

Vorkommen von Mykotoxinen in Futtermitteln und Carry over in die Milch: eine Übersicht

Urs Spahr, Barbara Walther und Robert Sieber,
Eidgenössische Forschungsanstalt für Milchwirtschaft (FAM), Liebefeld, Bern

Jean-Louis Gafner und Daniel Guidon,
Eidgenössische Forschungsanstalt für Nutztiere (RAP), Posieux

Eingegangen 31. März 1999, angenommen 19. August 1999

Einführung

Mykotoxine stellen für die tierische wie auch die menschliche Gesundheit ein erhebliches Risiko dar, da sie vielfältige unerwünschte wie nephrotoxische, hepatoxische, teratogene, kanzerogene oder immunsuppressive Wirkungen ausüben können. Diese Toxine können direkt über den Verzehr von pflanzlichen Lebensmitteln wie auch indirekt über Futtermittel in die menschliche Ernährung gelangen. Deshalb muss in der ganzen Nahrungskette sorgfältig darauf geachtet werden, dass die Bildung und somit ein Auftreten dieser Toxine vermieden werden kann. Dies hat auch dazu geführt, dass in verschiedenen Ländern maximal tolerierbare Gehalte an Mykotoxinen in Lebensmitteln erlassen wurden (1–3).

Über das Vorkommen von Mykotoxinen in Lebens- wie auch in Futtermitteln liegen eine Vielzahl von Übersichtsarbeiten vor (4–13). In den Schlussfolgerungen ihres Übersichtsartikels über Mykotoxine in Futtermitteln für Wiederkäuer haben *Auerbach* und *Geissler* (6) festgehalten: «Das erhebliche Vorkommen von Mykotoxinen in Rauh- und Saftfuttermitteln stellt nach heutiger Kenntnis eine ernst zu nehmende Gefährdung landwirtschaftlicher Nutztiere dar und birgt gleichzeitig die Gefahr des Übergangs in für den menschlichen Verzehr bestimmte Produkte. Das volle Ausmass dieser Gefährdung ist zurzeit nicht ganz überschaubar, da angenommen werden muss, dass die tatsächliche Kontamination von Grobfutterstoffen durch Mykotoxine weit höher liegen kann, als durch bisherige Untersuchungen of-

fenbar wurde.» Diese Feststellung hat uns veranlasst, den Fragenkomplex Übergang (Carry over) von Mykotoxinen aus Futtermitteln in die Milch (sekretorische Kontamination) anhand der Literatur eingehend abzuklären, wobei wir uns vorwiegend auf die Publikationen der letzten 10 Jahre beschränkten und ebenfalls Resultate von aussereuropäischen Ländern integrierten, da auch aus diesen Ländern Futtermittel importiert werden¹. Gleichzeitig sollen neuere Daten über das Vorkommen verschiedener Mykotoxine in Milch und Milchprodukten in der Schweiz zusammengefasst werden. Dazu wurden die Jahresberichte der kantonalen Laboratorien der Jahre 1990 bis 1997 ausgewertet. Auf die postsekretorische Kontamination, d. h. die Bildung von Mykotoxinen auf Milchprodukten durch kontaminierende Schimmelpilze, als einer weiteren Möglichkeit des Vorkommens von Mykotoxinen in Milch und Milchprodukten, wird hier nicht eingegangen.

Aflatoxin

Die Aflatoxine werden mehrheitlich von gewissen Stämmen von *Aspergillus flavus* und den meisten Stämmen von *A. parasiticus* gebildet. Dabei bildet der erstere vor allem Aflatoxin B₁ und B₂, während *A. parasiticus* alle vier Aflatoxine B₁, B₂, G₁ und G₂ bilden kann (11). Die Aflatoxine der B- und G-Gruppe werden von der International Agency for Research on Cancer als für den Menschen kanzerogene Substanzen bezeichnet, während das Aflatoxin M₁ zur Gruppe «möglicherweise kanzerogen» gezählt wird (15).

Vorkommen in Futtermitteln²

In Futtermitteln wie auch in Lebensmitteln können die Aflatoxine B₁, B₂, G₁ und G₂ immer wieder vorkommen (Tabelle 1). Es sind vor allem Erdnusschrot, Mais, Maisgluten, Reiskleie wie auch andere Ingredienzien für die Futtermittelherstellung gefährdet (17–39). So enthielten unter anderem 40 Reiskleie- (bis 19 µg/kg), 11 von 15 Palmprodukte- (bis 22 µg/kg), 15 von 21 Baumwollsamens- (bis 25 µg/kg), 3 von 20 Sonnenblumen- (bis 17 µg/kg) und 1 von 20 Sojaprobe(n) (37) Aflatoxine, dagegen 40 Maisgluten- und 27 andere Maisprodukte für die Futtermittelherstellung (23), Futterweizen und Futtermais aus Rumänien (29), Mais aus Botswana (20) wie auch andere Ingredienzien für Futtermittel wie Erbsen, Bohnen oder Maniok (37) keine Aflatoxine (Nachweisgrenze (NG) 1 bis 5 µg/kg).

