonitril/Wassergemischen durchgreifend aus der Probe extrahiert. Diesem Schritt folgt eine Aufreinigung des Rohextraktes, im Falle von DON mittels Aktivkohle-Aluminiumoxid-Celite Mischungen, für andere Toxine an Kieselgur (Si) - oder Umkehrphasenmaterial (C18) unter Verwendung bereits fertig gefüllter Minisäulen. Je nach Probenmatrix muss der Extrakt zusätzlich entfettet werden. In jüngster Zeit werden zunehmend Immunoaffinitätssäulen (IAS) zur Aufreinigung eingesetzt, die mit geeigneten Antikörpern des betreffenden Toxins beladen sind. Nach selektiver Bindung der Toxine können interferierende Begleitsubstanzen ausgewaschen und anschließend die Toxinfraktion durch Degeneration der Antikörper von der Säule eluiert und analysiert werden. Diese Säulen zeichnen sich durch hohe Selektivität aus. Ein weiterer Vorteil ist die mögliche Aufkonzentrierung der Toxine, so dass bei diesem Verfahren niedrige Nachweisgrenzen erzielt werden können. Zu beachten ist, dass die Immunoaffinitätssäulen eine begrenzte Toxinkapazität haben (wird vom Hersteller zertifiziert), das heißt, beim Auftragen zu hoher Konzentrationen ist mit Verlusten zu rechnen. Oberhalb rechnerisch zu ermittelnden Endkonzentrationen muss dieser Reinigungsschritt mit verringertem Aufgabevolumen wiederholt werden.

Die Quantifizierung der Toxine erfolgt nach Trennung auf Umkehr- oder Normalphasenchromatographie mittels UV- oder substanzspezifischer Fluoreszenzdetektion. Diese Methode zeichnet sich durch hohe Empfindlichkeit und Zuverlässigkeit aus. Die Messung mittels HPLC lässt sich durch geeignete Probenaufgabesysteme und Labordatensysteme sehr gut automatisieren. Der Zeit- Kosten- und Personalaufwand für die Probenvorbereitung ist allerdings hoch und erfordert fachliche Qualifikationen.

6.3.2 ELISA-Verfahren

Immunochemische Reaktionen, die die Grundlage der heute bereits gut ausgetesteten und für einige Toxine zur Verfügung stehenden **ELISA-Tests** (Enzym-Linked-Immunosorbent-Assays) sind, können mit vergleichsweise geringem technischen Aufwand durchgeführt werden und zeichnen sich durch eine einfache Probenvorbereitung aus. Das Messprinzip beruht auf einer Antigen-Antikörper-Reaktion, die photometrisch sichtbar gemacht wird. Nachteil dieser Tests sind die Kreuzreaktionen der Antikörper mit strukturverwandten Substanzen, die zu falsch positiven Befunden führen können. Die Genauigkeit solcher Tests hängt auch hier vom Aufwand in der Probenvorbereitung ab. ELISA-Test ist deshalb nicht gleich ELISA-Test. Es werden qualitative, halbquantitative und quantitative Tests unterschiedlicher Güte angeboten. Prinzipiell gelten aber die in Punkt 6.3.3 gemachten Schlussfolgerungen für alle diese Tests.

Die Extraktion der nachzuweisenden Toxine erfolgt üblicherweise mit Pufferlösungen oder Methanol/Wassergemischen mit niedrigem Alkoholanteil, um die Antikörper bei der Extraktzugabe nicht zu zerstören.

Die Probelösung wird zusammen mit enzymmarkiertem Toxin (Enzymkonjugat) in die Vertiefungen der Mikrotiterplatte pipettiert. Freies und enzymgebundenes Toxin konkurrieren um die Antikörperbindungsstellen. Nichtgebundenes enzymmarkiertes Toxin wird anschließend in einem Waschschriff wieder entfernt. Der Nachweis erfolgt durch Zugabe eines Chromogens, welches mit dem an die Antikörper gebundenen Enzymkonjugat eine Farbreaktion eingeht. Nach Zugabe eines Stoppreagenzes erfolgt die photometrische Messung bei charakteristischen Wellenlängen. Die Extinktion der Lösung ist umgekehrt proportional zur Toxinkonzentration der Probe. Auf jeder Platte sind mindestens 5 Standardkonzentrationen möglichst in 2 Wiederholungen und eine Referenzprobe mit bekanntem Toxingehalt aufzutragen.

