

Schimmelpilze und Mykotoxine in Futtermitteln

(Futtergetreide, Grünfutter, Silage, Heu, Stroh)



Vorkommen, Bewerten, Vermeiden

**Länderübergreifende Zusammenarbeit der Landesanstalten
für Landwirtschaft**

*Die vorliegende Leistung ist Bestandteil des Mehrländerprojektes
„Schimmelpilze und Mykotoxine in Futtermitteln“.*

*Das Mehrländerprojekt wird getragen von den Landesanstalten für
Landwirtschaft der Bundesländer Baden Württemberg (BW), Bayern
(BY), Sachsen (SN) und Thüringen (TH).*

*An der Erarbeitung der vorliegenden Schrift waren folgende Personen
maßgeblich beteiligt:*

Dr. W. Richter; Dr. M. Schuster; Dr. H. Tischner ; Dr. G. Zimmermann;
Dr. P. Doleschel; Dr. R. Beck und Dr. J. Lepschy von Gleissenthall
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. A. Thalmann (Ruhestand)
**Staatliche Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungs-
anstalt Augustenberg**
Nesslerstr. 23
76227 Karlsruhe-Durlach

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung und Problemsicht

2 Die Mykoflora von Futtermitteln

2.1 Beurteilungen der Mykoflora von Getreide

2.2 Beurteilungen der Mykoflora von Heu und Stroh

2.3 Beurteilungen der Mykoflora von Grünfutter und Silagen

3 Die wichtigsten Schimmelpilze und ihre Toxine

3.1 Feldpilze und deren Mykotoxine

3.1.1 Fusarien

3.1.1.1 Vorkommen von Fusarien in Futtermitteln

3.1.1.2 Bedeutung und Auswirkungen von Fusarientoxinen

3.1.2 Schwärzepilze

3.1.2.1 Vorkommen von Schwärzepilzen in Futtermitteln

3.1.2.2 Bedeutung und Auswirkungen von Schwärzepilztoxinen

3.1.3 Mutterkorn

3.1.3.1 Vorkommen von Mutterkorn in Futtermitteln

3.1.3.2 Bedeutung und Auswirkungen von Mutterkornalkaloiden

3.2 Lagerpilze und deren Mykotoxine

3.2.1.1 Vorkommen von Ochratoxin A in Getreide

3.2.1.2 Bedeutung und Auswirkungen von Ochratoxin A

3.2.1.3 Vorkommen von Roquefortin, Fumitremorgene, Monaculin in Silagen

4 Die Beurteilung von Mykotoxingehalten in Futtermitteln

5 Die Maßnahmen zur Vermeidung von Schimmelbefall und Mykotoxinbildung

5.1 Ackerbauliche Maßnahmen gegen Fusarien in Getreide

5.1.1 Das Schadbild

5.1.2 Anfälligkeit der Getreidearten

5.1.3 Abhängigkeit von der Witterung

5.1.4 Ernterückstände

5.1.5 Sortenspezifika

5.1.6 Fungizideinsatz

5.1.7 Gesamtstrategie

5.2 Konservierung und Lagerung von Getreide

5.2.1 Vorbeugende Maßnahmen bei Einlagerung

5.2.2 Chemische Konservierung

5.2.2.1 Konservierung mit Harnstoff

5.2.2.2 Konservierung mit Natronlauge

5.2.3 Reinigung von Getreide

5.3 Sicherung der aeroben Stabilität von Silagen

5.4 Fütterungsmaßnahmen

6 Nachweismethoden

6.1 Probenahme

6.2 Mykologische Untersuchungen

6.2.1 Mykologische Untersuchungen von Frischpflanzen

6.2.2 Mykologische Untersuchungen von Konservaten und Mischfutter

6.3 Mykotoxikologische Untersuchungen

6.3.1 Physikalisch-chemische Nachweisverfahren

6.3.2 ELISA-Verfahren

6.3.3 Vergleich von Ergebnissen aus HPLC- und ELISA-Verfahren

6.3.4 Biologische Toxizitätstests

6.4 Untersuchungskosten

1 Einführung und Problemsicht

Zur Sicherung hoher Leistungen 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 Schäden, und die Ursachenerkennung wird erschwert. Ein bedeutsamer Einflussfaktor auf Gesundheit und Leistung ist die **Futtermittelhygiene**. Besondere Bedeutung dabei haben Schimmelpilze und die von ihnen gebildeten Mykotoxine. Die Schimmelpilze können sowohl die wachsende und reife 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.

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. 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 vorliegendem Material soll ausschließlich auf die Pilze eingegangen werden.

Pilze und ihre Sporen sind ubiquitär verbreitet. Deshalb ist ein bestimmter Besatz unvermeidbar. Geläufig sind die Begriffe "Schimmel", "Schimmelpilz" oder "verschimmelt". Diese Bezeichnungen 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. In das Reich der Pilze (Mycota) gehören auch die Hefen, ebenso wie die Schwärzepilze. Diese sind vermehrt auf Getreide zu finden, das vor der Ernte durch feuchte Witterungsbedingungen geschädigt wurde. Hefen, Schimmel- und Schwärzepilze sind mikroskopisch kleine Mikroorganismen mit echten Zellkernen und einer Kernmembran, die im Gegensatz zu den

Algen auf organische Kohlenstoff-Quellen angewiesen sind. Solche werden u. a. durch Futtermittel reichlich zur Verfügung gestellt.

Die in ertefrischen pflanzlichen Futtermitteln nachgewiesenen **Feldpilze** gehören zu den Gattungen *Alternaria*, *Cladosporium*, *Drechslera*, *Fusarium*, *Stemphylium*, *Uloc-ladium*, *Aureobasidium*, *Epicoccum*, *Acremonium*, *Verticillium*, *Stachybotrys*, *Botrytis*, *Trichothecium*. Sie haben teilweise eine phytopathologische Bedeutung oder leben als Saprophyten 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 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 gehören sie zu der Feldflora, weil sie Futterpflanzen bereits im Feld besiedeln können. Sie sind in einem Futtermittel aber im Sinne einer Lagerflora (Verderbnisflora) zu werten, da sie wegen ihres großen Enzymbesteckes intensive fermentative Fähigkeiten besitzen und somit entscheidend am Stoffabbau, vor allem in Silagen, beteiligt sind.

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

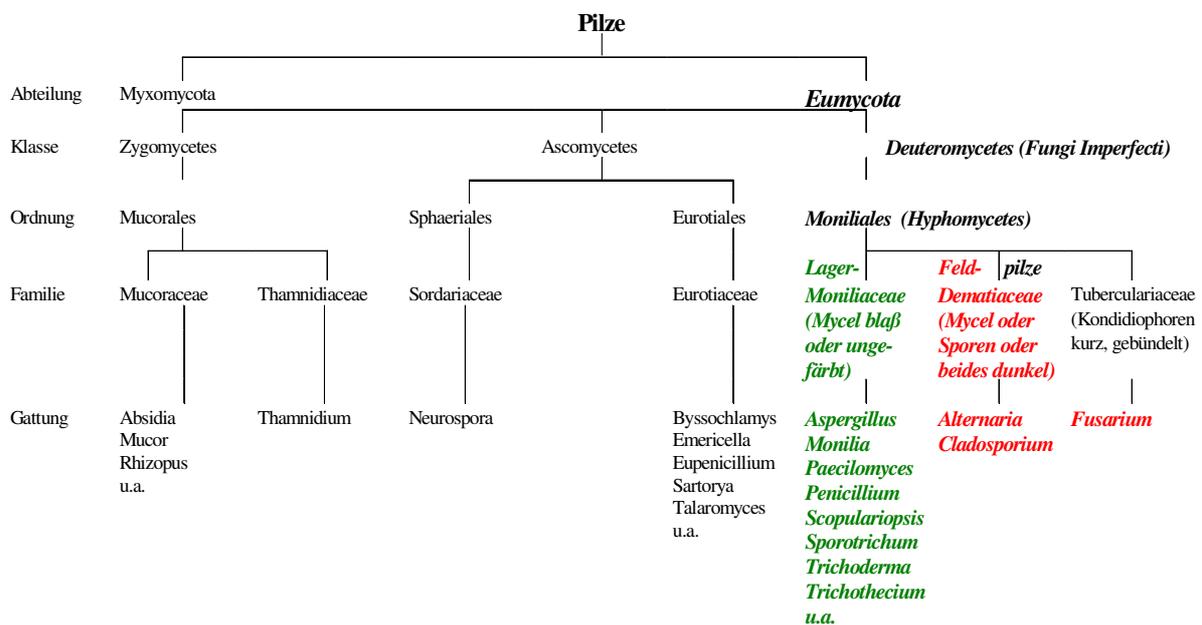


Abbildung 1: Einteilung der Pilze nach Reiß (geändert 1986)

2.1 Beurteilung der Mykoflora von Futtergetreide

Im Arbeitskreis „Futtermittelmikrobiologie“ der Fachgruppe Futtermittel des VDLUFA (SCHMIDT 1991) wurde ein Orientierungswertschema (Tabelle 1) erarbeitet, welches auch für Getreide anwendbar ist. Die Keimzahlen orientieren sich an der besten Qualitätsstufe (QS1).

Tabelle 1: Orientierungswerte für Keimgehalt (nur Pilze in KbE¹⁾ / g 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 |

¹⁾ KbE = Kollonie bildende Einheiten

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 eines Futtermittels wurden 4 Qualitätsstufen (QS I bis IV) festgelegt. Sie ergeben sich zwangsläufig aus den jeweils ermittelten Keimzahlstufen.

Tabelle 2: 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 |

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

Tabelle 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 |

Es ist zu beachten, dass auch die Bakterienflora bei der endgültigen Beurteilung der Qualität zu berücksichtigen ist.

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 Heu und Stroh

Die epiphytische 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 auf Gras Mykotoxine bilden können.

Für Heu kann auch - bis entsprechende sichere Daten vorliegen – folgendes Bewertungsschema für die Pilzkeimzahl angewendet werden.

Tabelle 4: Bewertung der Pilzkeimzahlen von Heu

| QS* | Keimgehalt (KbE/g) | | Bewertung |
|-----|-------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| I | ≤ 10.000 | Niedrig | Sehr gut (Unterdachtrocknungsheu) |
| II | > 10.000 - ≤ 100.000 | Normal | Gut (gutes Bodenheu) |
| III | > 100.000 - ≤ 1 Million | Erhöht - deutlich erhöht | Weniger gut – schlecht |
| IV | > 1 Million | Überhöht - Verdorben | Sehr schlecht |

QS* = Qualitätsstufe

Die Stufe I erreicht nur Heu von Grüngut, das früh geschnitten und unter Dach (warm) getrocknet wurde. In der Fütterung von Hochleistungskühen sollte diese Stufe angestrebt werden, um eine gute Futteraufnahme und hohe Leistungen zu erreichen. Heu der Qualitätsstufe IV ist fütterungsuntauglich.