¹ Der Fall des aus Brasilien importierten dioxinhaltigen Zitronentresters zeigt die diesbezügliche Problematik auf. Im weiteren kommt hinzu, dass in den tropischen Ländern die Bedingungen zur Bildung von Mykotoxinen meist günstiger sind als in Europa. Doch ist in den gemässigten Ländern durchaus damit zu rechnen, dass bei unsachgemässer Lagerung Mykotoxine gebildet werden können, wie das Beispiel der Aflatoxinbildung auf Mais zeigt (14).

² Da Erzeugnisse aus der pflanzlichen Produktion sowohl als Lebensmittel wie auch als Futtermittel eingesetzt werden können, werden unter dieser Überschrift auch Resultate zur Mykotoxinsituation in Lebensmitteln aufgeführt. Zudem ist bisweilen nicht klar, ob es sich bei den beschriebenen Produkten um Lebensmittel oder Futtermittel handelt. Auch kann davon ausgegangen werden, dass kontaminierte pflanzliche Erzeugnisse eher als Futtermittel verwendet werden. So zeigte sich beispielsweise in einer Untersuchung über den Fumonisingehalt in Maisprodukten, dass Mais enthaltende Futtermittel deutlich mehr Fumonisine enthielten als unverarbeiteter Mais oder gemahlene Maisprodukte (16).

Tabelle 1

Vorkommen von Aflatoxinen in Futter- und Lebensmitteln

AF	Produkt	Land	n	pos. %	NG	\bar{x} $\mu\text{g/kg}$	max. $\mu\text{g/kg}$	Jahr	Referenz
AFe	Futtermittel	Südafrika	57	21	< 20		300	1995	Dutton (17)
AFe	Futtermittel	Indien	49	31	2		3 700	1996	Phillips (18)
AFe	Futtermittel	Slowenien	427	3	2		39	1998	Vengust (19)
AFe	Mais	Botswana	33	0	0,1			1998	Siame (20)
AFe	Mais	USA	45	87	1	252	2 280	1992	Urano (21)
AFe	Mais	Ecuador	89	24	6,8		3 000	1997	Mühlemann (22)
AFe	Maisprodukte	GB	27	0	1			1998	Scudamore (23)
AFe	Maisgluten	GB	40	0	1			1998	Scudamore (23)
AFe	Weizen	Uruguay	123	20	?		20	1996	Pineiro (24)
AFe	Gerste	Zypern	127	0	0,1			1999	Ioannou (25)
AFe	Weizen	Zypern	55	0	0,1			1999	Ioannou (25)
AFe	Erdnuss	USA	50	100	1	1685	22 000	1992	Urano (21)
AFe	Erdnuss	Ecuador	31	100	6,8	698	6 000	1997	Mühlemann (22)
AFe	Soja	Argentinien	94	10	1		36	1991	Fernandez (26)
B ₁	Futtermittel	Brasilien	96	15	5		287	1997	Correa (27)
B ₁	Futtermittel	Portugal	80	45	1		16	1999	Martins (28)
B ₁	Futtermais	Rumänien	30	0	4			1998	Curtui (29)
B ₁	Futterweizen	Rumänien	25	0	4			1998	Curtui (29)
B ₁	Einzel-F	D	89	48	0,6 ^a		> 1*	1995	Blüthgen (30)
B ₁	Misch-F	D	71	60	0,6 ^a		> 0,4*	1995	Blüthgen (30)
B ₁	Milchvieh-F	CH	322	2	2		6	1994	Gafner (31)
B ₁	F. ingred.	CH	88	16	2		550	1994	Gafner (31)
B ₁	Futtermittel	Indien	4818	59	1		8 260	1995	Dhavan (32)
B ₁	Reiskleie F	GB	40	73	1		21	1998	Scudamore (33)
B ₁	Mais	Argentinien	2271	20	?		560*	1996	Resnik (34)
B ₁	Mais	Indien	2047	47	5		666	1997	Bhat (35)
B ₁	Mais	Indonesien	16	69	1		428	1998	Ali (36)

AF	Produkt	Land	n	pos. %	NG	\bar{x} $\mu\text{g/kg}$	max. $\mu\text{g/kg}$	Jahr	Referenz*
B ₁	Mais	Zypern	170	1	0,1		1	1999	Ioannou (25)
B ₁	Maisgluten	GB	32	56	1		41	1997	Scudamore (37)
B ₁	Maisprodukte	GB	18	39	1		17	1997	Scudamore (37)
B ