



## Neues zu Mykotoxinen und deren Problematik in der Fütterung

Prof. Dr. Drs. h.c. Winfried Drochner  
Institut für Tierernährung  
Universität Hohenheim

### 1. Einleitung

Mykotoxine sind Produkte des Sekundärstoffwechsels einer großen Zahl von Pilzen. Per Konvention unterscheidet man bei Futtermittelpilzbefall zwischen Feldpilzen und Lagerungspilzen.

Als Futtermittelverderbniserreger spielen unter den Feldpilzen die Fusarien eine maßgebliche Rolle, unter den Lagerungspilzen die Aspergillen und Penicillien.

Fusarien sind einfache Pilze, die das Getreide überwiegend vom Boden aus über Sporen, vor allem in der Phase der Blüte, infizieren. Penicillien und Aspergillen entwickeln sich in aller Regel erst bei der Lagerung.

So wird verständlich, dass es in erster Linie die Feldpilze sind, die in ihrer Entwicklung von den Bedingungen der Kultivierung (Witterung, Vorfrucht, Infektionsdichte) abhängig sind. Die Bildung von Toxinen der Lagerungspilze ist dagegen vorrangig abhängig von den Ernte- und den sich anschließenden Lagerungsbedingungen.

### 2. Toxine und ihre Wirkungen

Die Bedeutung der Lagerungspilze und ihre Toxinbildung (Ochratoxine und Aflatoxine) ist vielfach beschrieben worden. Häufigkeit und auftretende Konzentrationen sind einerseits in erster Linie eine Konsequenz unzureichender Nacherntetechnologien (Ochratoxine) also der Futtermitteltrocknungs-, Reinigungs- und Lagerungsbedingungen; die Aflatoxine sind andererseits vorrangig ein Importproblem, welches Getreide- und Körnerfrüchte der Tropen und Subtropen betrifft. Offensichtlich sind die durchschnittlichen

Lagerungstemperaturen in gemäßigten Zonen zu niedrig, um reale Dispositionen für Aflatoxinbelastungen zu schaffen. Die üblichen toxinbildenden Aspergillenstämme bilden nur unter höheren durchschnittlichen Umwelttemperaturen entsprechende Toxinsmengen.

In den folgenden Ausführungen sollen deshalb Informationen zu den Toxinen der Feldpilze im Vordergrund stehen.

Die Trichothecene sind die wichtigsten Toxine der Fusarien. Sie enthalten ein epoxidisch (also sehr reaktionsfähig) gebundenes Sauerstoffatom, eine aromatische Grundstruktur und einige unterschiedlich aufgebaute Seitenketten, die ihr Verhalten bei der Absorption und im Stoffwechsel beeinflussen können. Der wesentliche toxische Grundmechanismus dürfte dieses reaktionsfähige freie Sauerstoffradikal sein, dass z.B. Grundstrukturen der genetischen Information, die Nukleinbasen, besonders im Bereich vorhandener Doppelbindungen, verändern kann. Trichothecene können durch ihre schleimhauttoxische Wirkung vielfältig auf die Gesundheit von Nutztieren einwirken (Feinberg und Laughlin, 1989). Die Hauptwirkung ist eine Reduktion der Proteinsynthese. Auch die Wirkungsmechanismen dieser Proteinsynthesehemmung kennt man mittlerweile recht gut. Vor allem die Bindung der Toxine an ribosomale Untereinheiten der Zelle führt zu einer Hemmung der Peptidyltransferasen, die den Aufbau des Proteinmakromoleküls maßgeblich bestimmen.

Auch der Stoffwechsel - und die Enzymaktivitäten in dieser Grenzschicht - von den oberflächigen Schleimhautzellen des Darmes scheinen beeinflusst zu sein. Hierfür sprechen jedenfalls Untersuchungen von Madej et al. (1999). Da der Proteinumsatz der Darmzellen sehr hoch ist, kann man davon ausgehen, dass auch andere Organe mit hohem Proteinumsatz derartige Einflüsse deutlich zeigen.

Über Effektivität und Kinetik der Absorption von Trichothecenen ist wenig bekannt. Ein „Carry over“ im klassischen Sinne gibt es für diese Stoffe aber nicht, da die epoxidischen Strukturen im tierischen Gewebe ganz offensichtlich schnell transformiert werden.

Die große Trichothecengruppe umfasst etwa 10 verschiedene Toxintypen, die sich hinsichtlich ihrer toxischen Wirkungen und auch im Stoffwechselverhalten unterscheiden.