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 Proteinzufuhr begünstigt wird, wird Heu für Pferde später geworben. Dies führt automatisch zu einem höheren Keimgehalt an Pilzen. Sind darüber hinaus die Bedingungen für die Heuwerbung nicht optimal (feuchtes Wetter mit verlängerter Trocknungszeit) oder wird das Heu gar zu feucht eingebracht kommt es zu Verpilzungen im Lager, und es treten leicht Keimgehalte von über 1 Million auf.

In der Pferdefütterung steht im Gegensatz zur Rinderhaltung, speziell des Milchviehs, nicht die Zufuhr von möglichst viel Energie aus dem Grundfutter 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 längerem Unbeschäftigtsein, weitere Fütterungsfehler wie zu plötzlicher Futterwechsel oder überhöhte Kraftfuttermengen.

Weil auch für das Pferd Grundfutter (Weide, Grünfutterkonserven) die Basis einer guten Fütterung und damit einer guten Gesundheit ist, muss die Qualität wie in der Rinderfütterung optimal sein.

2.3 Beurteilung der Mykoflora von Grünfutter und Silage

Für Grünfutter und Silagen liegen bisher keine Beurteilungsrahmen für die mikrobiologische Qualität vor. Im DLG-Bewertungsschlüssel für Silagen wird sichtbarer Schimmelbefall mit Punktabzügen bestraft. Generell sollte jedoch gelten, dass Silagen mit sichtbarem Schimmelbefall nicht verfüttert werden dürfen. Eine mykologische Bewertung alleine über sensorische Tests ist jedoch nicht ausreichend, da auch bei nicht sichtbarem Schimmel hohe Keimzahlen, vor allem von Hefen, auftreten können.

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 so genannten 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. 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 **Schneeschimmel**, 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.

Tabelle 5: Fusarienarten und ihre Toxine in Getreide

| Weizen, Gerste, Triticale, Hafer | Mais | gebildete Toxine |
|---|---|--|
| dominierende Arten | | |
| F. graminearum | F. graminearum | Deoxynivalenol = DON 15-Acetyl-DON Zearalenon = ZEA |
| F. avenaceum | F. avenaceum | Moniliformin, (Enniatine) |
| F. poae | F. poae | Nivalenol = NIV |
| F. tricinctum | | (Chlamydosporol), (Fungerin) |
| Zusätzlich auftretende Fusarienarten | | gebildete Toxine |
| F. culmorum | F. culmorum | DON, 3-Acetyl-DON ZEA |
| F. crookwellense = F. cerealis | | NIV, ZEA |
| Atypische F. poae (neue Art?) | | Typ A-Tricothecene |
| F. sporotrichioides | | Typ A-Tricothecene z.B. T-2 Toxin |
| F. acuminatum | F. pseudograminearum F. subglutinans F. verticillioides = F. moniliforme F. proliferatum | Typ A-Tricothecene Nicht bekannt Moniliformin, Beauvericin Fumonisine Fumonisine |

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

Von Bedeutung für die Futterqualität ist der Befall des Erntegutes mit Toxin bildenden Fusariumarten. 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 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. Die verschiedenen Getreidearten sind in der

Reihenfolge Weizen - Hafer - 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. moniliforme* 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.

Fusariumarten spielen auch bei **Futtergräsern** als Erreger von Fußkrankheiten und als Verursacher von Weißährigkeit eine Rolle. Die Kenntnisse über beteiligte Fusarienspezies und evtl. Mykotoxinbildung in den Futterpflanzen sind außerordentlich unzureichend. Fleckenweises Vergilben oder Absterbeerscheinungen 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 Vergilbungsercheinungen 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 48 % liegt, also unbelastet ist. Wird der Bereich bis zu 1 mg DON/kg Getreide mit einbezogen liegt der Anteil der Proben über 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 bleibt meist unerkannt und führt zu den größeren wirtschaftlichen Schäden. Bei längerer erhöhter DON-Verabreichung tritt auch bei Schweinen ein Gewöhnungseffekt ein, so dass die Futtermittelaufnahme 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 (Tabelle 6) dargestellt.

Tabelle 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 | Übergang in die Milch |
| | über 5 | geringere Futterraufnahme und Milchleistung |
| Schafe | über 10 | weniger Leukozyten |
| Pferde | Schimmeliges Futter | Höhere Krankheitsanfälligkeit ELEM (Equine Leucoencephalomalacie), Blindheit, Koordinationsstörungen, Leberveränderungen |
| | Über 20 | Futterverweigerung und Fruchtbarkeitsstörungen |
| Fische | über 1 | Futterverweigerung Nekrosen, Entzündungen |
| Kaninchen | über 1 | Blutgerinnungsfaktoren beeinträchtigt |
| Geflügel | | |
| Hühner | über 20 | Zunahmen und Lebendgewicht reduziert |
| | über 5 | Rückstände in Eiern |
| | über 0,4 | geringere Futterraufnahme |
| Puten | bis 5 | Futter weniger bevorzugt werden noch toleriert |
| Schweine | über 1 | Futterverweigerung, geringere Zunahmen und Durchfall möglich |

Zearalenon (ZEA), auch F-2 Toxin genannt, wird von verschiedenen Fusariumarten, wie z. B. *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. moniliforme*, gebildet. 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. Die Untersuchungen zeigen, dass über 0,050 mg nur 2 % positive Proben zu finden sind und dies nicht in allen Jahren (Abbildung 2). Für Europa konnte aus Literaturdaten eine Häufigkeit positiver Proben von 13 % errechnet werden, wobei die maximalen Zearalenongehalte mit 1,2 mg/kg höher als z.B. in Bayern liegen.

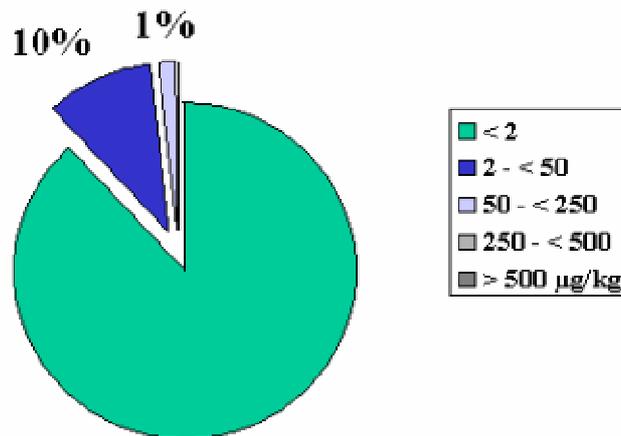


Abbildung 2: Vorkommen von Zearalenon in Futtergetreide 1991 - 2000 unter Berücksichtigung der Orientierungswerte bei der Klasseneinteilung

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 Abbildung 3 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 T auf, wobei der Kolben geringere Gehalte von 0,05 mg ZEA/kg T aufweist. TOWERS (1997) zeigt hohe Zearalenongehalte 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.

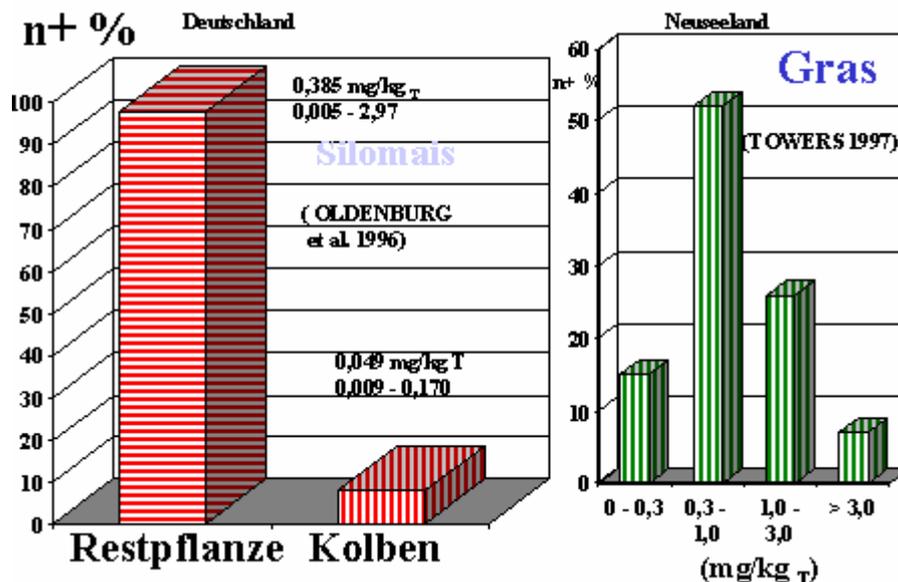


Abbildung 3: Anteil der zearalenonpositiven Proben (n+ %) und Zearalenongehalte (bezogen auf Trockenmasse) in Silomais und Gras

Auswirkungen des östrogen wirkenden Zearalenons wurden 1928 erstmals als Vulvo-Vaginitis beschrieben. Im Jahre 1966 erfolgte erstmals die Bestimmung einzelner Zearalenonderivate, 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 Mast-

darmvorfall beobachtet werden kann. Verbunden mit äußeren Symptomen ist die Vergrößerung des Uterus mit Zystenbildung an den Eierstöcken. Futtergerste, mit der diese Symptome (Abbildung 4) erzeugt werden konnten, enthielt ca. 2 mg / kg Zearalenon und zeigte deutlichen Fusariumbefall.

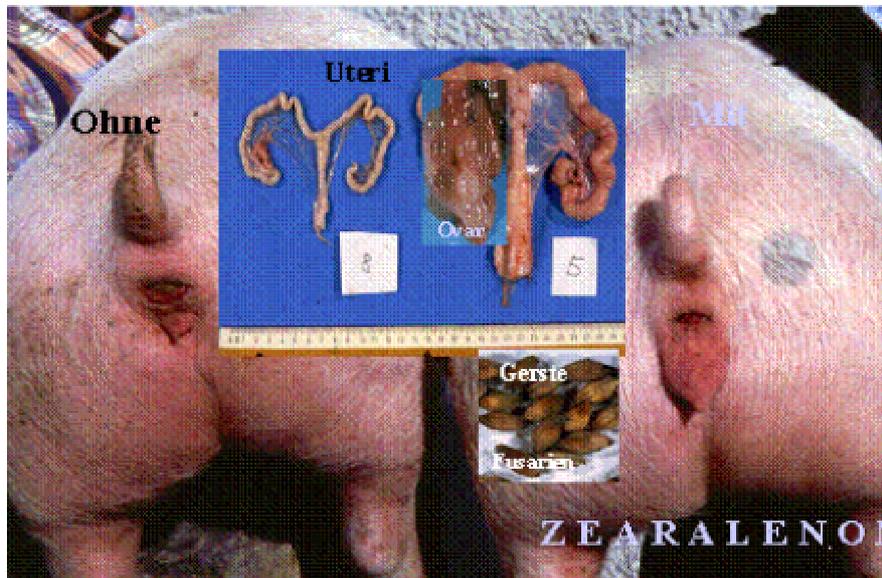


Abbildung 4: Auswirkungen von Zearalenon beim weiblichen Schwein

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 (Tabelle 6) zu entnehmen. Aus der Tabelle lässt sich deutlich eine unterschiedliche Speziesempfindlichkeit ablesen, zu der auch unterschiedliche alters- und geschlechtsspezifische Empfindlichkeiten hinzukommen.