Da die Kapazitäten der Antikörper in den Kavitäten nicht sehr hoch sind und von Hersteller zu Hersteller stark variieren, sollten pro Probenextrakt auch Verdünnungstufen angegeben werden. Da die Antikörper zu strukturverwandten Verbindungen mehr oder weniger starke Kreuzreaktivitäten aufweisen, kann es zu falsch positiven Gehalten bzw. zu Überbefunden kommen.

6.3.3 Vergleich von Ergebnissen aus HPLC und ELISA Methode

In einem Ringversuch des VDLUFA, Fachgruppe Futtermittel, Arbeitskreis ELISA (LIT) wurden 9 Futtermittelprouben (Weizen, Gerste, Triticale, Mischfuttermittel), eine gespikete Probe und eine Standardlösung bekannter Konzentration mittels verschiedener ELISA Testsysteme auf ihren Gehalt an DON und ZEA untersucht und mit den Ergebnissen der HPLC Bestimmung (VDLUFA Verbandsmethode) verglichen. Teilgenommen haben 16 Labore.

Nach der HPLC-Methode betragen die mittleren DON-Gehalte zwischen 22 µg/kg und 600 µg/kg, die ZEA-Gehalte zwischen <2,5 und 126 µg/kg.

- Die ELISA Ergebnisse für DON und für ZEA lagen deutlich über den Werten der HPLC Bestimmung (40% bis 600%), was auf die Kreuzreaktivitäten der Antikörper bzw. Matrixeffekte zurückgeführt werden muss.
- Die Wiederhol-(V_T) und Vergleichsvariantionskoeffizienten (V_R), die ein Maß für die Messunsicherheit sind, sind im ELISA Verfahren deutlich höher als im HPLC- Verfahren.

Für DON gibt es von mehreren Herstellern sogenannte Dipstick-Tests die lediglich eine Ja-Nein-Entscheidung liefern, d.h. der Gehalt einer analysierten Partie liegt über oder unter einem Grenzwert. Diese Tests erfordern keine besonderen Geräte und Fertigkeiten. Eine Firma verkauft dazu auch ein einfaches Photometer, das eine halbquantitative Auswertung der Teststäbchen ermöglichen soll.

Schlußfolgerung: Die verwendeten Testsysteme erlauben für DON und ZEA eine gute Differenzierung zwischen unbelasteten bzw. gering belasteten und mittel bis hoch belasteten Proben. ELISA-Testsysteme eignen sich als Screeningverfahren zur Erkennung belasteter Proben. Positive ELISA - Ergebnisse müssen in jedem Fall durch ein zweites Verfahren, z.B. HPLC, quantitativ abgesichert werden.

Für Ochratoxin A und andere Mykotoxine liegen keine Vergleichsuntersuchungen vor. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die oben angeführten Ergebnisse generelle Gültigkeit haben.

6.3.4 Biologische Toxizitätstests

Die biologischen Methoden geben über bestimmte Reaktionen am lebenden Tier qualitativen bis halbquantitativen Nachweis über die Anwesenheit von Toxinen. Zu nennen ist hier z.B. der Hauttoxizitätstest für den Nachweis von T-2-Toxin, Zellkulturtests für OTA und Aflatoxin B1 und der Artemia salina-Test. Für die Prüfung komplex zusammengesetzter Futtermittel funktionieren diese Bioassays oft nicht.

Diese Methoden werden vergleichsweise selten verwendet. Sie kommen zum Einsatz, wenn die Gesamtoxizität von Rohextrakten zu prüfen ist. In der Regel müssen dazu verschiedene Bioassays kombiniert werden (z.B: Cytotoxizitäts- und Hauttoxizitätstest). In jedem Fall sind Bioassays interessant, um im Vorfeld wesentlich teurer chemischer Untersuchungen die Toxinproblematik einzugrenzen. Die Zucht und Pflege der Kulturen und Organismen bedarf allerdings auch entsprechender Erfahrung.

6.4 Untersuchungskosten

In den meisten Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten werden immunochemische Aufreinigungsverfahren und chromatographische Nachweismethoden (HPLC, GC, GC-MS) eingesetzt. Diese werden regelmäßig im Rahmen der Qualitätssicherung in Ringuntersuchungen geprüft und bedarfsweise weiterentwickelt. In einigen LUFA'en und beim Tiergesundheitsdienst sowie in vielen Privatlabors kommen daneben auch enzymimmunochemische Nachweismethoden (ELISA) zum Einsatz. Die Kosten betragen bei der chromatographischen Methode je nach Toxin von 55 bis 90 EURO und bei der ELISA-Methode 15 bis 20 EURO. Im Einzelfall sind die Preise telefonisch zu erfragen.

7 Literatur

Die verwendeten Literaturhinweise können bei der Schriftleitung angefordert werden.