Nach der unten beschriebenen Häufigkeit des Vorkommens steht das DON (Deoxynivalenol) als bedeutsamstes Toxin im Vordergrund, auch wenn es nicht zu den toxischsten Stoffen gehört. In Baden-Württemberg haben wir (Drochner und Lauber, 2001) am zweithäufigsten das Nivalenol nachweisen können. Dieses Toxin ist jedoch toxischer als das Deoxynivalenol; freilich, die Diskussion über die Toxizitätsrelationen ist nicht abgeschlossen, so dass man dies derzeit auch nicht in Zahlen fassen kann. Mit Sicherheit liegt das toxische Potential des Nivalenols um den Faktor 2-3 höher. Noch toxischer, aber seltener vorkommend, ist das sogenannte T-2Toxin. Seine organ- insbesondere aber hautschädigende Wirkung wurde vielfach beschrieben. Bisher gibt es keine Hinweise auf eine eventuelle mutagene oder cancerogene Wirkung von Deoxynivalenol. Eine ähnliche Kontamination von cerealienhaltigen Lebensmitteln liegt nahe. Tatsächlich konnten wir in Hohenheim in Lebensmitteln pflanzlicher Herkunft mit durchaus hoher Häufigkeit entsprechende Toxinbelastungen finden, freilich mit deutlich niedrigerer mittlerer Konzentration (Schollenberger et al., 1999).

Ein weiteres toxisches Sekundärprodukt der Fusarien gehört einer ganz anderen chemischen Molekülklasse an: Das Zearalenon und seine Derivate.

Zearalenone bestehen aus einem Benzolring mit Alkoholgruppe und einer flexiblen Seitenringstruktur, die ein substituiertes Sauerstoffatom enthält. Damit ist dieser flexible Ring als Lakton zu kennzeichnen. Die Position der alkoholischen Gruppe im Benzolring ist mit jener von Östrogenen deckungsgleich. Dieses erklärt die Passerfunktion von Zearalenon zu den Östrogenrezeptoren, so dass infolge einer Zearalenonbelastung des Futters östrogenähnliche Wirkungen bei Tieren nach Futteraufnahme auftreten. Das Alpha-Zearalenol, ein alkoholisches Derivat, hat übrigens eine höhere Affinität zu den Rezeptoren, so dass hiermit viele früher schwer erklärliche Unterschiede in der Toxinwirkungsintensität, eine Erklärung finden können (Fitzpatrick et al., 1988).

### 3. Vorkommen und klinische Beobachtungen

Trichothecene sind weltweit verbreitet. Ihr Vorkommen ist unter mitteleuropäischen Bedingungen wohl weitgehend abhängig von den klimatischen Verhältnissen bei der Blüte des Getreides und vor allem auch von den Niederschlägen in der Vegetationszeit. Im Jahre 2002 hatten wir erhebliche Unterschiede in der Niederschlagsverteilung zwischen Nord- und Süddeutschland. Der recht regenreiche Frühsommer und Sommer in Norddeutschland stand relativ hohen Niederschlagsmengen in der Erntezeit in Süddeutschland gegenüber. Ein typisches „Fusarienjahr“, wie es Müller et al. (1997) für Baden-Württemberg z.B. für 1987 (siehe Tab.1.) nachweisen konnten, liegt nach unseren bisherigen Erhebungen für das Jahr 2002 jedoch nicht vor. Auch die zitierten Unterschiede im Witterungsverlauf und deshalb vermuteten Kontaminationsdifferenzen konnten von verschiedenen Labors wohl bisher nicht anhand von Analyseergebnissen bestätigt werden.

Tab.1 : Vorkommen von Mykotoxinen in Baden-Württemberg / Deutschland (Weizen, ug/g)

	DON			ZEARALENON		
	n / pos %	Spanne	Mittelwert	pos %	Spanne	Mittelwert
1987 BW	84 / 96	4 - 20580	1690	80	1 - 8040	180*
1992 BW	78 / 94	20 - 5410	340	19	1 - 20	4*
1998 D	52 / 85	100 - 34600	6820	72	10 - 2200	520**

BW=Baden-Württemberg, D=Deutschland insgesamt

\* Daten von Müller et al., 1997, Natural Toxins

\*\* Daten aus mehreren Quellen zusammengestellt, vermutlich höherer Anteil an Verdachtsproben.

Die Regenmengen in 1987 in Baden-Württemberg in der Sommerperiode lagen um 50% höher als im Jahr 1992. 1998 kann ähnlich wie 1987 als sogenanntes Fusarium-Jahr eingestuft werden.

