

## **Aspekte der Mykotoxinproblematik in der landwirtschaftlichen Produktion**

ELISABETH OLDENBURG und GERHARD BREVES

Institut für Grünland- und Futterpflanzenforschung  
und  
Institut für Tierernährung

Nach einem von den Instituten veranstalteten Kolloquium vom 8. März 1988

### **1. Einleitung**

Durch pilzlichen Verderb von Nahrungs- und Futtermitteln und die Intoxikation von Nutztieren mit Pilzgiften entsteht der Landwirtschaft erheblicher wirtschaftlicher Schaden. Darüber hinaus kann auch der Mensch bei Verzehr von pflanzlichen und tierischen Nahrungsmitteln, die mit Mykotoxinen belastet sind, in seiner Gesundheit gefährdet werden. Das Auftreten von Mykotoxinen in der landwirtschaftlichen Produktion wird von zahlreichen und sehr komplexen Ursache-Wirkungsbeziehungen bestimmt, die analytisch oft nur sehr schwer erfassbar sind und in die nur begrenzt steuernd eingegriffen werden kann. Da praxisgerechte Verfahren zur Entgiftung von bereits mykotoxinbelasteten Lebens- und Futtermitteln bisher nicht zur Verfügung stehen, kommt den prophylaktischen Maßnahmen gegen einen Pilzbefall, der immer Voraussetzung für die Toxinbildung ist, eine besondere Bedeutung zu.

Im folgenden werden einige grundlegende und aktuelle Aspekte zur Mykotoxinproblematik in der Nahrungskette dargestellt, die die Komplexität des Problems sowie Ansatzpunkte für weitere Forschungsarbeiten aufzeigen sollen.

### **2. Toxinbildende Schimmelpilze**

#### **2.1 Pilzgattungen und biologische Wirkung der Toxine**

Mykotoxine werden von ubiquitär verbreiteten Schimmelpilzen als Sekundärmetabolite gebildet. Es sind über 40 Pilzgattungen mit potentiell toxinbildenden Species bekannt (Samuels, 1984). Diese Schimmelpilze sind in der Lage, unter bestimmten Bedingungen eine Vielzahl von toxischen Stoffwechselprodukten zu erzeugen, die im einzelnen noch nicht vollständig erfaßt sind. Die Toxine werden während des saprophytischen oder parasitären Pilzwachstums auf pflanzlichen Nahrungs- und Futtermitteln gebildet und entweder in den Mycelien bzw. Fruktifikationsorganen gespeichert oder in das umgebende Milieu abgegeben.

Bisher sind ca. 400 verschiedene Mykotoxine chemisch identifiziert worden. Es handelt sich bei diesen Stoffen um niedermolekulare Substanzen von unterschiedlicher Struktur (Cumarine, Xanthone, Laktone, Pyrone, Chinone, Trichothecene u. a.), die vielfältige biologische Wirkungen im tierischen und menschlichen Organismus hervorrufen (Cole und Cox, 1981). Einige wichtige Mykotoxine der in Nahrungs- und Futtermitteln häufig vorkommenden Pilzgattungen Fusarium, Aspergillus und Penicillium sind in den Tabellen 1 und 2 dargestellt. Die von Fusarien gebildeten Trichothecene wirken haut- und schleimhautschädigend und beeinträchtigen die Funktion der blutbildenden Zentren und des Nervensystems (Schweighardt und Schuh, 1981). Zearalenon greift in

hormonelle Regelkreise ein und hat aufgrund seiner östrogenen Wirkung negative Folgen auf die Fruchtbarkeit (Kuiper-Goodman et al., 1987). Die von Aspergillus-Arten gebildeten Aflatoxine sind gefürchtete, stark hepatotoxische und kanzerogene Gifte. Wegen der besonders hohen Toxizität unterliegen die wichtigsten Aflatoxine in der Bundesrepublik Deutschland bisher als einzige Mykotoxine lebens- und futtermittelrechtlichen Höchstmengenregelungen (Mücke und Schulze, 1981). Das Ochratoxin A, von Aspergillen und Penicillien gebildet, ist in seiner Gefährlichkeit mit den Aflatoxinen vergleichbar. Ochratoxin A wirkt stark nieren- und leberschädigend und hat außerdem immunsuppressive, kanzerogene und teratogene Eigenschaften (Röschenthaler et al., 1984). Das ebenfalls von Aspergillus- und Penicillium-Arten erzeugte Citrinin wird oft zusammen mit Ochratoxin A gebildet und wirkt hauptsächlich nephrotoxisch (Krogh et al., 1973).

Aufgrund ihrer gefährlichen Eigenschaften wurden in den letzten Jahren große Anstrengungen unternommen, um Verfahren zum qualitativen und quantitativen Nachweis von Mykotoxinen zu entwickeln. Heute stehen für eine Reihe von Mykotoxinen, die bislang jedoch nur einen geringen Teil der bekannten Toxine repräsentieren, physikalisch-chemische, serologische und biologische Nachweisverfahren zur Verfügung (Olsen et al., 1985; Kingston, 1979; Lepom, 1986; Chaytor und Saxby, 1982; Romer et al., 1978; Tanaka et al., 1985; Cole et al., 1986; Lee und Chu, 1984).