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 bei starker Vermehrung das Substrat, auf dem sie wachsen, grünlich-schwärzlich aussehen lassen. Auf Kultur Nährböden bilden sie grün-schwärzliche Pigmente. Sie werden vor allem auf Gras, Heu, Stroh und Getreide gefunden.

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

| Tierart | Gehalte in mg/kg Futter | Krankheitserscheinungen |
|---|---|--|
| Schwein: Ferkel Jungsaunen | Über 0,05 Über 3,6 | Zystenbildung am Eierstock Fruchtbarkeitsstörungen |
| Rinder: Kalbinnen Milchkühe | Über 1,5 zusammen mit 1,0 Trichothecenen 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 |

Die Hauptvertreter sind:

- *Alternaria sp.*
- *Cladosporium sp.*
- *Drechslera (Helminthosporium)*
- *Epicoccum sp.*

Alle Gattungen haben gemeinsam, dass sie für ihr Wachstum auf Gras oder Getreide eine hohe Feuchtigkeit benötigen. Wenn Getreide wegen ungünstiger Witterung nicht geerntet werden kann und sehr lange auf dem Halm steht, lässt sich eine allmähliche Verfärbung des Getreides beobachten, die von der Vermehrung der Schwärzepilze herrührt. Wenn Stroh feucht auf dem Felde liegen bleibt, können sich ebenfalls Vertreter der genannten Gattungen vermehren. Es treten gehäuft aber noch andere Arten auf: *Chaetomium* und *Stachybotrys*.

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 beim derzeitigen Kenntnisstand zurzeit kein Institut, das sich mit den Toxinen von Schwärzepilzen befasst. 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, werden Schwärzepilze auf den Kulturplatten unterdrückt und sind gegenüber den Fusarien unterrepräsentiert.

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 diese 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 steigert 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 vielen Hybridroggensorten, scheinen die Infektionen zu begünstigen. 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.

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 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 (LD₅₀ 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 LD₅₀, 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 Zu-

sammensetzungen im Mutterkorn schwanken. Mit der Untersuchung von Ergometrin, Ergotamin und Ergokryptin werden nur etwa 30 % des Gesamtalkaloidgehaltes (GA) erfasst.

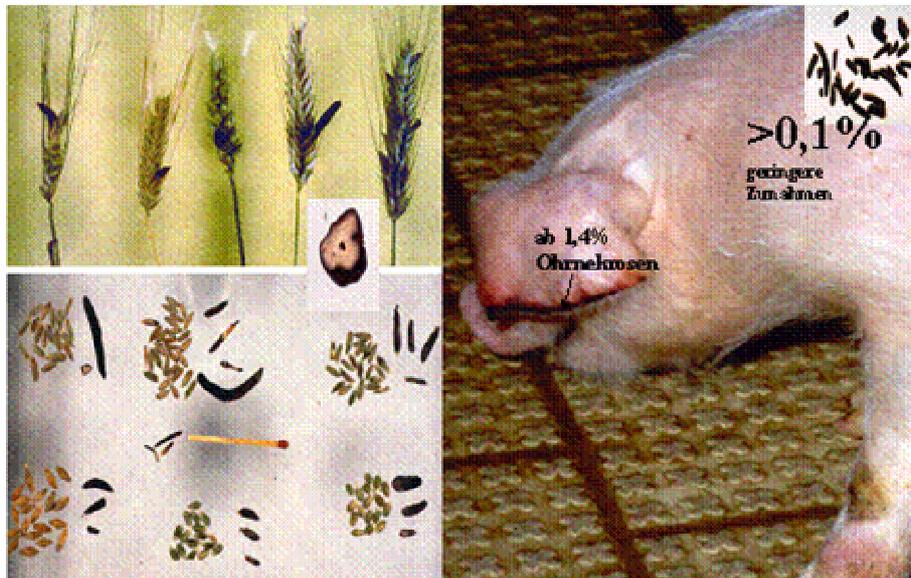


Abbildung 5: Befall, Aussehen und Auswirkungen von Mutterkorn in Getreide

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.

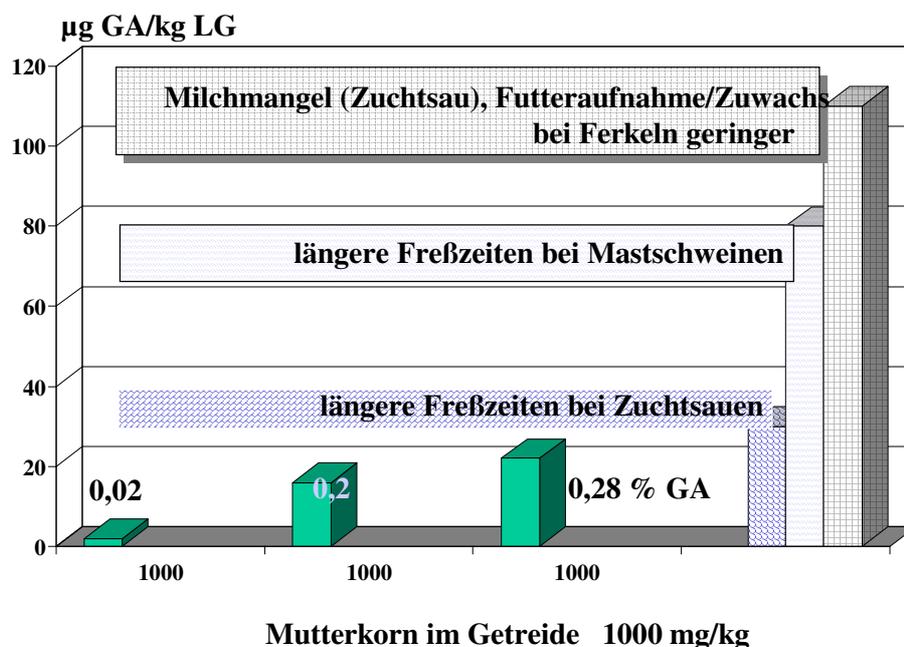


Abbildung 6: Schwankungen im Alkaloidgehalt und ihre Auswirkungen auf die tierischen Leistungen

Als Beispielkalkulation für 2 kg Getreide je Zuchtsau mit 250 kg LG je Tag ergäben sich bei unterschiedlichem Mutterkorngehalten und Alkaloidgehalten unterschiedliche Mengen an aufgenommenen Gesamtalkaloiden (GA).

Aus unseren Untersuchungen konnten die GA-Aufnahmen bestimmten Beobachtungen zugeordnet werden, was nun einen Bereich abschätzen lässt, der in der Ferkelerzeugung relevant werden könnte. Es zeigt sich, dass lediglich bei einer GA-Aufnahme von über 20 µg/kg LG mit ersten Hinweisen einer Leistungsminderung zu rechnen ist. Der futtermittelrechtlich festgelegte Höchstwert von 1000 mg Mutterkorn/kg Getreide gewährleistet somit eine ausreichende Sicherheit der Tiergesundheit. Zu berücksichtigen sind Gehalte mit Mutterkorn bei gleichzeitigem Vorkommen anderer Mykotoxine.

3.2 Lagerpilze und deren Mykotoxine

3.2.1 Penicillien und Aspergillen

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

Tabelle 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. tamaritii</i> | | | X | | | |
| <i>A. terreus</i> | | X | | | | |
| <i>A. versicolor</i> | | | | 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.

Tabelle 9: Von *Penicillien* gebildete Mykotoxine (nach Literaturangaben)

| Penicillium spp. | Aflatoxin | Citrinin | Kojisäure | Sterigmatocystin | Ochratoxin (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. viridicatum</i> | | X | | | X | X | X |
| Penicillium sp. | | | X | | | | |

OTA kann auch in trockenem Getreide gebildet werden, wenn entweder durch Feuchtigkeitswanderungen infolge Temperaturwechsel Kondensationspunkte mit höherem Wassergehalt entstehen (Hot-Spot-Theorie) oder durch die Atmungstätigkeit von Kornkäfern oder anderen Getreideschädlingen (Milben, Larven von Mehlmoten) 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.

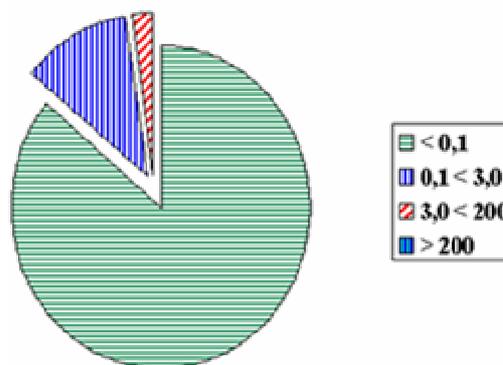


Abbildung 7: Vorkommen von OTA in Futtergetreide (Anzahl der Proben 1991-2000 in Untersuchungen in Bayern, gruppiert nach µg/kg)

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 die Ergebnisse der Untersuchun-

gen an der BLT 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. 7) 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 nierenschädigend 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. 9). 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.

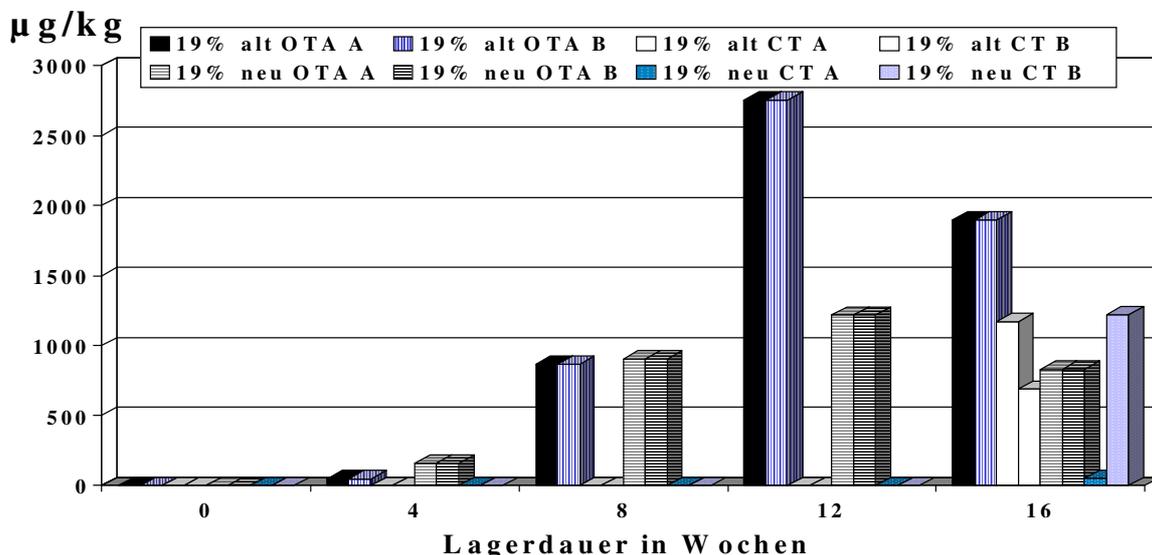


Abbildung 8: Bildung von Ochratoxin A (OTA) und Citrinin (CT) in Futtergerste (A + B = Parallelen)

In Untersuchungen zeigte sich, dass das am Feld gebildete Fusarientoxin Deoxynivalenol während der Lagerung weitgehend stabil bleibt, bei hoher Feuchte sogar leicht ansteigt (Abb. 9). 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.