DON ist das am häufigsten vorkommende Mykotoxin in deutschen Getreideproben. Die höheren Werte bei hohen Niederschlagsmengen in der Vegetationsperiode sind auffällig.

Die sehr hohen Werte für 1998 für DON mit einem Maximalwert von 34 mg sind vermutlich durch Vorselektion der Proben bedingt. Hohe Zearalenongehalte sind mit hohen DON-Gehalten oft gekoppelt. Bei mäßigen DON-Gehalten tritt die Zearalenonbelastung dagegen in den Hintergrund. Die absoluten Höchstwerte für DON liegen deutlich höher als jene für Zearalenon (siehe Daten von Müller et al. für 1997). Parallele Untersuchungen für die Rispengetreideart Hafer zeigten eindeutig eine geringere Befallsfrequenz auch in sogenannten Fusariumjahren (1987). Dieses gilt, obwohl Hafer als spätreife Getreideart in der Ernte häufiger ungünstigen Witterungsbedingungen ausgesetzt sein dürfte. Die Kontamination bei Gerste lag zwischen jener von Hafer und Weizen (Daten hier nicht gesondert aufgeführt).

Die bisher vorliegenden Ergebnisse zeigen also ein relativ hohes Kontaminationsrisiko für Deoxynivalenol bei Weizen, ein reduziertes bei Gerste und Hafer. Über 5 Jahre zeigte sich eine große Spannbreite beim Auftreten von DON von wenigen Mikrogramm bis hin zu Werten um 8 mg/kg und mehr. Dabei war die Zahl positiver Proben in allen Jahren in Weizen sehr hoch (oft über 80% aller Proben). Wirklich bedeutsam für die Praxis ist jener begrenzte Anteil an Proben mit Gehalten über 1 mg, der auch in schlechten Jahren unter 5% aller Proben liegen dürfte.

Die Häufigkeit des Zearalenonnachweises in üblichen Getreidearten liegt im langjährigen Vergleich deutlich niedriger als jene 80-85% bei DON. Und auch der ermittelte Durchschnittswert lag niedriger - in vielen Untersuchungen unter 50 Mikrogramm pro kg. Dennoch wurden andererseits vereinzelt Werte über 2-3 mg/kg Futtermittel und mehr nachgewiesen.

Eine Einschätzung des Schädigungspotentials für beide Toxingruppen ist nicht einfach vorzunehmen. Sie ist auch für beide Toxintypen unterschiedlich zu sehen. Man kann wohl davon ausgehen, dass das Schwein von den Nutztieren am empfindlichsten auf Zearalenon und Deoxynivalenol reagiert (Rotter und Prelusky, 1996). So wirkt sich die Dauer der Aufnahme bei Zearalenon deutlich kumulativ aus. Die eigentliche Toxizität ist jedoch gering. Dies bedeutet, dass mäßige Zearalenonkonzentrationen -über einen längeren Zeitraum gefüttert- sukzessiv die Östrogenrezeptoren „besetzen“ können und so ein klinisches Bild hervorrufen, das ansonsten nur bei höheren Dosierungen nachweisbar ist. Eine derart kumulative Wirkung der Trichothecene gibt es wohl nicht. Ihre Halb-

wertszeit in Geweben ist niedrig, eine bedeutsame Speicherung wurde bisher nicht nachgewiesen.

Die Toxizität der Trichothecene variiert, je nach Verbindung, sehr stark. Im Detail ist die Toxizität des DON als niedrig, jene des T-2 Toxins als hoch einzustufen.

Auch die Tierspezies ist für die Toxinwirkungen und die Empfindlichkeit bedeutsam. So erwiesen sich Wiederkäuer als recht widerstandsfähig gegenüber Trichothecenen und Zearalenon, vermutlich, weil im Pansen eine mikrobielle Deepoxidierung der Trichothecene und Verstoffwechslung des Zearalenons in intensiver Form stattfindet. Zum Schicksal des Zearalenons im Pansen unter unterschiedlichen Fütterungsbedingungen mangelt es aber noch an Untersuchungen. Wichtig wäre vor allem die Klärung der Frage, ob und in welchen Mengen Alpha-Zearalenol unter bestimmten Bedingungen im Pansen entstehen könnte. Eine Abhängigkeit der Toxinempfindlichkeit vom Alter und Geschlecht liegt für Zearalenon auf der Hand. Ganz besonders empfindlich sind junge weibliche Ferkel, wohl weil eine Rezeptoraffinität bereits vorhanden ist, andererseits die Konkurrenz der natürlichen Östrogene noch nicht gegeben ist. Geschlechtsspezifische Unterschiede in der DON-Wirkung wurden bisher nicht untersucht. Ältere Sauen erwiesen sich als weit weniger empfindlich; sie haben einen zyklisch hohen Östrogenspiegel, große Fettverteilungsräume und einen mikrobiell aktiven Intestinaltrakt, was die Zearalenontoleranz sehr stark beeinflussen kann.