#### **2.2 Bedingungen für Pilzwachstum und Toxinproduktion**

Das Wachstum von Schimmelpilzen ist an bestimmte Milieubedingungen gebunden, deren Grenzwerte jedoch je nach Art der Pilze variieren können. Wesentliche Einflußfaktoren sind der Wassergehalt und das Nährstoffangebot des Substrates, der Sauerstoffgehalt und die Feuchtigkeit der Atmosphäre, die Temperatur und der pH-Wert. Substratwassergehalte von mindestens 14 - 20 % sind Voraussetzung für die Entwicklung von Schimmelpilzen (Orth, 1981). Als aerobe Mikroorganismen benötigen Pilze grundsätzlich Sauerstoff zum Wachstum, jedoch sind einige Arten befähigt, auch unter mikroaerophilen Bedingungen zu leben. Die optimalen Wachstumstemperaturen liegen bei 20 bis 35 °C, die Toleranzgrenzen schwanken jedoch in einem weiten Bereich von 0 bis 55 °C. Bezüglich des pH-Wertes bevorzugen Pilze ein saures Milieu, der optimale Bereich liegt meist bei 4,5 bis 6,5; doch werden auch tiefere pH-Werte vertragen (Orth, 1981). Nahrungs- und Futtermittel mit saurem pH - wie z. B. Silagen - bieten daher bei Zutritt von Sauerstoff günstige Voraussetzungen für die Entwicklung von Schimmelpilzen.

Die Mykotoxinbildung ist nicht unmittelbar an eine Zunahme der Pilzmycelmasse gebunden. Die für das Pilzwachstum optimalen Bedingungen fördern daher nicht zwangsläufig auch die Toxinbildung. Mykotoxine werden vielmehr oft gerade in einer späteren Wachstumsphase gebildet, wenn un-

günstige Umweltbedingungen das Zellwachstum des Pilzes einschränken. Aufgrund der großen Variabilität in der Toxinbildungspotenz unterschiedlicher Pilzarten und Pilzstämmen ist es schwierig, Grenzbedingungen für die Bildung bestimmter Toxine in Abhängigkeit von einzelnen Umweltfaktoren anzu-

Tabelle 1: Struktur und biologische Wirkung von Fusariumtoxinen

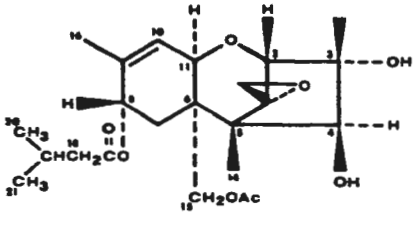
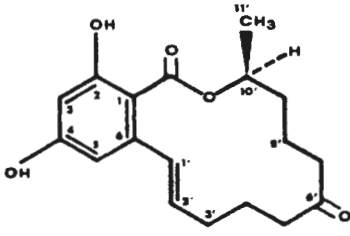
Toxin	Trichothecene	Zearalenon
Strukturformel	 <p style="text-align: center;">HT-2-Toxin</p>	 <p style="text-align: center;">Zearalenon</p>
Derivate	T-2 Toxin, Diacetoscirpenol, Deoxynivalenol u. a. ~ 70 Derivate	Zearalenol, Curvularin, Monorden u. a. mind. 20 Derivate
produzierende Species	Fusarium graminearum F. culmorum F. poae F. roseum F. tritinctum u. a.	Fusarium graminearum F. roseum F. nivale F. tritinctum F. oxysporum u. a.
biologische Wirkung	dermatotoxisch neurotoxisch hämorrhagisch teratogen immunsuppressiv nekrotisierend	östrogen kanzerogenverdächtig antibakteriell

Tabelle 2: **Struktur und biologische Wirkung von Aspergillus- und Penicilliumtoxinen**

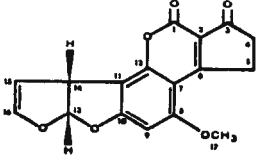
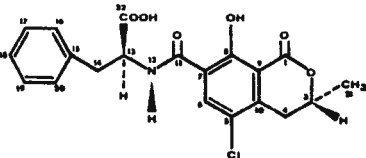
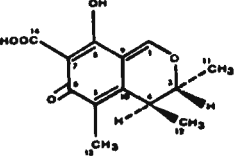
Toxin	Aflatoxine	Ochratoxine	Citrinin
Strukturformel	 Aflatoxin B <sub>1</sub>	 Ochratoxin A	 Citrinin
Derivate	B <sub>2</sub> , B <sub>3</sub> , G <sub>1</sub> , G <sub>2</sub> , M <sub>1</sub> , M <sub>2</sub> , P <sub>1</sub> , Q <sub>1</sub> u. a.	4-Hydroxyochratoxin A, Ochratoxin B, C	Decarboxycitrinin, Ascochitin u. a.
produzierende Species	Aspergillus flavus A. parasiticus	Aspergillus ochraceus A. sulphureus A. melleus Penicillium verrucosum P. palitans u. a.	Penicillium citrinum P. viridicatum P. expansum P. notatum Aspergillus candidus A. terreus u. a.
biologische Wirkung	kancerogen cytotoxisch hepatotoxisch konvulsiv hämorrhagisch	nephrotoxisch immunsuppressiv kancerogen teratogen antibakteriell	nephrotoxisch kancerogen teratogen mutagen phytotoxisch antibakteriell

Tabelle 3: **Pilzwachstum auf pflanzlichen Nahrungs- und Futtermitteln: Beeinflussende Faktoren**