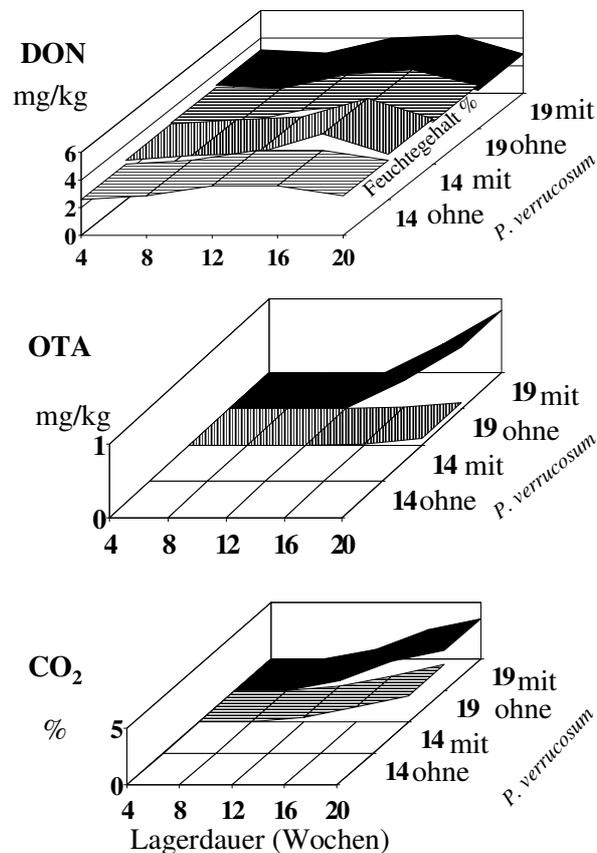


Abbildung 9: OTA-Bildung bei mit DON belastetem Winterweizen

3.2.1.2 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 Eiweißsynthese, 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, das 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.

3.2.3.1 Vorkommen von Roquefortin, Fumitremorgene, 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 200 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 bei der Siliertechnik heißt, den Verschmutzungsgrad und den Abreifegrad des Mais am Feld zu ermitteln und die Häckselqualität sowie die Walzarbeit daraufhin abzustellen. 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.

Die Ergebnisse der Untersuchungen über das Vorkommen von verderbanzeigenden Schimmelpilzen wurden für Gras- und Maissilage getrennt dargestellt (Tabelle 10).

Tabelle 10: Ausgewählte Schimmelpilze in Silage

| | 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 | | | |
| Penicillium roqueforti | 9 | 7 | 2 | 1 |
| Aspergillus fumigatus | 7 | 8 | 8 | 10 |
| Monascus ruber | 1 | 2 | 7 | 13 |

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. Der Nachweis von Mykotoxinen in Silagen wurde von verschiedenen Autoren erbracht, wobei aber große Schwankungen in den

zum Teil verschimmelten Silagen mit Probenmaterial aus Untersuchungen der BLT vorkamen.

Tabelle 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, Gleich-g.A. fe-wichtsstörungen, 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 |

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).

Tabelle 12: Höchstgehalte für Aflatoxin B₁ (Futtermittelverordnung vom 07.03.2005, 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. Für die bei uns vorkommenden Mykotoxine liegen für Futtermittel noch keine gesetzlichen Regelungen vor. Selbst in der EU gibt es derzeit noch zwischen den Ländern Unterschiede bei den maximal duldbaren Gehalten in Futtermitteln. In der Tabelle 12 sind die deutschen Höchstwerte für Aflatoxin B₁ aufgelistet.

Für DON und ZEA liegen lediglich Orientierungswerte vor (Tabelle 13), bei denen eine Reihe von Einschränkungen bei der Anwendung empfohlen werden (Quelle: DLG-Mitteilungen 8/2000). Diese Werte basieren auf dem derzeitigen verfügbaren Wissensstand und haben 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.

Tabelle 13: Orientierungswerte (BMVEL) für Gehalte an Mykotoxinen in Futtermitteln (mg / kg Futter bei 88 % TS)

| 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. = nachzeitigem Wissensstand keine Orientierungswerte erforderlich

Neue futtermittelrechtliche Regelungen gelten seit dem Jahr 2003. Es erfolgt damit die Umsetzung der Richtlinie 2002/32 EG (vom 07.05.03) über unerwünschte Stoffe in der Tierernährung. Die wichtigsten Änderungen sind:

Verschneidungsverbot für alle in der Anlage I gelisteten Höchstgehalte.

Derzeit sind für Mykotoxine Höchstgehalte für Aflatoxin B₁ und Mutterkorn festgelegt. Dies gilt sowohl für anerkannte Betriebe (Mischfutterhersteller) als auch für die im landwirtschaftlichen Betrieb erzeugten und verbrauchten Futtermittel.

Für die aufgelisteten Mykotoxine DON und ZEA gilt das Verschneideverbot insofern nicht, als die Orientierungswerte keine Höchstgehalte im futtermittelrechtlichen Sinne darstellen. Eine Meldepflicht leitet sich aber über § 17 (5 und 5a) FMG ab, wenn die Orientierungswerte DON und ZEA in der Gesamttagesration überschritten werden.

Meldepflicht wurde verschärft: § 17 (5) FMG (Fassung vom 25. August 2000, BGBl. I Nr. 41 vom 4. September 2000)

„Wer im Rahmen seines beruflichen oder gewerbsmäßigen Umgangs mit Futtermitteln Grund zur Annahme hat, dass ein Futtermittel so hoch mit unerwünschten Stoffen belastet ist, dass es bei bestimmungsgemäßer und sachgerechter Verfütterung eine Gefahr für die menschliche und tierische Gesundheit darstellen kann, hat die nach § 19 Abs. 1 zuständige Behörde unverzüglich davon zu unterrichten, selbst wenn die Vernichtung der Futtermittel beabsichtigt ist.

Die Verpflichtung nach Satz 1 gilt auch für Personen, die für die Überwachung der Hygienebedingungen in den Tierhaltungen zuständig sind, insbesondere bestandsbetreuende Tierärzte, sowie die Verantwortlichen der Laboratorien, die Analysen durchführen. Eine Unterrichtung gemäß Satz 1, auch in Verbindung mit Satz 2 darf von der dort genannten Behörde nicht zur strafrechtlichen Verfolgung des Mitteilenden oder für ein Verfahren nach dem Gesetz über Ordnungswidrigkeiten gegen den mitteilenden verwendet werden.“

Zuständige Behörden:

| | |
|---------------------------|--|
| <u>Bayern:</u> | Regierung von Oberbayern SG 214 80534 München |
| <u>Sachsen:</u> | Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft Kontrolldienst (Referat 72/73) August-Böckstiegel-Str. 1 01326 Dresden |
| <u>Thüringen:</u> | Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Futtermittelüberwachung (Referat 310) Naumburger Straße. 98 07743 Jena. |
| <u>Baden-Württemberg:</u> | Ministerium für Ernährung / ländlichen Raum Referat 31 Postfach 103444 70029 Stuttgart |

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 rosaroter Sporenschleim zu erkennen. Später siedeln sich Schwärzepilze an. Die befallenen Ährenteile heben sich dann schmutzig-grau von den noch gesunden grünen Bereichen ab (Abb. 10). 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.

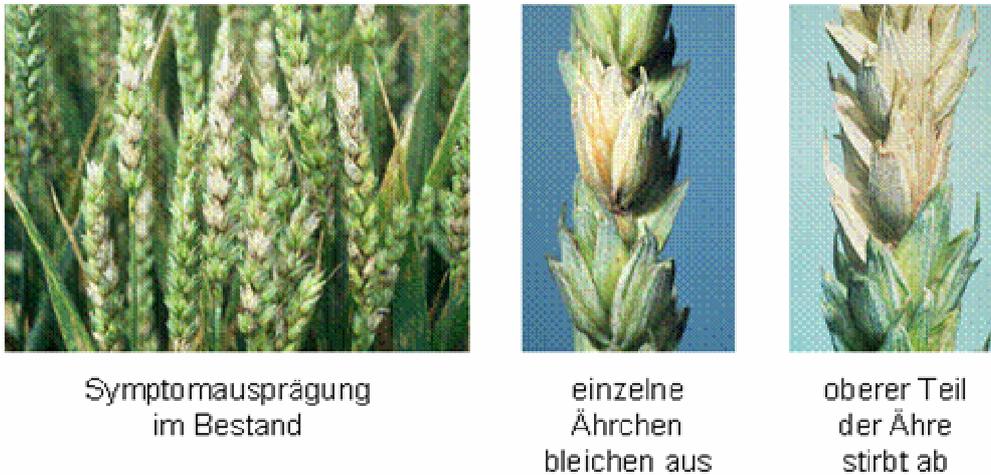


Abbildung 10: *Fusarium graminearum* – Erreger der partiellen Taubährigkeit und Toxinbildner bei Weizen

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 Futteraufnahme, Fruchtbarkeitsstörungen) beeinträchtigen. Typische Körner mit Fusariumbefall sind weiß bis schwach rötlich, leichter und weicher als normale Körner (siehe Abb. 11). 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



Abbildung 11: 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. 12). Winterweizen zeigte deutlich höhere Toxinwerte im geernteten Korn als Winter- und Sommergerste sowie Winterroggen. Etwas über dem Toxinniveau des Winterweizens reichten sich Triticale und Hafer ein. Mit Abstand die höchsten Werte wurden bei Durum-Weizen gemessen.

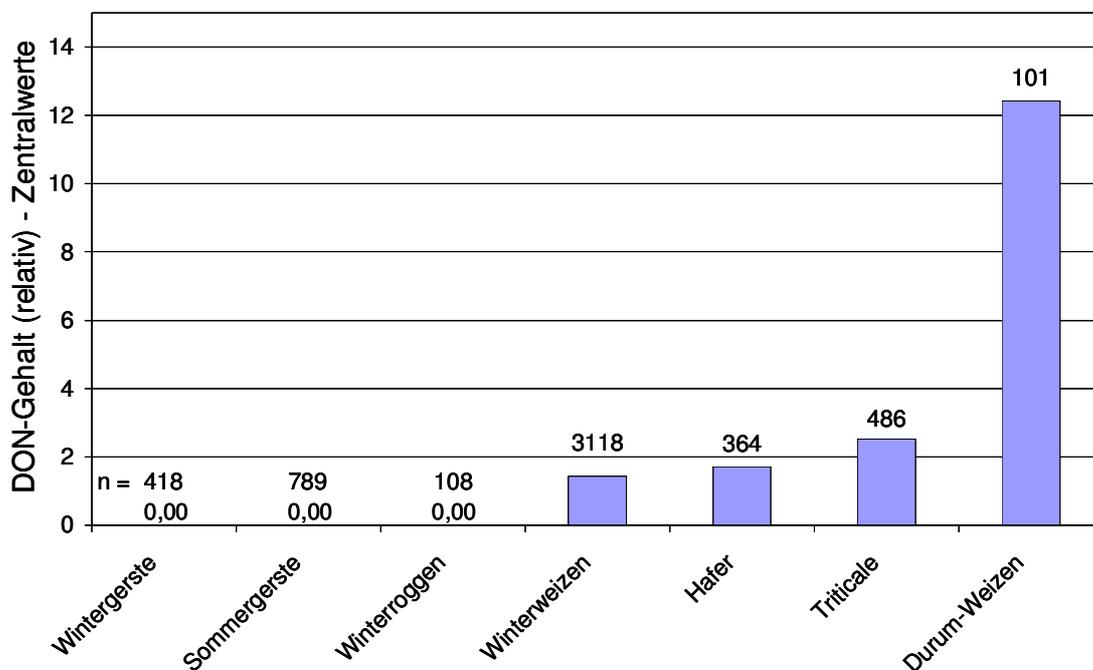


Abbildung 12: Deoxynivalenol-Gehalt (relativ) verschiedener Getreidearten (Fusarium-Monitoring Bayern 1993-2002)

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. 13). Während zum Beispiel in 2001 ein niedriges Toxinniveau registriert wurde, mussten in der Ernte 2002 wieder signifikant höhere Werte gemessen werden.

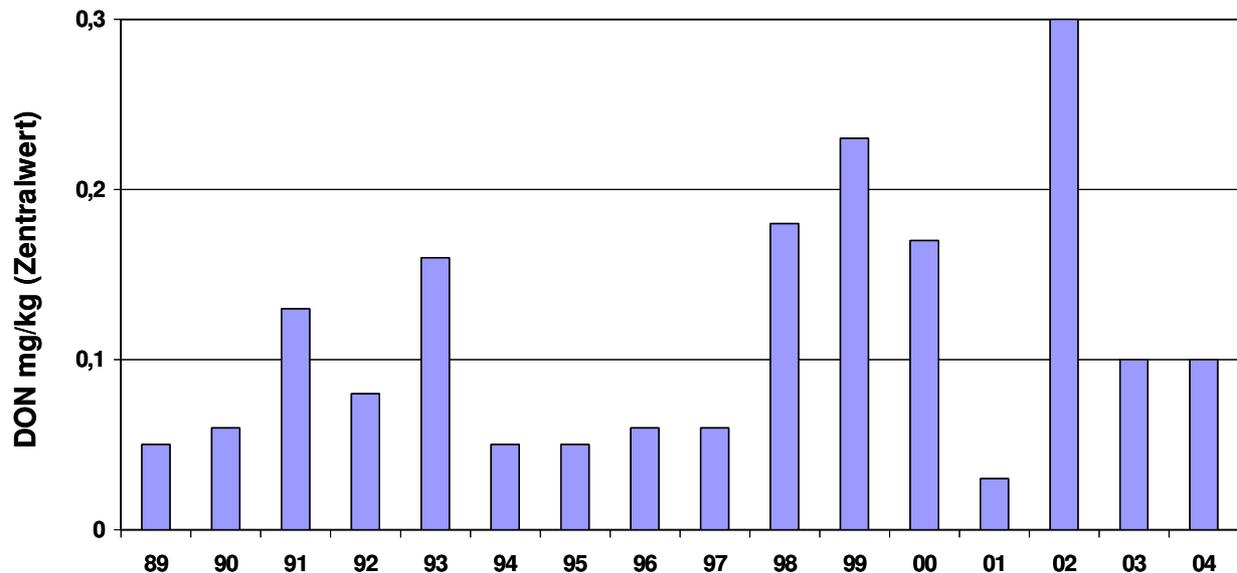


Abbildung 13: DON-Gehalt von Winterweizen (Fusarien - Monitoring Bayern 1989 – 2004)

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 drei Tagen mit Niederschlag vorliegen (Tab. 13).

Tabelle 13: Witterungsvoraussetzungen für die Ähreninfektion des Weizens mit *F. graminearum*

1. Askosporenflug

- in Weizenstadien BBCH 39/41 - 61 mindestens 1 Niederschlag ≥ 4 mm,
- dann 1 Tag mit Temperatur >18 °C
oder mehrere zusammenhängende Tage mit Temperatur ≥ 16 °C

2a. Ähreninfektion durch Askosporen

- nach Askosporenflug in den Stadien BBCH 55 - 69
insgesamt 2 Tage mit Temperatur ≥ 17 °C und Niederschlag ≥ 2 mm

oder

2b. Konidiosporenbildung auf oberen Blättern und Ähreninfektion

- 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, insbesondere Weizen.

Der Befall des Getreides erfolgt in der Regel durch Sporenflug direkt von den Ernterückständen an der Bodenoberfläche auf die Ähren (Abb. 14). 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.

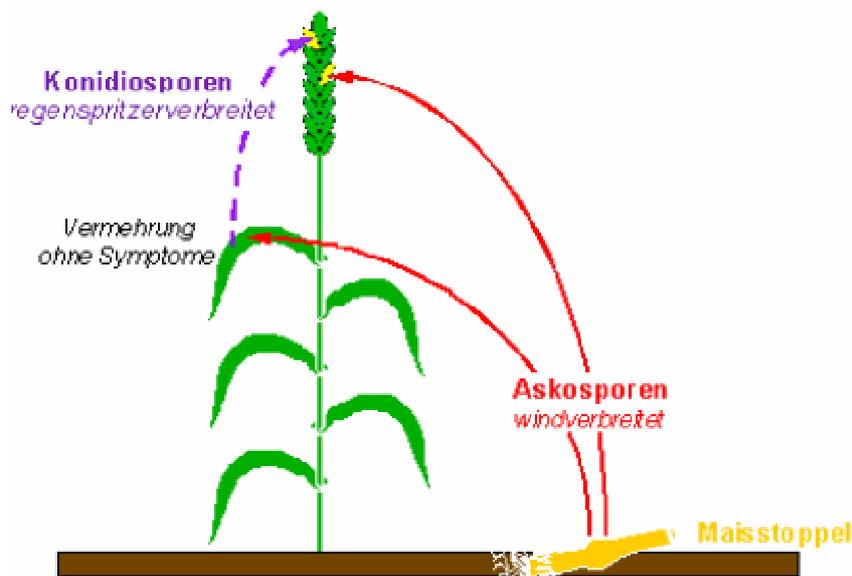


Abbildung 14: Ausbreitung von *Fusarium graminearum*

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. 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. 15).

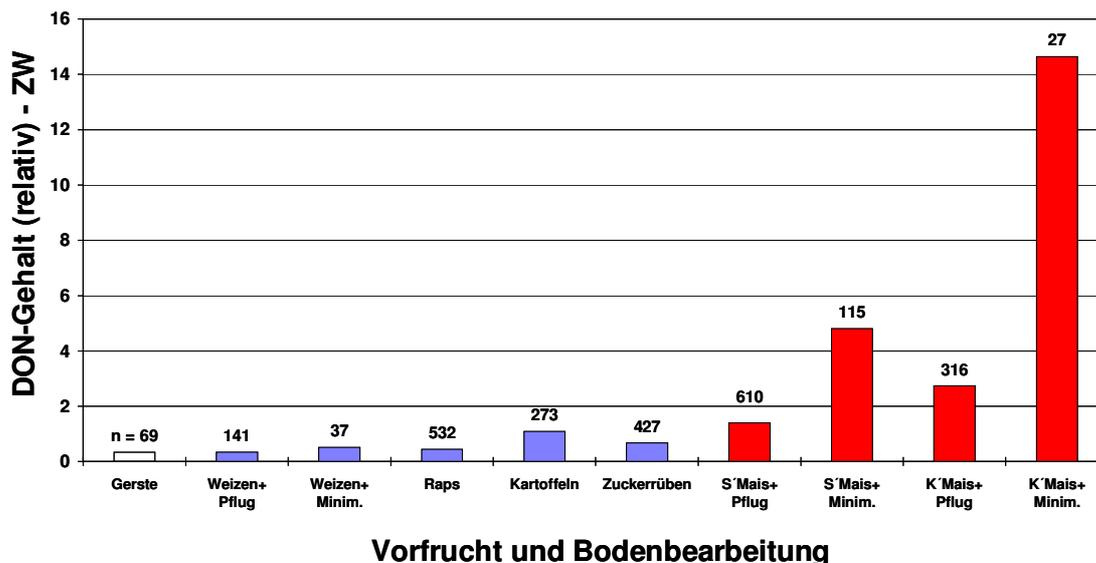


Abbildung 15: DON-Gehalt von Winterweizen in Abhängigkeit von Vorfrucht und Bodenbearbeitung (Fusarien - Monitoring Bayern 1993-2002)

In Gegenden mit Erosionsgefahr wird zum Teil auf den Pflug verzichtet. Hier ist es wichtig, die Rotte der Erntereste zu beschleunigen: gute Zerkleinerung und wiederholte (oberflächliche) Einarbeitung; notfalls auch Abfuhr zu großer Ernterückstände. Wenig anfällige Weizensorten (Tab. 15) 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. 14). Zwar gibt es keine vollständig resistenten Sorten, aber doch erhebliche Unterschiede in der Resistenz gegen Ährenfusarien.

Für die übrigen Getreidearten liegen noch keine gesicherten Erkenntnisse über die Ausprägung der Sortenresistenzen vor. In Triticale sind ähnlich große Sortenunterschiede vorhanden wie bei Weizen.

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. Eine direkte Fusariumbekämpfung mit Fungiziden ist zu empfehlen, wenn von den Risikofaktoren Vorfrucht Mais, reduzierte Bodenbearbeitung nach Vorfrucht Mais, anfällige Sorte, Blattbehandlung mit Strobilurin-Fungizid und infektionsfördernde Witterung zur Blüte mehrere zusammentreffen. Unabhängig davon ist eine Fungizidmaßnahme für Betriebe anzuraten, die in den Vorjahren öfter deutlich sichtbaren Ährenbefall hatten. Unter dieser Voraussetzung ist davon auszugehen, dass ausreichend Infektionsmaterial vorhanden ist.

Tabelle 14: Einstufung der Fusarium-Anfälligkeit von Winterweizensorten

| sehr gering bis gering ++ | | gering bis mittel (+) | | mittel □ | | mittel bis stark (-) | |
|---------------------------|----------|-----------------------|----------|-------------|----------|----------------------|----------|
| Sorte | Qualität | Sorte | Qualität | Sorte | Qualität | Sorte | Qualität |
| Petrus | A | Aspirant | A | Achat EU | E | Drifter | B |
| Centrum | B | Batis | A | Altos | E | Koch | C |
| | | Capo EU | A | Aron | E | Winnetou | C |
| | | Cubus | A | Carolus | E | | |
| | | Ludwig | A | Astron | A | | |
| | | Magnus | A | Cardos | A | | |
| | | Monopol | A | Elvis | A | | |
| | | Pegassos | A | Kaltop EU | A | | |
| | | Tommi | A | Levendis EU | A | | |
| | | Transit | A | Meunier EU | A | | |
| | | Borneo | B | SW Tataros | A | | |
| | | Dekan | B | Tambor | A | | |
| | | Flair | B | Tiger | A | | |
| | | Maltop | B | Toronto | A | | |
| | | Skater | B | Limes | B | | |
| | | | | Ranger | B | | |
| | | | | Terrier | B | | |
| | | | | Biscay | C | | |
| | | | | Certo | C | | |

| gering + | | stark - | |
|----------|----------|------------|----------|
| Sorte | Qualität | Sorte | Qualität |
| Bussard | E | SW Topper | E |
| Empire | E | Tamara CH | E |
| Enorm | E | Complet EU | A |
| Glockner | E | Charger EU | B |
| Ökostar | A | Ritmo | B |
| Sokrates | A | Contra | C |
| Atlantis | B | | |
| Vergas | B | | |

nur Sorten über 10 ha Vermehrungsfläche in Bayern

Quellen:
Bundessortenamt, BSL 2003, BBA und LfL IPZ 6a

Durch Behandlungen mit den fusariumwirksamen Azol-Fungiziden Caramba, Folicur, Input Set oder Pronto Plus zum Zeitpunkt der Blüte des Weizens können der Befall und die Toxinbildung durch Ährenfusarien um 40 bis 70 Prozent reduziert werden (Abbildung 16).

Allerdings ist der optimale Zeitraum für eine Fungizidmaßnahme eng begrenzt. Nur um wenige Tage zu frühe oder zu späte Spritztermine bedingen bereits einen starken Wirkungsabfall. In Feldversuchen mit künstlicher Inokulation mit einer Sporensuspension von *Fusarium culmorum* nahm der Wirkungsgrad von Applikationen davor schnell, danach langsamer ab. Eine befriedigende Wirkung war mit Einsatzterminen 1-2 Tage vor bis 5 Tage nach der Inokulation zu erzielen.

Praxisübliche Fungizidstrategien mit strobilurinhaltenen Präparaten vor dem oder zum Ährenschieben erhöhten dagegen häufig die Toxinwerte, wenn keine gezielte Fusariumbekämpfung zur Blüte folgte. Der Fungizideinfluss erlangt hauptsächlich dann Bedeutung, wenn ein höheres Risiko für Fusariumbefall und Toxinbildung vorhanden ist (Maisvorfrucht, anfällige Sorte, günstige Witterung für Fusarium).

5.1.7 Gesamtstrategie

Es ist ein Irrtum zu glauben, ausschließlich mit Sortenwahl oder Fungiziden das Fusarium-Risiko in den Griff zu bekommen. 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 Futtermittelgetreide allein mit teilresistenten Sorten oder mit Fungiziden nicht einzuhalten sind. Daher muss der Landwirt eine Gesamtstrategie entwickeln, die an mehreren Punkten ansetzt (Tab. 15). 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.

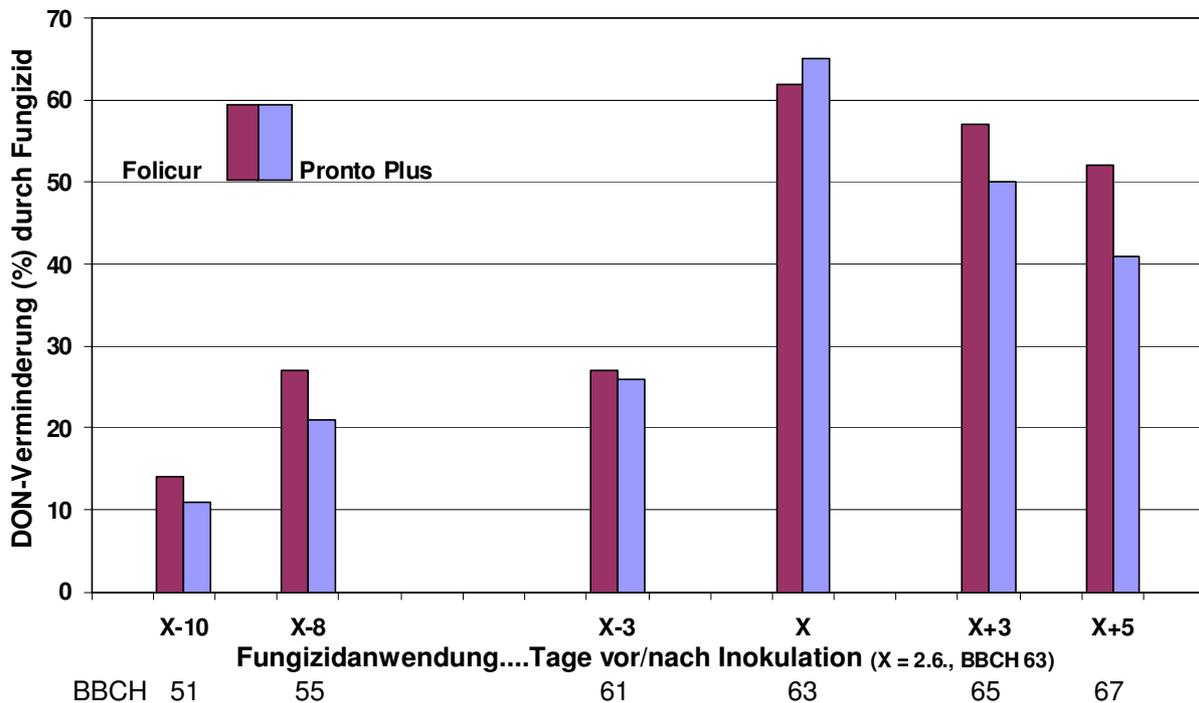


Abbildung 16: Einfluss der Fungizidbehandlung auf DON- Gehalt *Fusarium culmorum* – künstliche Inokulation; Wirkung von Folicur bzw. Pronto Plus auf den Deoxynivalenol-Gehalt, Winterweizen Contra, (ohne Fungizid = 15,71 mg/kg)

Tabelle 15: Strategien gegen Ährenfusarien im Weizenanbau

| kein Mais kein Weizen als Vorfrucht | Vorfrucht Mais oder Weizen | |
|---|--|--|
| | mit Pflugeinsatz nach | ohne Pflugeinsatz nach |
| Risiko gering - mittel | Weizen Risiko gering - mittel | Mais Risiko mittel - hoch |
| Futterweizen Mahlweizen weitgehend freie Sortenwahl aus den empfohlenen Sorten | Sortenwahl siehe links | Mahlweizen z.B. Bussard, Enorm, Sokrates Futterweizen z.B. Atlantis, Vergas Sortenwahl siehe links |
| standortgerechte Düngung und Pflanzenschutz | standortgerechte Düngung und Pflanzenschutz; bei mittelfähigen Sorten (z.B. Astron) Produktionstechnik anpassen (siehe rechts) | (verhaltene N-Düngung, Lager verhindern); Ährenbehandlung mit fusariumwirksamen Azolfungiziden |
| mit Fusarium befallene Teilflächen (Vorgewende, Lagergetreide) getrennt ernten, Mähdrescher auf optimale Erntegutreinigung einstellen | | |

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 Verderberreger sehr feuchter Substrate.

5.2.1 Vorbeugende Maßnahmen bei Einlagerung

Hygiene bei der Ernte und Einlagerung

z.B. Schmutzanteil, Mähdrescherreinigung

Kontrolle der angelieferten Ware

z.B. Besatz, Schädlingsbefall

Lagerungstechnik

Was zuerst eingelagert wird, soll auch zuerst verbraucht werden.

Lager reinigen

Kühl und trocken lagern

Temperaturkontrolle

z.B. Erntegut abkühlen

Kontrolle monatlich wiederholen, bei Temperaturanstieg häufiger

Konservierverfahren unter Berücksichtigung von Feuchtegehalt und Lagerdauer durchführen

z.B. Belüftungstrocknung < 10 Tage < 14 %

Schlagkraft wenn notwendig erweitern

z.B. chemische Konservierung

Verkürzung der Lagerdauer

z.B. alsbaldiger Verbrauch bei Grenzfeuchten

5.2.2 Chemische Konservierung

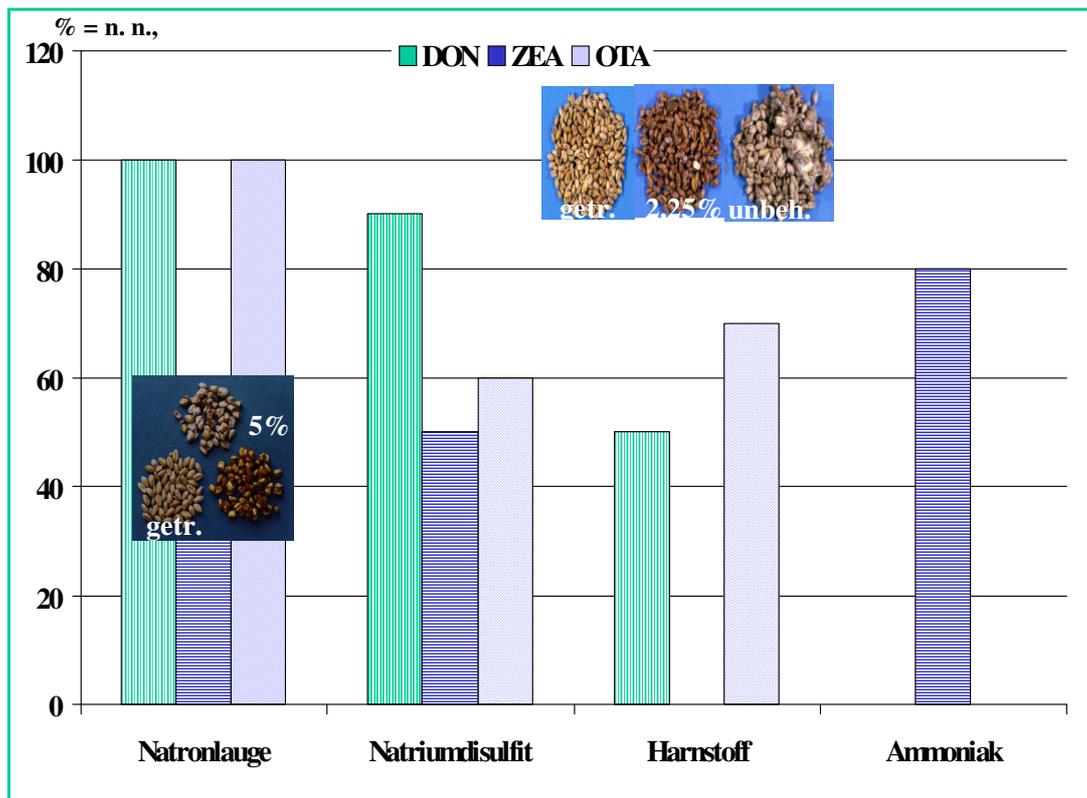


Abbildung 17: Reduzierung von Mykotoxinen durch chemische Konservierung von Getreide

Durch die in der Praxis bekannten chemischen Konservierungsverfahren, wie mit Propionsäure, Harnstoff und Natronlauge lässt sich Schimmelpilzwachstum wirksam unterdrücken. Dies kann ebenfalls mit Natriumdisulfid 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.

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.

5.2.2.1 Konservierung mit Harnstoff

Der Unterschied und die chemische Zusammensetzung von Futterharnstoff und Düngeharnstoff sind in der Tabelle 16 aufgelistet.

Futterharnstoff mit feuchtem Getreide gemischt ermöglicht eine stabile Lagerung über längere Zeit. Die konservierende Wirkung erfolgt durch die starke 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 be-

dingt. Zu feuchtem Getreide (Feuchtegehalt > 18 - 25 %), werden 2,25 kg Futterharnstoff (Prills) je 100 kg Getreide gemischt.

Tabelle 16: Chemische Zusammensetzung und Eigenschaften von Harnstoff

| | | | Futtermittelharnstoff | Düngemittelharnstoff |
|--|------------------|------|-----------------------|------------------------------|
| Gesamtstickstoff Biuret Wasser Antibackmittel | Gew. % | min. | 45,7 | 46,0 |
| | Gew. % | max. | 1,0 | 1,0 |
| | Gew. % | max. | 0,6 | 0,3 |
| | Gew. % | max. | 1,0 | 0,1 - 0,3 |
| Schwermetalle (Arsen, Blei, Kadmium, Quecksilber) / Fluor | mg / kg | max. | < 1 | Darf nicht verfüttert werden |
| Kornverteilung 1,0 - 3,0 mm < 1,0 mm < 0,2 mm | Gew. % | min. | 90 | 90 |
| | Gew. % | min. | | 0,5 |
| | Gew. % | max. | | |
| Schüttdichte | g / l | | 750 - 790 | 720 - 760 |
| Löslichkeit in H₂O (20 °C) | g / l | | 1080 | 1080 |
| Futtermittelrechtlich | als Futtermittel | | ja | nein |
| Preisverhältnis | | | 1,0 | 0,6 |

Unter 18 % Getreidefeuchte ist noch eine Zugabe von 0,5 Liter Wasser je dt Getreide erforderlich. Die Feuchtigkeit ist für die Umwandlung des Futterharnstoffs notwendig und bindet zugleich auch das gebildete Ammoniak. Bei dieser Reaktion wird Wärme frei, so dass sich das behandelte Getreide auch bis zu 50° C erwärmen kann (Abb. 18).

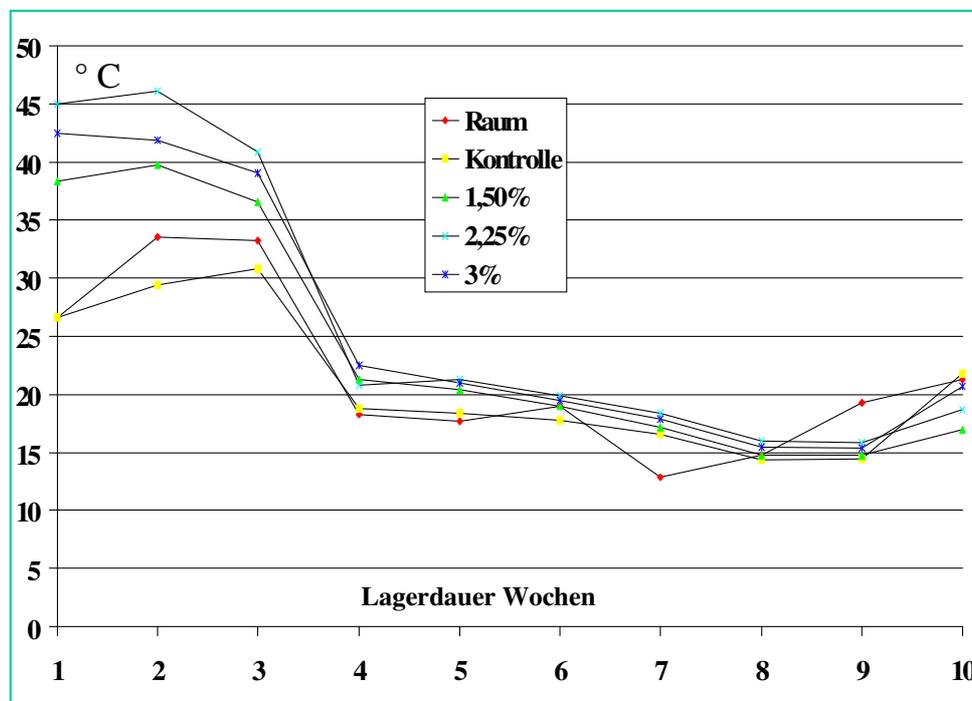


Abbildung 18: Verlauf der Reaktionstemperatur

Nach dem Mischen muss das Getreide in einem Flachlager mit Folie abgedeckt werden, um die Verteilung des gebildeten Ammoniaks zu verbessern und ein Entwei-

chen 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. 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.

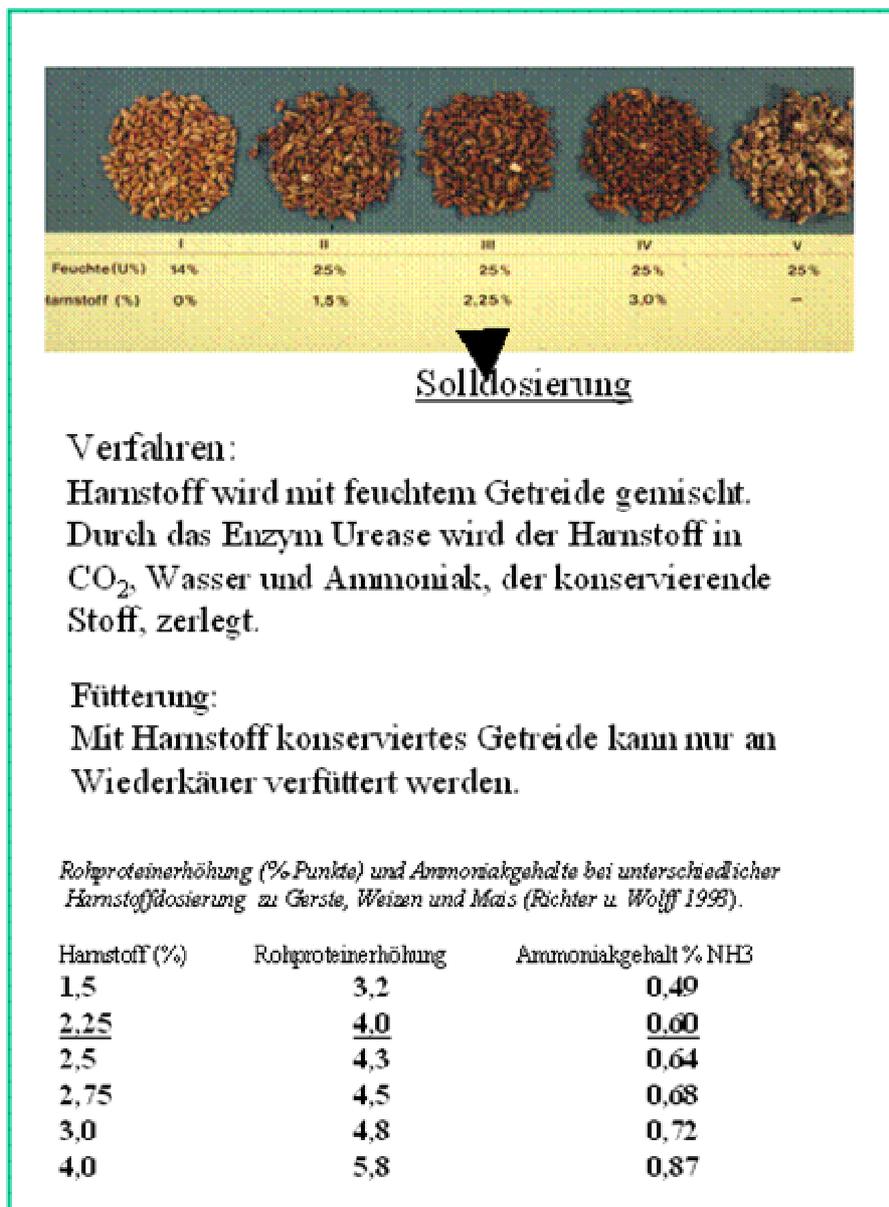


Abbildung 19: Konservierung mit Harnstoff

5.2.2.2 Konservierung mit Natronlauge



Konservierung mit Natronlauge (Ätznatron, Natriumhydroxid, NaOH, E524).

Unter dem Begriff "Sodagrain" wird die Behandlung von Getreidekörnern mit "Ätznatron" 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/t) 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. Nach 8-10 Tagen kann das behandelte Getreide verfüttert werden. Die Lagerdauer ist vorsorglich auf 6 Monate zu begrenzen (insbesondere in den Sommermonaten).

| Dosierung | |
|-----------|---------|
| Weizen | 2,5-3 % |
| Gerste | 3,5 % |
| Hafer | 4 % |
| Mais | |
| Rapsaat | 5 % |

Abbildung 20: Konservierung mit Natronlauge

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. Mit Fusarium befallenes 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

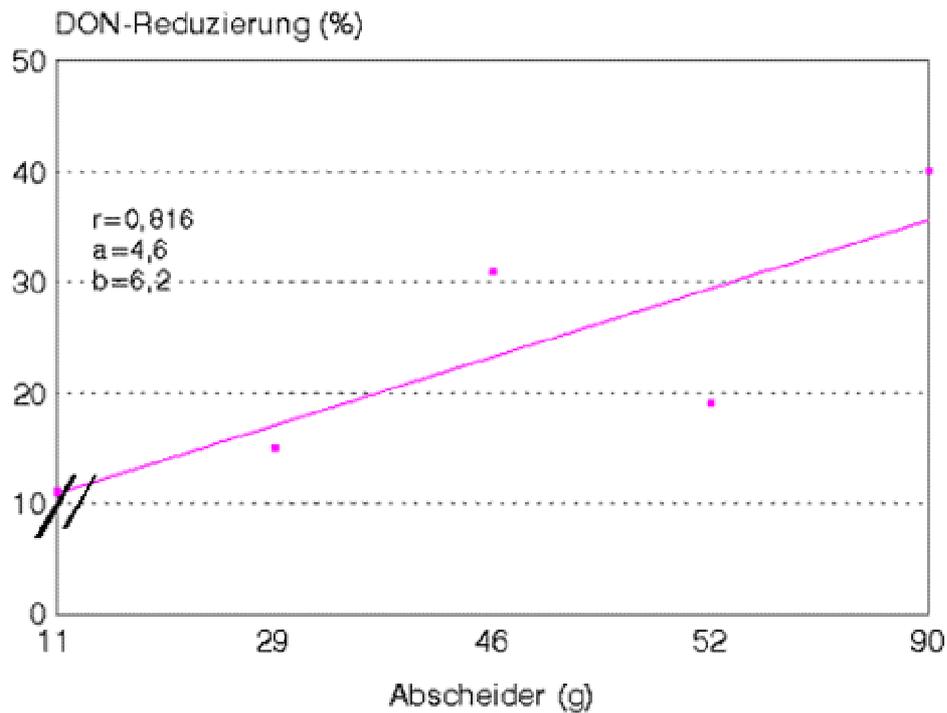
Getreide für die Futtermittelherstellung qualitativ aufzuwerten, ist es natürlich auch wichtig zu wissen, ob mit der leichten Fraktion (Abgang) besonders die mit DON belasteten Samen aus dem Grundgetreide entfernt werden können.

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 12 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. 17). 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 15 geprüften Proben 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. Dafür fanden sich die stark mykotoxinbelasteten Samen im Abgang.

Tabelle 17: 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 | 19,0 |
| 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 | 8,0 | 13,0 |
| 7 | 2 | 1,5 | 7,0 | 13,6 |
| 8 | 0,61 | 0,2 | 1,1 | 23,3 |
| 9 | < NG | 0,02 | 0,05 | 22,7 |
| 10 | 4,6 | 1,6 | 14,0 | 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 | 2,0 | 31,9 |
| 15 | 0,26 | 0,31 | 2,1 | 13,7 |



Probenreiniger (Fa. Pfeuffer)

Abbildung 21: Reduzierung von DON durch Reinigung

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

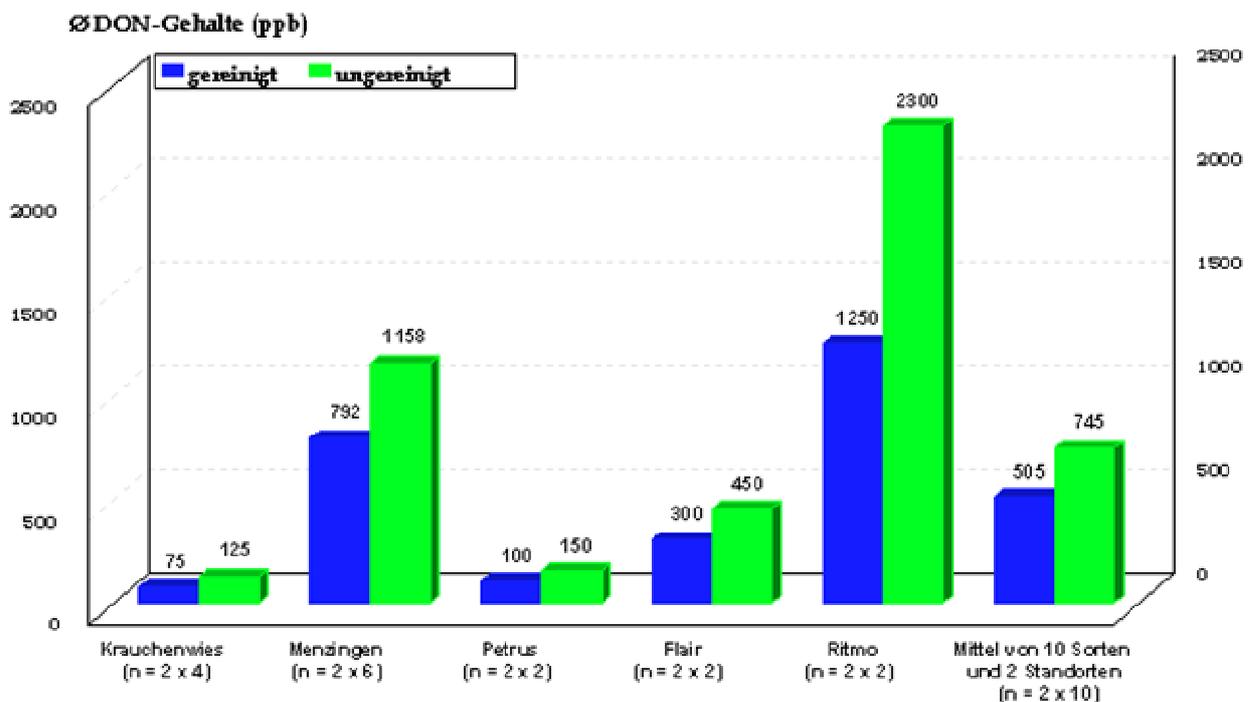


Abbildung 22: Wirkung der Getreidereinigung bei DON-belastetem Getreide

In der Abbildung 21 ist ein Ergebnis aus Untersuchungen der LfL zur Reinigung von stark mit Fusarium befallenem 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 und eine Anreicherung in dem zu verwerfenden Abputz. Die Vorteile der Reinigung zeigt auch Abbildung 22. Untersuchungen der LfL bestätigen einen Effekt der Reinigung, weisen aber darauf hin, dass doch der überwiegende Teil der DON-Menge in der gereinigten Ware bleibt. Die Reinigung sollte in Ferkelerzeugerbetrieben aber bei unsauberem Erntegut zur Verbesserung von Konservierung und Lagerung eingesetzt werden.

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.

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 200 kg TM. je m³
- Trockenmassegehalt des Siliergutes von maximal 35 bis 40 %
- Optimierung der Anschnittflächen, z.B. für die Sommerfütterung flachere Silostapel oder in Folienschläuchen bzw. Ballen silieren
- Silobefüllzeiten von maximal 2 bis 3 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 30 mm bei Gras
- 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 dürfen 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

Therapeutische Maßnahmen 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
- Erhöhung des täglichen Entnahmevorschubes (im Sommer > 40 cm, im Winter >20 cm), bei einer Temperatur von < 10 °C geht die Aktivität der Hefen deutlich zurück
- Abdecken der Anschnittsflächen mit außen weißer und innen schwarzer Folie
- Mit Siloöffnung in den Sommermonaten im Norden und nicht im Süden, Reduzierung von Sonneneinwirkung und stärkeren Luftzirkulationen

5.4 Fütterungsmaßnahmen

Schimmelpilze sind aufgrund ihrer enzymatischen Aktivität generell am Abbau organischer Substanzen im Futtermittel beteiligt. Dies führt durch Reduzierung des Nährstoffgehaltes zur Beeinträchtigung der Futterqualität. Eine Verschiebung des pH-Wertes bzw. die Bildung von niedermolekularen Abbauprodukten kann zusätzlich Störungen der Tiergesundheit hervorrufen.

Schimmelpilzsporen sind allergene Substanzen für Mensch und Tier. Das Auftreten einer hohen Schimmelpilzemission in der Stallluft kann besonders bei Sportpferden zu Atemwegsproblemen führen.

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 Systemmykose müssen auch Erkrankungen durch Hefen angeführt werden. Im Gegensatz zu Schimmelpilzen ist die krankmachende Wirkung durch Hefen stets an eine 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 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 empfindliche Haltungsschnitte sind die Trächtigkeit, die Laktation und die Ferkelaufzucht.

Bei Wiederkäuern ist davon auszugehen, dass die Mykotoxine in den Vormägen inaktiviert werden können, so dass mykotoxinbedingte Erkrankungen und Leistungsdepressionen eine geringere Bedeutung haben. Auch für das Geflügel ist von einer geringeren Empfindlichkeit auszugehen.

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

Während die Vermeidung des Schimmelpilzbesatzes nur über ordnungsgemäße Einlagerung und gegebenenfalls durch Zusatz konservierender Säuren abgesichert wird,

werden zur Detoxifikation von mit Mykotoxinen belasteten Futtermitteln in jüngster Zeit von verschiedenen Herstellern zahlreiche Futterzusätze als sogenannte Mykotoxinbinder angeboten. Durch ihre einfache und kurzfristige Handhabung über eine Futterzumischung gibt es für diese Produkte bei den Landwirten ein großes Interesse. Je nach chemischer Struktur lassen sich dabei zwei Wirkmechanismen unterscheiden:

1. Adsorbentien: Zusatzstoffe, die im Milieu des Verdauungstraktes Mykotoxine an sich binden und wieder ausgeschieden werden, was eine Resorption durch die Darmwand verhindert.

Beispiele: Bentonit, Zeolith, Klinofeed, Klinosan, Mycosorb, Aktivkohle

2. Mikroorganismen: Hefen oder Bakterienstämme als Zusatzstoffe, die eine vorwiegend enzymatische Zerstörung der toxischen Bindungsstruktur der Mykotoxinmoleküle bewirken.

Beispiele: Mycofix, Bierhefe

Für beide Produktgruppen lassen sich bei in vitro Untersuchungen eine je nach Mykotoxin differenzierte Bindungskapazität erkennen. Die wissenschaftlich bestätigte Wirkung im Tier auf die Fusarientoxine Zearalenon und Deoxynivalenol konnte in der Mehrzahl der Untersuchungen jedoch nicht erbracht werden. Auch ausgehend von veröffentlichten Herstellerangaben ist die Entgiftungswirkung für Zearalenon und besonders Deoxynivalenol in beiden Wirkgruppen gering und liegt deutlich unter der für Aflatoxin bzw. Ochratoxin A durch Adsorbentien.

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 dem Einsatz von Bierhefe lässt sich neben der möglichen Detoxifikationswirkung ausserdem eine für die Stabilisierung der Abwehrkraft günstige Ergänzung von Aminosäuren und Vitaminen des B-Komplexes erzielen. Bei einer Zumischung von 2 bis 3 % ergibt sich zusätzlich noch ein Kostenvorteil gegenüber der Mehrzahl der speziellen Mykotoxinbinder.

Ein hoher Mykotoxineintrag besonders von Trichothecenen führt zur Belastung der Entgiftungsfunktion der Leber und bewirkt durch Zellschädigung eine Herabsetzung der Abwehrkräfte. Als erfolgversprechende Gegenmaßnahme hat sich die Gabe hoher Dosierungen der die Immunabwehr stabilisierenden Vitamine C und E erwiesen. Ebenfalls sollen erhöhte Anteile der Spurenelemente Eisen, Selen und Mangan die Abwehrfunktion stabilisieren. Demgegenüber bleiben Behandlungen mit Antibiotika oder anderen Medikamenten in der Regel erfolglos.

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 Probenahme 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 Plastik 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 das

- Plattengussverfahren;
- 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 Probenahme 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 hochauflösende **Flüssigkeitschromatographie (HPLC)**, wie sie im Bereich der Spurenanalytik organischer Verbindungen zum Einsatz kommt. Kombiniert mit massenselektiven Detektoren 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 von Herstellern unterschiedlicher Güte angeboten. Prinzipiell gelten aber die in Pkt. 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 Waschschritt wieder entfernt. Der Nachweis erfolgt durch Zugabe eines Chromogens, welches mit dem an die Antikörper gebundenen Enzymkonjugat eine Farbreaktion eingeht. Nach Zugabe eines Stoppreagens 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 Futtermittelproben (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_r) und Vergleichsvariationskoeffizienten (V_R), die ein Maß für die Messunsicherheit sind, sind im ELISA Verfahren deutlich höher als im HPLC- Verfahren.

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 oder Zellkulturentests für OTA und Aflatoxin B1. Für die Prüfung komplex zusammengesetzter Futtermittel funktionieren diese Bioassays oft nicht.

Diese Methoden werden zurzeit noch in vergleichsweise wenigen Einrichtungen durchgeführt. 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 teurerer 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 60 bis 75 EURO und bei der ELISA-Methode 15 bis 25 EURO. Im Einzelfall sind die Preise telefonisch zu erfragen.