Es ist nicht ganz von der Hand zu weisen, da es geschlechtsspezifische Unterschiede in der Proteinsyntheseleistung junger weiblicher, männlicher und männlich kastrierter Schweine gibt. Hierzu wären spezifische Untersuchungen, die es bisher nicht ausreichend gibt, besonders wichtig.

Bei den Trichothecenen führen hohe Konzentrationen zu einer absoluten Futterverweigerung, so dass klassische Vergiftungen kaum vorkommen. Chargen mit mittleren Gehalten an DON werden oftmals zunächst nur zögerlich und in verminderter Menge aufgenommen, es tritt jedoch oft ein Adaptationseffekt auf, der zu normalen Futteraufnahmemengen führt. Hier mag die intermediäre Deepoxidierung ebenso wie ein mikrobieller intestinaler Abbau der Toxine eine Rolle spielen (siehe hierzu Dillenburger et al., 2003). Diese Adaptation kann bei niedrigen und mittleren DON-Gehalten, die zunächst

auftretende reduzierte Futteraufnahme nach wenigen Tagen teils oder vollständig kompensieren. Die klar erkennbare Futterverweigerung nach DON-Belastung tritt - wie erwähnt - nur selten und bei recht hohen Dosierungen auf. Mit zunehmender besserer Kenntnis toxikologischer Wirkungen wird immer klarer, dass auch die früher als so bedeutsam beschriebene Wirkung des DON auf das zentrale Nervensystem (Erbrechen und sogar tremorgene Wirkung) beim Schwein erst bei recht hohen Konzentrationen vorkommt (Götz, 2003).

Die erwähnte Adaptation hat eine mikrobielle und eventuell auch eine intermediäre Komponente. (Die Bakterien im Intestinaltrakt sind in überschaubarer Zeit fähig, DON abzubauen - zu deoxygenieren, dabei ist bisher nicht klar, ob es sich um eine Enzyminduktion oder um eine selektive Anreicherung von Mikroorganismen des Intestinaltraktes mit einer diesbezüglichen Kapazität handelt, die diese Abbaufähigkeit besitzen).

Die Futteraufnahme ist ein weiterer, freilich sehr unspezifischer, Parameter zur Abschätzung von DON-Wirkungen. Sie ist bereits bei Dosierungen reduziert, bei denen noch keinerlei negative Wirkungen auf andere Parameter vermutet werden. Nach systematischer Erfassung und Auswertung von Literaturdaten durch Dänicke und Oldenburg (2000) scheint die Futteraufnahme beim wachsenden Schwein erst bei Konzentrationen um 1 mg wirklich nachhaltig und reproduzierbar vermindert. Es wird deshalb von den meisten Fachkollegen in Deutschland ein Vorschlag zur Festlegung eines Richtwertes von 1 mg für die Ernährung wachsender Schweine unterstützt.

Die Beziehung lässt sich auch durch eine Regression beschreiben (Daenicke und Oldenburg, 2000):

$$Y = -1,7 - 3,9 * X$$

Dabei ist Y der prozentuale Anteil an Minderung der Futteraufnahme und X die Menge an DON pro kg Futtermittel, angegeben in mg. Zur Bewertung dieser Regression sind einige Anmerkungen nötig:

Die folgenden weiteren Aspekte sind zu berücksichtigen:

- Fusarientoxine sind in einer größeren Charge in der Regel nicht homogen verteilt. Auf dem Felde können sich geradezu Fusarienareale ausbilden, die von mikroklimatischen Bedingungen, der Oberflächentextur, der Vorfrucht und den Bedingungen beim Sporenflug abhängig sind. Dieses führt zu einer Ungleichverteilung fusarienbelasteter Gerteildepartien in einer Charge. Dosishöhe und Dosisverteilung werden dadurch beeinflusst.
- In der Praxis kommen singuläre Konzentrationen mit nur einem Toxin ausgesprochen selten vor.
- Toxinwechselwirkungen sind bisher nicht systematisch untersucht. Vor allem die Interaktion mit Zearalenon, T-2-Toxin und Nivalenol wäre von ganz besonderem Interesse. Auch über ein eventuelles Zusammenwirken vorrangig hydrophober Toxine mit hydrophilen weiß man wenig.
- Die erwähnte Adaptation kann bei derartigen Regressionen kaum berücksichtigt werden.
- Die Bindungsform des Toxins scheint für die Wirkungseffektivität sehr bedeutsam. Hierauf scheinen Vergleiche zwischen den Wirkungsmodi isolierten Toxins und natürlich kontaminierter Chargen (Dillenburger, 2003) hinzudeuten.

Neben den Effekten für die Futteraufnahme werden eine Reihe weiterer toxischer Effekte beschrieben:

- Durchfälle und Hautschäden, wie sie in älteren Untersuchungen als Folge von DON-Belastungen geschildert wurden, haben wir nur in den seltensten Fällen beobachten können. Dabei steht die direkte hautschädigende Wirkung der meisten Trichothecene außer Frage.
- In einer neuen Arbeit (Götz, 2003) konnte unsere Arbeitsgruppe in Hohenheim jedoch zeigen, dass der Glukosespiegel und die Immunglobulin A-Konzentrationen bei jungen Ferkeln bereits auf Dosierungen oberhalb von 600 Mikrogramm/kg reagieren. Dieser

Befund kann unter chronischen Belastungsbedingungen sicherlich auch für Zuwachseleistungen und die immunologische Reaktion durchaus bedeutsam sein. Die gemessene Steigerung der IGA-Konzentration kann jedoch zunächst nur als Immunstimulation interpretiert werden. Immunstimulation und Immunsuppression sind aber sehr oft fließend ineinander übergehende Phasen. Deepoxidiertes DON erscheint im Blut, im Gewebe und in der Milch laktierender Sauen. Es hat eine deutlich niedrigere Toxizität als das Epoxid. Der Ort der Deepoxidierung dürfte das Darmgewebe, eventuell auch die Leber sein.

Insgesamt scheint der diskutierte Orientierungswert von 1 mg als Praxiswert nach den bisherigen Erfahrungen vertretbar und sinnvoll verwendbar. Für die Festlegung eines gesetzlich relevanten Grenzwertes wird er eine Diskussionsbasis sein können.

Zearalenon zeigt östrogenähnliche Wirkungen auch und gerade bei ganz jungen Tieren. Mit geschwollener Vulva geborene Ferkel deuten auf eine Zearalenonbelastung des Muttertieres hin. Alternative östrogene Ursachen sind jedoch auch zu beachten. Eigene Untersuchungen mit mäßig kontaminiertem Futter um 50 Mikrogramm Zearalenon/kg Futter ergaben bei weiblichen wachsenden Läuferschweinen eine östrogenähnliche Wirkung nach Ablauf von fast drei Wochen nach Beginn der Belastung. Die Gefahr von Zystenbildung nach einer solchen Exposition ist groß. Neben einer Pseudodauerbrunst treten bei ganz jungen Ferkeln Vulvablutungen auf. Sogenannte Spreizerferkel haben wir gekoppelt mit dem Auftreten des Zearalenonsyndroms des öfteren beobachten können. Hier fehlt es aber an gezielten Untersuchungen, um eine eventuell retardierte Ausreifung der Muskulatur und die Zearalenonbelastung wirklich in einem Zusammenhang beurteilen zu können. Bei männlichen Tieren fällt die ödemähnliche Ausbildung der Mammakomplexe und eine ödemartige Aufschwemmung des Präputialgewebes auf. Männchen vor allem aber Weibchen unter Zearalenonbelastung zeigen Verhaltensabweichungen, erhöhte Unruhe, reduzierte Futteraufnahme, verstärkte Frequenz der Aufreitversuche und gelegentlich Beißereien, die bis zum Kannibalismus führen können.

Diskrepanzen zwischen ermittelter Toxinkonzentration und der Ausprägung tatsächlich auftretender östrogenähnlicher Wirkungen wurden mehrfach beschrieben. Die Ursachen hierfür sind nicht klar. Mögliche Erklärungen sind:

- Unterschiede im Alter, was mit Spezifität der Rezeptoren, und der „Konkurrenz natürlicher Östrogene um die Rezeptorbindungsstellen zusammenhängen kann,
- variierende Verfügbarkeit des im Futter enthaltenen Zearalenons,
- Unterschiede in der Glukuronidierungsaktivität (Zearalenone werden nach Absorption mit Glukuronsäure gekoppelt und teils über die Galle, teils über den Harn ausgeschieden), was auch mit der Dauer der Exposition und der Reife zusammenhängt,
- Differenzen in der intestinalen Inaktivierung (offensichtlich sind bestimmte Intestinalbakterien zu einer Verstoffwechslung des Zearalenons fähig)
- unterschiedliche Relationen zwischen Zearalenon und Alpha-Zearalenol, welches ja eine wesentlich höhere Rezeptor-Affinität hat.

Die diskutierten Richtwerte sehen für weibliche Ferkel eine Begrenzung bei 50 Mikrogramm pro kg Futtermittel vor, für Sauen dagegen bei 250 Mikrogramm. Damit wird die deutlich höhere Toleranz der Sauen (und schweren Mastschweine) gegenüber einer Zearalenonbelastung berücksichtigt.

#### **4. Maßnahmen und Strategien zur Prophylaxe und Reduktion der Toxinbelastung kontaminierter Chargen**

Pflanzenbau:

Maßnahmen: Eine Forschergruppe der DFG hat sich in Hohenheim über viele Jahre mit eventuellen Prophylaxemaßnahmen beschäftigt. Sie kann in pflanzenbaulichen Maßnahmen, in der Resistenzzüchtung und im sachgerechten Einsatz von Spritzmitteln bestehen.

In der Fruchtfolge bietet sich eine Hackfruchtvorfrucht vor Getreide an, eventuell von Hafer vor Weizen, wenn eine getreidereiche Fruchtfolge nicht vermeidbar ist. Risiken bietet die Getreidenachfolgefrucht nach Körnermais. Eine tiefe Pflugfurche mindert den

Sporenflug im Folgejahr, Minimalbodenbearbeitung und Strohdüngung fördert ihn. In gefährdeten Gebieten hat man verringerte Aussaatdichte und reichliche Düngung als potentielle Prophylaxe-Faktoren geprüft, die Ergebnisse sind nicht immer eindeutig. Zusammenfassend kann man sagen, dass alle Faktoren, die die Reinfektion des Bodens durch Pflanzenreste mindern und die ein gutes Abtrocknen der Ähren (Sortenwahl!) in regenreichen Sommern gewährleisten, sicherlich zur Verminderung der Disposition zu Fusarientoxinbelastungen beitragen. Verfahren des ökologischen Landbaus sind bei Einhaltung bestimmter Grundprinzipien, z.B. Verzicht auf Mais und bei Vermeidung getreidereicher Fruchtfolgen, zumindest ein Ansatz, um die Fusarienbelastung zu senken. Bei Untersuchungen von Lebensmitteln aus ökologischem Anbau ließ sich bei einer begrenzten Zahl von Untersuchungen jedoch kein grundsätzlicher Vorteil dieser Wirtschaftsform hinsichtlich Nachweisfrequenz und Höhe der Kontamination ermitteln (Schollenberger et al., 2001).

Die Resistenzzüchtung bietet ganz offensichtlich ein gutes Potential, da die genetische Vielfalt vieler Getreidearten hinsichtlich Fusarienresistenz Chancen eröffnet. Nach Miedaner et al. (2000) sind etwa sieben neuere Weizensorten als gut oder zumindest begrenzt fusarienresistent einzustufen. Die Behandlung von wachsendem Getreide mit Spritzmitteln erwies sich nur teilweise als effektiv. Wichtig ist nicht nur eine Reduktion des Myzelbesatzes sondern auch der Toxinkonzentration. In unserer Forschergruppe in Hohenheim konnte sogar gezeigt werden, dass bei Einsatz nur teilwirksamer Spritzmittel ein Rückgang der Myzelmasse begleitet sein kann von einem Anstieg der Toxinkonzentration. Es gilt also Mittel oder Mittelkombinationen einzusetzen, die neben der Pilzreduktion auch eine ausreichende Minderung der Toxinbildung sicherstellen.

Auch mikrobielle Enzymsysteme, die einen Abbau von Trichothecenen und Zearalenon katalysieren, könnten auf mittelfristige Sicht zu einer Minderung der toxischen Wirkung beitragen. Dieses könnte einerseits durch Etablierung transgener Sorten zu einer speziellen Pflanzenresistenz genutzt werden, zum anderen könnten solche Enzymsysteme bei biotechnischer Produktion auch als Zusatzstoffe zu Futter Verwendung finden.

Technische Maßnahmen zur Sicherstellung der Fütterungswürdigkeit belasteter Chargen.

Der Abbau von Trichothecenen und Zearalenon in Getreide während der Lagerung ist begrenzt. Bei halbjähriger Getreidelagerung lagen die Rückgänge der DON-Konzentration nur bei wenigen Prozent (Drochner, unveröffentlicht). Bei Silierung sind die insgesamt stets recht geringen Abbauraten beider Toxine u.a. von Dauer, Intensität der Fermentation und pH-Wert abhängig. Hitze und Druck haben allein kaum einen Effekt.

Etwas effektiver sind die Effekte durch Waschen, Reinigen, Abtrennen der Schmachtkörner, Schälen, Mahlen und Sieben. Hierbei spielt die Intensität des Pilzbefalls eine Rolle. Oberflächlich wachsender Pilzrasen lässt sich ggf. durch Sieben und Windfege bereits effektiv vermindern. Untersuchungen im Institut für Phytopathologie, Hohenheim, (Kang und Buchenauer, 2000) haben zeigen können, dass die Besiedlung des Korns von außen nach innen erfolgt. Ferner ist unbestritten, dass auch bei erheblich verpilzten Körnern ein großer Teil des Endosperms noch unbelastet sein kann. In der Naßmüllerei gibt es offensichtlich für Zearalenon eine unterschiedliche Affinität zu verschiedenen Schalen- und Proteinfractionen, während das reine Mehl eher nur gering mit Toxinen belastet ist. Hierzu fehlt es aber an speziellen Untersuchungen. Für die Rationsgestaltung ist also bei Klebermehlen zumindest an eine gewisse erhöhte Disposition für Zearalenonbelastungen zu denken.

Durch Abtrennen der Schalen ist eine Toxinreduktion bis zu 30% erreichbar. Andererseits zeigt dieses die erhöhte Kontaminationsgefahr bei kleiereichen Futter- und Lebensmitteln.

Der Effekt reinen Waschens (mit anschließender Trocknung) wurde bisher nicht geprüft, er dürfte aber höher liegen als der Effekt mechanischen „Putzens“. Der Einsatz von Waschlösungen z.B. alkalischer Qualität (z.B. Carbonate) ist in der Erprobung. Ähnlich wie durch Behandlung mit Alkali und Hitze ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) sowie mit Methylaminen ist der Effekt oft nicht sicher genug. Parallel ist die Akzeptanz solch vorbehandelter Chargen oft erheblich in Mitleidenschaft gezogen, so dass nur mäßige Dosierungen in der praktischen Rationsgestaltung verwendet werden können.

Ist eine Getreidecharge als belastet erkannt, so gilt es, ihre Fütterungswürdigkeit einzuschätzen. Für Schweine sind Werte von weniger als 1 mg DON pro kg lufttrockenen Futtermittels als noch tolerierbar einzustufen. Dieses bedeutet, dass in Einzelfällen nach Beginn der Fütterung eines solchen Futtermittels leichte Rückgänge der Futteraufnahme in Kauf genommen werden müssen. Getreidechargen, die entsprechend belastet sind, können durch Verschneiden verwertet werden. Bei Zearalenonbelastungen ist die Verwendung bei ganz jungen weiblichen Tieren zu vermeiden, Sauen sollten längerfristig ebenfalls vor höheren Zearalenonaufnahmen (über 250 Mikrogramm pro kg) geschützt werden.

Nach wie vor intensiv diskutiert wird die Wirksamkeit von sogenannten Toxinbindern, eventuell im Zusammenwirken mit einem Enzymzusatz, der die Toxine abbauen kann. Eine allgemeine Beurteilung der Wirksamkeit solcher Zusatzstoffe verbietet sich. Eine gewisse Zurückhaltung ist aber angezeigt. Der Toxinbinder muss einerseits effektiv andererseits aber spezifisch genug sein. Bei der unterschiedlichen Verhaltensweise allein der Trichothecene ist leicht abzuleiten, wie schwierig die eventuelle Wirksamkeit eines solchen Binders (Silikate, Bentonite, auch Zellwandmaterialien werden eingesetzt) vorherzusagen ist. Praxisbeobachtungen scheinen einerseits eine realistische Wirksamkeit zu beweisen, andererseits sind unter solchen Bedingungen auch Nebeneinflüsse wie etwa Adaptationseffekte, zu berücksichtigen.

Aber auch die Rationsgestaltung lässt einige Möglichkeiten der Verwendung belasteter Chargen offen.