	Fördernde Einflußfaktoren	Gegenmaßnahmen
Pflanzenwachstum	<p><b>Witterung:</b> Feuchtigkeit</p> <p><b>Sorte:</b> Anfälligkeit gegen Pilzbefall, Stengelbruch, Insektenbefall</p> <p><b>Standort:</b> Problemstandort, Grenzlagen</p> <p><b>Anbau:</b> hohe Bestandesdichte, einseitige Fruchtfolge, Ernterückstände auf Boden</p> <p><b>Düngung:</b> hohe N-Düngung, bes. bei niedriger P- und K-Versorgung</p> <p><b>Unkraut/Schädlingsbekämpfung:</b> selektiv auf Mikroflora wirkende Agrochemikalien</p>	<p>keine Sortenwahl</p> <p>günstigen Standort wählen mittlere Bestandesdichte, vielseitige Fruchtfolge, Ernterückstände unterpflügen</p> <p>harmonische Düngung, N-Entzugs-Düngung</p>
Ernte	<p><b>Witterung:</b> Feuchtigkeit</p> <p><b>Zeitpunkt:</b> Späte Erntezeit, bes. bei frühen Sorten</p> <p><b>Technik:</b> Mechanische Beschädigung des Erntegutes, Verschmutzung mit Erde</p>	<p>Ernte bei trockener Witterung rechtzeitige Ernte</p> <p>Mechanische Beschädigung einschränken, Verschmutzung vermeiden</p>
Konservierung/ Lagerung	<p><b>Trocknung:</b> hoher Restfeuchtegehalt, Verzögerung des Trocknungsprozesses</p> <p><b>Silierung:</b> Mikroaerophiles bis aerobes Milieu</p> <p><b>Lagerung:</b> Luftfeuchtigkeit &gt; 80 %, hohe Temperaturen</p>	<p>Feuchtigkeit auf ≤ 14 % erniedrigen, zügig trocknen</p> <p>schnelle Einsilierung, sorgfältige Abdichtung, Zugabe von chem. Stabilisatoren</p> <p>trocken lagern, kühl lagern ≤ 10 °C</p>

geben. Eine Mykotoxinbildung ist somit nur dann sicher auszuschließen, wenn das Wachstum von Schimmelpilzen generell verhindert werden kann.

### 3. Einflussfaktoren auf Pilzwachstum und Toxinbildung in pflanzlichen Nahrungs- und Futtermitteln

Die Gefahr einer Pilzkontamination von pflanzlichen Nahrungs- und Futtermitteln beginnt mit der Entwicklung im Feld und setzt sich fort während der Ernte sowie der Konservierung und Lagerung.

Während der Feldphase sind witterungs- und anbautechnische Einflussfaktoren ausschlaggebend für das Ausmaß von Pilzbefall und Toxinkontamination auf lebendem Pflanzenmaterial. Es ist davon auszugehen, daß die in den letzten Jahrzehnten erfolgten Veränderungen in den pflanzenbaulichen Produktionsverfahren das Mykotoxinproblem verstärkt haben (Leibetseder, 1981). Risiken können u. a. durch den Anbau ertragreicher, aber anfälligerer Hochleistungs- und Hybridsorten auf ungünstigen Standorten, durch einseitige Fruchtfolgen, eine unharmonische, einseitige mineralische oder organische Düngung sowie den Einsatz selektiv wirkender Agrochemikalien entstehen (Wimmer, 1977; Spicher, 1981).

Erntetechnologien, die Pilzinfektionen durch mechanische Beschädigung des Ernteproduktes begünstigen, späte oder witterungsbedingt ungünstige Erntezeitpunkte sowie am Boden verbleibende Ernterückstände, die nachfolgende Feldfrüchte infizieren können, sind als weitere Risikofaktoren anzusehen.

Während der Konservierung und Lagerung von Nahrungs- und Futtermitteln sind wiederum vielfältige Einflussfaktoren ausschlaggebend für die Zusammensetzung und Aktivität der mikrobiellen Begleitflora. Verzögerungen im Trocknungsprozeß bis zur Lagerstabilität, zu hohe Restfeuchtigkeit im Trockengut, Lufteintrag im Silierprozeß sowie hohe Luftfeuchtigkeit und Temperaturen während der Lagerung wirken fördernd auf Pilzwachstum und Toxinbildung (Spicher, 1981; Jacques, 1987).

Der Pflanzenaufwuchs im Feld kann, im Gegensatz zu den technisch gut kontrollierbaren Konservierungs- und Lagerbedingungen, wegen des Witterungseinflusses und der ubiquitären Verbreitung der Schadpilze nur begrenzt vor Pilzbefall geschützt werden. Es sollte jedoch möglich sein, durch geeignete Maßnahmen infektionsfördernde Faktoren im Bereich der Anbautechnik zu vermeiden und damit das Kontaminationsrisiko auf das unvermeidbare Maß zu reduzieren (Tab. 3).

Voraussetzung wären jedoch systematische Untersuchungen, die quantitative Aussagen über die Wirkung von pflanzenbaulichen Einflussfaktoren auf Pilzwachstum und Toxinbildung zulassen.

In der Bundesrepublik Deutschland wurden bisher derartige Versuche noch nicht durchgeführt. Ansatzweise liegen einige Ergebnisse aus dem Ausland (Österreich, Großbritannien, USA, Kanada) vor (Wimmer, 1977; Booth und Taylor, 1976; Anderson et al., 1975; Biedermann et al., 1980; Atlin et al., 1983).

Der Einfluß einiger konservierungstechnologischer Parameter auf Mikroflora und Toxinbildung wurde für verschiedene Trocken- und Feuchtkonservierungsverfahren mit Mais, Weizen und Mischfutter untersucht (Müller und Thaler, 1989; Müller et al., 1981; Müller und Hörber, 1982;

Müller et al., 1985; Mühlbauer et al., 1981), jedoch sind auch hier weitere Forschungen zur Definition von Grenzbedingungen und eine Optimierung der bekannten Verfahren mit dem Ziel der Minimierung von pilzlichem Verderb erforderlich.