Bei Werten über 2 mg DON und über 500 Mikrogramm Zearalenon ist Vorsicht angebracht. Verschneiden, eine Verwendung als Feuchtfutter (auch um die Einatmung belasteten Staubes zu verhindern), eventuell auch ein Einsatz beim Wiederkäuer sind als Alternative in Erwägung zu ziehen. Auch Mastgeflügel erwies sich gegenüber derartigen DON-Belastungen als ausgesprochen resistent.

Die obigen Ausführungen zeigen, dass es sowohl für Trichothecene wie auch bei Zearalenon eine altersbedingte Anpassung gibt, dass also ältere Tiere widerstandsfähiger sind als junge. Erfahrungsgemäß ist allgemein Hühner-Geflügel auch widerstandsfähiger.

ger als das Schwein. Mittlere DON- und Zearalenonbelastungen -z.B. in Mais- werden von Mastbullen in der Regel ohne messbare Zuwachseinbußen toleriert.

Zum Schluss sei noch kurz erwähnt, wie mit erheblich von Fusarientoxin belastetem Getreide zu verfahren ist. Ist die Verfütterungswürdigkeit nicht mehr gegeben, kommen Kompostierung, Fermentation in der Biogasproduktion und Verbrennen in Frage. Beim Kompostieren muss mit erheblichen Sporenbelastungen des Fertigkompostes gerechnet werden. Die Erfahrungen mit der Biogasproduktion sind nur begrenzt. Theoretisch müssten auch höher kontaminierte Chargen gut verwertet werden, freilich ist mit einer antibiotischen Wirkung vieler Mykotoxine zu rechnen, so dass die Dosierung von der Kontaminationshöhe abhängig sein dürfte.

## **Literaturverzeichnis**

Daenicke, S. und E. Oldenburg (Hrsgb.) (2000): Risikofaktoren für die Fusariumtoxinbildung in Futtermitteln und Vermeidungsstrategien bei der Futtermittelerzeugung und Fütterung. Landbauforschung Völkenrode 216, 1-138.

Dillenburger, T.(2003): Vergleich der Wirkungen nativ gebundenen und reinen Toxins (DON) auf das wachsende Schwein. Diss. In Vorbereitung.

Drochner, W. und U. Lauber (2001): Occurrence of the three important Fusarium-toxins Deoxynivalenol, Nivalenol and Zearalenol in grains in Central Europe and effects in farm animals.Proc. Soc. Nutr. Physiol. 10,163-168.

Fitzpatrick D. W. et al. (1988): Comparison of the trichothecenes deoxynivalenol and T-2 toxin for their effects on brain biogenic amines in the rat. Toxicol.letters 40, 241-245

Feinberg, B. and C.S. McLaughlin (1989): Biochemical mechanism of action of trichothecene mycotoxins. I: Beasley,V.R.(ed.): Trichothecene mycotoxicosis: Pathophysiological effects. Vol. I. CRC Press. Inc. Boca Raton, Florida, 27-35.

- Götz, S. (2003): Zur Wirkung steigender Konzentrationen isolierten DONs auf physiologische Parameter des wachsenden Schweines. Diss. Univers. München/Hohenheim, in Vorbereitung.
- Kang, Z. und H. Buchenauer (2000): Cytology and ultrastructure of the infection of wheat spikes by *Fusarium culmorum*. *Mycol. Res.* 104, 1083-1093.
- Madej, M., T. Lundh und J.E. Lindberg (1999): Effect of exposure to dietary nivalenol on activity of enzymes involved in glutamine catabolism in the epithelium along the gastrointestinal tract of growing pigs. *Arch. Anim. Nutr.* 52, 275-284.
- Miedaner, T., C. Reinbrecht, M. Schollenberger und U. Lauber (2000): Vorbeugende Maßnahmen gegen Befall mit Ährenfusariosen und Mykotoxinbelastung des Getreides. *Mühle und Mischfutter* 137, 485-489.
- Müller, H.-M., J. Reimann, U. Schumacher und K. Schwadorf (1997): *Fusarium*-Toxins in wheat harvested during six years in an area of south west Germany. *Natural Toxins* 5, 24-30.
- Rotter, A.B. und D.B. Prelusky (1996): Toxicology of Deoxynivalenol (Vomitoxin) . *J. Toxicol. Environm. Health*, (48) 1-34.
- Schollenberger, M., S. Suchy, H. Terry Jara, W. Drochner und H.-M. Müller (1999): A survey of *Fusarium* toxins in cereal based foods marketed in an area of south west Germany. *Mycopathologia* 147, 49-57.