### 4. Vorkommen von Schimmelpilzen und Mykotoxinen in heimischen Getreiden und Futtermitteln

Aufgrund der artmäßigen Unterschiede in der Zusammensetzung der Mikroflora auf wachsenden Pflanzen und in geernteten, konservierten und lagernden Produkten wird in nicht streng wissenschaftlichem Sinne von sogenannter "Feld"- und "Lagerflora" gesprochen. Zu dieser Feldflora in mitteleuropäischen Getreidebeständen gehören u. a. Vertreter der Gattungen *Fusarium*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Rhizopus* und *Cephalosporium*. Als zur Lagerflora gehörig gelten hauptsächlich *Aspergillus* und *Penicillium* neben eher vereinzelt auftretenden Gattungen *Mucor*, *Rhizopus*, *Asidia* u. a. (Spicher, 1981).

Die in der Bundesrepublik Deutschland durchgeführten Untersuchungen zur Mykotoxinproblematik befaßten sich überwiegend mit der mikrobiologischen und physikalisch-chemischen Analytik von Körnerfrüchten und Mischfutter. (Gruber und Thalmann, 1981; Gareis et al., 1985; Gedek, 1983; Schmidt 1975; Bauer et al., 1980; Duben und Fehrmann, 1979 und 1980; Müller und Espe, 1984; Engelhardt et al., 1984; Thalmann, 1986).

Der Schwerpunkt lag dabei auf dem Nachweis von Fusarien und deren Toxine Zearalenon und Trichothecene. Über das Vorkommen anderer wichtiger Pilzspecies und Mykotoxine sind bisher nur wenige Untersuchungen durchgeführt worden (Gruber und Thalmann, 1981; Schmidt, 1975; Bauer und Gareis, 1987). Es fehlen daher umfassende Erhebungsstudien über Pilzspecies bzw. Toxine, die in bestimmten Regionen und bei bestimmten Nahrungs- und Futtermitteln überhaupt aktuell sein können und sind.

Angaben über die in heimischen Getreiden und Futtermitteln häufiger nachgewiesenen Schadorganismen und Toxinkonzentrationen sind in den Tabellen 4 und 5 zusammengestellt. Die angegebenen Toxingehalte stammen aus verschiedenen und nicht repräsentativen Untersuchungen und sollen lediglich einen Eindruck über das Spektrum der gemessenen Konzentrationen geben. Die gefundenen Toxingehalte variierten je nach Herkunft, Jahrgang, Vorbehandlung der Proben, Art der Probenahme usw. meist zwischen 5 und 1000 µg/kg. Es wurden aber auch einzelne Toxine, die der Gruppe der Trichothecene angehören, in z. T. erheblich höheren Konzentrationen von 13 - 32 mg/kg nachgewiesen.

Aus dem vorhandenen Datenmaterial können jedoch aufgrund der mangelnden Angaben über die Herkunft bzw. die Vorgeschichte der Proben keine gesicherten Rückschlüsse auf witterungs-, anbau-, konservierungs- oder lagerungsbedingte Risikofaktoren gezogen werden, die zu erhöhten Toxingehalten geführt haben.

Das im Hinblick auf seine biologische Wirkung besonders gefährliche Ochratoxin A wurde in ca. 13 % der untersuchten Getreideproben in Konzentrationen bis zu 200 µg/kg nachgewiesen. Aufgrund der z. T. niedrigen Wiederfindungsraten von durchschnittlich nur 20 % (Bauer und Gareis, 1987) können jedoch tatsächliche Ochratoxin A-Gehalte bei bis zu fünfmal höheren Werten vermutet werden.

Tabelle 4: Nachgewiesene Schimmelpilze und Mykotoxine in heimischen Getreiden

Getreideart	Pilzgattungen	Toxine	Konzentration µg/kg	Literatur
Mais	Penicillium Aspergillus Fusarium	Diacetoxyscirpenol	31500	Siegfried, 1977
		Moniliformin	80 - 680	Thalmann, 1986
		T-2-Toxin	70 - 220	
		Zearalenon	25 - 200	Gruber und Thalmann, 1981 Gruber u. Thalmann, 1981; Bauer u. Gareis, 1987
		Deoxynivalenol	1000 - 2000	
Ochratoxin A	2 - 82			
Weizen	Fusarium	T-2-Toxin	300 - 13000	Gruber u. Thalmann, 1981
		Deoxynivalenol	10 - 1300	
		T-2-Triol	100 - 660	Thalmann, 1986
		Zearalenon	150 - 2000	
		Ochratoxin A	0,1 - 137	Gruber u. Thalmann, 1981; Bauer u. Gareis, 1987
Roggen		Diacetoxyscirpenol	800	Gruber u. Thalmann, 1981
		Zearalenon	10 - 70	
		Ochratoxin A	28	
Gerste	Fusarium	T-2-Toxin	300 - 14000	Gruber u. Thalmann, 1981
		HT-2-Toxin	75 - 450	
		Deoxynivalenol	10 - 120	Thalmann, 1986
		Zearalenon	21	
		Ochratoxin A	0,1 - 206	Barnikol et al., 1987 Gruber u. Thalmann, 1981 Bauer u. Gareis, 1987
Hafer	Fusarium	Deoxynivalenol	20000	Bauer u. Gedek, 1980
		Zearalenon	2000	
		HT-2-Toxin	100 - 660	Thalmann, 1986
		T-2-Toxin	100 - 660	
		Zearalenon	150	
		Ochratoxin A	0,1 - 73	Gruber u. Thalmann, 1981 Bauer u. Gareis, 1987

Tabelle 5: Nachgewiesene Schimmelpilze und Mykotoxine in heimischen Futtermitteln

Futtermittel	Pilzgattungen	Toxine	Konzentration µg/kg	Literatur
Maissilage	Penicillium Aspergillus Fusarium Trichoderma Byssosclamyces	Diacetoxyscirpenol	875 - 1500	Thalmann, 1986
		T-2-Toxin HT-2-Toxin	440 200	
		Zearalenon	5	Gedek, 1983
Grassilage	Penicillium Aspergillus Fusarium Trichoderma	Zearalenon	9	Gedek, 1983
Gras	Fusarium Penicillium	T-2-Triol T-2-Toxin HT-2-Toxin	650 200 - 300 200	Thalmann, 1986
		T-2-Triol T-2-Toxin HT-2-Toxin	650 200 - 300 200	
		T-2-Toxin Zearalenon	600 40	

## 5. Pathophysiologische Aspekte von Mykotoxinbelastungen bei Tier und Mensch

Die pathophysiologische Problematik von Mykotoxinbelastungen des tierischen und menschlichen Organismus soll beispielhaft für das Ochratoxin A dargestellt werden. Unter den verschiedenen Mykotoxinen mit potentiell toxikologischer Relevanz hat Ochratoxin A in experimentellen Untersuchungen eine hohe Priorität. Dabei ist die Nephrotoxizität von Ochratoxin A bereits seit mehreren Jahrzehnten eindeutig dokumentiert. Dies betrifft verschiedene Laborspezies ebenso wie landwirtschaftliche Nutztiere. Auch beim Menschen wird die endemisch verlaufende Balkan-Nephropathie ursächlich auf Ochratoxin A zurückgeführt (Hult et al., 1982).

Die typischen makroskopisch erkennbaren Merkmale an Schweinenieren sind Farb- und Konsistenzveränderungen sowie Marmorierungen im Bereich der Nierenoberfläche (Krogh, 1977). Pathologisch-histologisch werden an den Nieren Membranschädigungen im proximalen Tubulusbereich, glomeruläre Hyalinablagerungen und später Fibrosen bzw. Sklerosen im Interstitium der Rindenschicht beobachtet (Krogh, 1977a; Bauer und Gareis, 1987). Diese pathologischen Veränderungen führen zu Funktionsstörungen in der Harnbildung, klinisch sind ein erhöhter Hamabsatz (Polyurie) und infolgedessen eine gesteigerte Flüssigkeitsaufnahme (Polydipsie) die Folgen (Madson et al., 1982).

Neben den renalen Veränderungen sind verschiedene extrarenale Mechanismen wie Durchfälle, nekrotische Veränderungen im lymphatischen Gewebe, zentrolobuläre Nekrosen und fettige Degenerationen in der Leber beschrieben worden. Nach Krogh (1977a) sind diese Veränderungen jedoch nur experimentell von Bedeutung und nur durch hohe Dosen auslösbar. Dies gilt ebenso für Veränderungen in der täglichen Futtermittelaufnahme und -verwertung und in den Gewichtszunahmen (Madson et al., 1982).

Zur diaplazentaren Passage von Ochratoxin A liegen teilweise widersprüchliche Befunde vor. In Untersuchungen an Sauen während der Frühträchtigkeit konnten Patterson et al. (1976) und Shreeve et al. (1977) keine Ochratoxinrückstände in den Foeten nachweisen. Daher schlossen sie die diaplazentare Passage und teratogene Effekte aus. In beiden Untersuchungen wurden zum Nachweis von Ochratoxin A dünn-schichtchromatographische Verfahren eingesetzt, die im Vergleich zur Hochdruckflüssigkeitschromatographie durch eine geringere Nachweisempfindlichkeit gekennzeichnet sind. In neueren Untersuchungen an Ratten konnten verschiedene embryonale und foetale Wirkungen nachgewiesen werden (Mayura et al., 1982).

Als minimale Dosen zur Auslösung renaler Symptome bei Schweinen wird im allgemeinen eine Konzentration von 200 µg Ochratoxin A pro kg Futtermittel zugrunde gelegt. Die übrigen Effekte konnten erst bei 3- bis 5fach höheren Dosen induziert werden.

Für den Menschen sind verschiedene Gewebearten und Organe als rückstandsrelevant beschrieben worden. Madson et al. (1982) bestimmten die höchsten Ochratoxin A-Konzentrationen im Nierengewebe und in abnehmender Rangordnung eine von der Nierenkonzentration regressiv abhängige Konzentration in der Muskulatur, der Leber und im Fettgewebe. Im Vergleich zum Futter wurden im Blutplasma von Schweinen höhere Ochratoxin A-Konzentrationen bestimmt (Hult et al., 1979). Dies wird mit der Bindung an Albumin erklärt und bedingt die Zunahme der mittleren Halb-

wertszeit im Plasma und die Abnahme der renalen Ausscheidung. Daher sind auch Wurstwaren, in denen die Einmischung von Blut bzw. Plasma zugelassen ist, als rückstandsrelevant anzusehen. In verschiedenen Reihenuntersuchungen auf Ochratoxin A in menschlichen Blutseren sind mit einer Häufigkeit zwischen 50 und 63 % positive Nachweise geführt worden (Bauer und Gareis, 1987). An dieser Kontaminationshäufigkeit dürften Lebensmittel pflanzlichen Ursprungs als auch tierischen Ursprungs ursächlich beteiligt sein, wobei bislang keine Daten zum quantitativen Anteil beider Lebensmittelgruppen verfügbar sind.

Neuere Untersuchungen haben eindeutige Hinweise erbracht, daß Ochratoxin A neben den "klassischen" Wirkungen zusätzlich kanzerogene, immunsuppressive und teratogene Eigenschaften besitzt. Auch wenn diese Eigenschaften bislang experimentell nur an Labortieren nachgewiesen werden konnten, (Haubeck et al., 1981; Mayura et al., 1982; Bendele et al., 1985) müssen diese Wirkungen auch für den Menschen postuliert werden. Daher sind weitere experimentelle Arbeiten zu quantitativen Merkmalen von Ochratoxin A in der Nahrungsmittelkette dringend erforderlich.

## 6. Schlußbetrachtung

Pilzlicher Verderb von Nahrungs- und Futtermitteln ist aufgrund des Kontaminationsrisikos mit Mykotoxinen ein ernstzunehmendes Problem in der landwirtschaftlichen Produktion. Für eine umfassende Betrachtungsweise müssen eine Vielzahl von beteiligten Mikroorganismen, gebildeten Mykotoxinen, Bildungsbedingungen und gesundheitsschädigenden Wirkungen berücksichtigt werden.

Ein vorsorgliches Erkennen wesentlicher Risikofaktoren in der Produktionstechnik setzt stärker als bisher systematische Studien über das Vorkommen, begünstigende pflanzenbauliche und konservierungstechnische Bedingungen und den weiteren Verbleib der Mykotoxine in der Nahrungskette voraus. Die bereits umfangreich vorhandene Literatur läßt solche Ansätze weitgehend vermissen. Nur diese könnten aber Grundlage für Empfehlungen sein, die zur Einschränkung von Pilzbefall und Mykotoxinkontamination in pflanzlichen und tierischen Nahrungsmitteln führen könnten.

### Myco toxins as potential contaminants in agricultural production

Recently mycotoxins are recognized to be substantially involved in economic losses of agricultural production. Certain diseases in men and animals may be caused by mycotoxins directly and they are known to favour different diseases indirectly. The main target tissues affected by mycotoxins are the organs of blood cell formation, the nervous system, reproductive organs, kidney and liver. So far about 400 different toxins have been identified, which may be produced by a high variety of hyphal fungi. Up to now only for aflatoxins limiting concentrations in food and feed have been established in the Fed. Rep. of Germany.

The main environmental factors influencing the growth of hyphal fungi are temperature, pH and oxygen tension. Fungi may develop during plant growth as well as during grain or product storage. There is some indication that the extended use of high yielding plant species has increased the susceptibility to fungi and toxin contamination. During storage fungal growth and toxin production are mainly influenced by delayed or insufficient drying or through oxygen penetration in ensiled materials.

So far little is known about interactions between different procedures for plant production and incidence of toxin producing species.

The concentration of mycotoxins in food and feed has been shown to vary within a wide range and is affected by complex environmental parameters. Special attention has been drawn to ochratoxin A, which is known to induce severe nephrotoxic symptoms in men and animals. Recent findings suggest that in addition to these classical effects immunosuppressive, teratogenic and cancerogenic effects may also occur.

## Literatur

- Anderson, H.W.; Nehring, E.W.; Wichser W.R. (1975): Aflatoxin contamination of corn in the field. - J. Agric. Food Chem., 23 (4), S. 775 - 782.
- Atlin, G.N.; Enerson, P.M.; McGirr, L.G.; Hunter, R.B. (1983): Gibberella ear rot development and zearalenone and vomitoxin production as affected by maize genotype and Gibberella zeae strain. - Can. J. Plant Sci., 63, S. 847 - 853.
- Barnikol, H. et al. (1982): Fusariotoxikosen beim Schwein durch Trichothezene mit Beteiligung von Mutterkorn. - Tierärztliche Umschau, 37, S. 114 - 126.
- Bauer, J.; Gedek, B. (1980): Fusariotoxine als Ursache von Futtermittelverweigerung und Fruchtbarkeitsstörungen beim Pferd. - Tierärztliche Umschau, 35, S. 600 - 603.
- Bauer, J.; Wermter, R.; Gedek, B. (1980): Zur Kontamination von Futtermitteln mit toxinbildenden Fusarienstämmen und deren Toxine. - Wien. tierärztl. Mschr., 67. Jahrgang, Heft 10, S. 282 - 288.
- Bauer, J.; Gareis, M. (1987): Ochratoxin A in der Nahrungsmittelkette. - J. Vet. Med. B, 34, S. 613 - 627.
- Bendele, A.M.; Carlton, W.W.; Krogh, P.; Lillehoj, E.B. (1985): Ochratoxin A carcinogenesis in the (C 57 B1/6 J x C 3 H)F1 mouse. - J. Natl. Cancer Inst., 75, S. 733 - 742.
- Biedermann, R.; Schantl, D.; Stelzl, G.; Schuh, M. (1980): Mikrobiologische, mykologische und mykotoxikologische Untersuchungen an Winterweizensorten 1978 und 1979 an verschiedenen Standorten, in Abhängigkeit mehrerer Stickstoffdüngungsstufen. - Schriftenreihe des Forschungszentrums Graz, August 1980, S. 1 - 40.
- Booth, R. J.; Taylor G. S. (1976): Fusarium diseases of cereals. X. Straw debris as a source of inoculum infection of wheat by Fusarium nivale in the field. - Trans. Br. mycol. Soc. 66 (1), S. 71 - 75.
- Chaytor, J.P.; Saxby, M.J. (1982): Development of a method for the analysis of T2-Toxin in maize by gas chromatography-mass spectrometry. - J. of Chromatography, 237, S. 107 - 113.
- Cole, R.J.; Cox, R.H. (1981): Handbook of Toxic Fungal Metabolites. - Academic Press.
- Cole, R.J.; Cutler, J.W.; Dorner, J.W. (1986): Biological Screening Methods for Mycotoxins and Toxigenic Fungi. - In: Modern Methods in the Analysis and Structural Elucidation of Mycotoxins, R. J. Cole (ed.), Academic Press, S. 1 - 28.
- Duben, J.; Fehrmann, H. (1979 u. 1980): Vorkommen und Pathogenität von Fusarium-Arten an Winterweizen in der Bundesrepublik Deutschland. - I. Artenspektrum und jahreszeitliche Sukzession an der Halmbasis. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, 86 (11), S. 638 - 652. II. Vergleich der Pathogenität als Erreger von Keimlings-, Halmbasis- und Ährenkrankheiten. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, 86 (12), S. 705 - 728, 1979. III. Zusammenhang zwischen dem Befall der Halmbasis und der Ähre. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, 87 (1), S. 1 - 12, 1980.
- Engelhardt, G.; Rintelen, J.; Wallnöfer, P.R. (1984): Vorkommen von toxinbildenden Schimmelpilzen der Gattung Fusarium in Cerealien aus dem Erntejahr 1982 in Bayern. - Bayerisches Landwirtschaftl. Jahrbuch, 61. Jahrgang, Heft 1 - 2, S. 338 - 347.
- Gareis, M.; Bauer, J.; Gedek, B. (1985): Fusariotoxine in Futtermitteln. Nachweis und Vorkommen von Trichothezenen. - Tierärztl. Prax. Suppl. 1, 8 - 19.
- Gedek, B. (1983): Probleme und Fragen der Umwelttoxikologie: Fusarienbesatz und Mykotoxinbelastung der Grundfuttermittel, einschließlich Analytik. - Berichterstattung anlässlich der 22. Sitzung des Arbeitskreises für Umwelt-, Gesundheitspflege und spezieller Ernährungsfragen in der Tierischen Produktion in Wiesbaden, 15./16.1.1983 (DLG-Wintertagung).
- Gruber, S.; Thalmann, A. (1981): Untersuchungen über das Vorkommen von Mykotoxinen (außer Aflatoxin) in Futtermitteln und mögliche Zusammenhänge mit futterbedingten Leistungsminderungen und Erkrankungen bei landwirtschaftlichen Nutztieren. - Forschungsbericht 78 HS 12, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.
- Haubeck, H. D.; Lorkowski, G.; Kösch E.; Röschenthaler R. (1981): Immunsuppression by ochratoxin A and its prevention by phenylalanine. - Appl. environ. Microbiol. 41, S. 1040 - 1042.
- Hult, K.; Hökby, E.; Hagglund, U.; Gatenbeck, S.; Rutquist, L.; Sellyey, G. (1979): Ochratoxin A in pig blood: Method of analysis and use as a tool for feed studies. - Appl. environ. Microbiol. 38, S. 772 - 776.
- Hult, K.; Plestina R.; Habazin-Novak, V.; Radic, B.; Ceovic, S. (1982): Ochratoxin A in human blood and Balkan endemic nephropathy. - Arch. Toxic. 51, S. 313 - 321.
- Jacques, K.A. (1987): Molds: The Hidden Killer in Feeds. - In: Biotechnology in the Feed Industry, T. P. Lyons (ed.), Alltech Technical Publication.
- Kingston, D.J.G. (1979): High performance liquid chromatography of natural products. - J. of Natural Products, 42 (3), S. 237 - 260.
- Krogh, P.; Hald, B.; Pedersen, E.J. (1973): Occurrence of ochratoxin A and citrinin in cereals associated with mycotoxic porcine nephropathy. - Ada. path. microbiol. scand. Section B, 81, S. 689 - 695.
- Krogh, P. (1977a): Ochratoxins - In: Mycotoxins in Human and Animal Health. Pathotox Publishers, Inc., Illinois, S. 489 - 498.
- Krogh, P. (1977b): Ochratoxin A residues in tissues of

- slaughter pigs with nephropathy. - Nord. Vet. Med. 29, S. 402 - 405.
- Kiuper-Goodman, T.; Scott, P.M.; Watanabe, H. (1987): Risk Assessment of the Mycotoxin Zearalenone. - Regulatory Toxicology and Pharmacology 7, S. 253 - 306.
- Lee, S.C.; Chu, F.S. (1984): Enzyme-Linked Immunosorbent Assay of Ochratoxin A in Wheat. - J. Assoc. Off. Anal. Chem., 67 (1), S. 45 - 48.
- Lepom, L. (1986): Simultaneous determination of the mycotoxins citrinin and ochratoxin A in wheat and barley by high-performance liquid chromatography. - J. of Chromatography, 355, S. 335 - 339.
- Leibetseder, J. (1981): Mykotoxikosen - Eine kurze Einführung. - Übers. Tierernährung, 9, S. 1 - 10.
- Madsen, A.; Mortensen, H.P. and Hald, B. (1982): Feeding experiments with ochratoxin A contaminated barley for bacon pigs. - Acta Agric. Scand. 32, S. 225 - 239.
- Mayura, K.; Reddy, R.V.; Hayes, A.W.; Berndt, O.W. (1982): Embryocidal, fetotoxic and teratogenic effects of ochratoxin A in rats. - Toxicol. 25, S.175 - 185.
- Mücke, W.; Schulze, H. (1981): Höchstmengenregelungen für Mykotoxine in Lebensmitteln. - In: Mykotoxine in Lebensmitteln; Reiß, J., (Hrsg.), Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, S. 437 - 457.
- Mühlbauer, W.; Hofacker, W.; Müller, H.M.; Thaler, M. (1981): Die Kaltlufttrocknung von Weizen unter energetischem und mikrobiologischem Aspekt. - Grundl. Landtechnik, 31 (5), S. 145 - 188.
- Müller, H. M.; Thaler, M. (1980): Mikroflora und Mykotoxine bei der Belüftungstrocknung von Körnermais. - Landw. Forschung, Sonderheft 37, S. 403 - 415.
- Müller, H.M.; Schröppel, E.; Thaler, M. (1981): Einfluß von Propionsäuredosierung und Kornfeuchte auf die Entwicklung und Mykotoxinbildung von Penicillien und Aspergillen in Körnermais. - Landw. Forschung, 34 (1 - 2), S. 23 - 34.
- Müller, H.M.; Hörber, G. (1982): Pilzwachstum und Propionsäureabbau in Feuchtmals. - Zbl. Mikrobiol. 137, S. 214 - 217.
- Müller, H.M.; Espe, U. (1984): Mykotoxine in Futtermitteln. Daten und Dokumente zum Umweltschutz. - Sonderreihe Umweltaugung, Heft 35, S. 87 - 99.
- Müller, H.M.; Pfitzenmaier P.; Burgert, P. (1985) Einfluß der Propionsäuredosierung auf die Entwicklung von Pilzen und den Propionsäureabbau in einem Mischfutter. - Zeitschrift für Tierphysiologie, Tierernährung und Futtermittelkunde, 54 (2), S. 57 - 99.
- Olsen, M.E.; Pettersson, H.I.; Sandholm, K.A.; Kiessling, K.-H.H. (1985): Quantitative Liquid Chromatographic Method Using Fluorescence Detection for Determining Zearalenone and Its Metabolites in Blood Plasma and Urine. - J. Assoc. Off. Anal. Chem., 68 (4), S. 632 - 634.
- Orth, R. (1981): Einfluß physikalischer Faktoren auf die Bildung von Mykotoxinen. - In: Mykotoxine in Lebensmitteln; Reiß, J. (Hrsg.), S. 85 - 100.
- Patterson, D.S.P.; Roberts, B.A.; Small, B.J. (1976): Metabolism of ochratoxin A and B in the pig during early pregnancy and the accumulation in body tissues of ochratoxin A only. - Fd. Cosmet. Toxicol. 14, S.439 - 442.
- Röschenthaler, R.; Creppy, E.E.; Dirheimer, G. (1984): Ochratoxin A: On the mode of action of an ubiquitous mycotoxin. - J. Toxicol. - Toxin Reviews 3 (1), S. 53 - 86.
- Romer, T.R.; Boling, T.M.; McDonald, J.L. (1978): Gas-liquid Chromatographic Determination of T2-Toxin and Diacetoscirpenol in Corn and Mixed Feeds. - J. Assoc. Off. Anal. Chem., 61 (4), S. 801 - 808.
- Samuels, G.J. (1984): Toxigenic Fungi as Ascomycetes. - In: Toxigenic Fungi - Their Toxins and Health Hazard (Kurata, H.; Ueno, Y., eds.), Elsevier, S. 119 - 128.
- Schmidt, H.L. (1975): Über Vorkommen und Häufigkeit von hohen Pilzkeimgehalten sowie einzelner Pilzarten in Futtermitteln. - Landwirtsch. Forsch., 28 (3), S. 224 - 235.
- Schweighardt, H.; Schuh, M. (1981): Desoxynivalenol - ein bedeutendes Trichothecen. Übers. Tierernährung 9, S. 11 - 32.
- Shreeve, B.J.; Patterson, D.S.P.; Repin, G.A.; Roberts, B. A.; Whrathall, A.E. (1977): Effect of feeding ochratoxin to pigs during early pregnancy. - Br. Vet. J. 133, S. 412 - 417.
- Siegfried, R. (1977): Fusariumtoxin (Trichothecentoxine) in Futtermitteln. - Landwirtschaftl. Forschung, Sonderheft 34/1
- Spicher, G. (1981): Schimmelpilze und Mykotoxine in Getreide. - In: Mykotoxine in Lebensmitteln; Reiß, J. (Hrsg.), S. 343 - 380.
- Tanaka, T.; Hasegawa, A.; Matsuki, Y. (1985): Rapid and sensitive determination of zearalenone in cereals by high-performance liquid chromatography with fluorescence detection. - J. of Chromatography, 328, S. 271 - 278.
- Thalman, A. (1986): Fusarientoxine in Futtermitteln und Lebensmittelrohstoffen. - Agrar- und Umweltforschung in Baden-Württemberg, 14, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Wimmer, J. (1977): Das Auftreten von Kolbenfusariosen beim Mais. - In: Aktuelle Probleme der landwirtschaftlichen Forschung, 4. Seminar Mykotoxine in der landwirtschaftlichen Produktion, Veröffentlichungen der Landwirtschaftlich-Chemischen Bundesversuchsanstalt Linz/Donau, Band Nr. 11, S. 77 - 104.
- Verfasser: Oldenburg, Elisabeth,, Dr., Institut für Grünland- und Futterpflanzenforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL), Leiter: Prof Dr. Ernst Zimmer.
- Breves, Gerhard, Priv. Doz., Dr. med. vet., Institut für Tierernährung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL), komm. Leiter: Prof Dr. Ernst Zimmer.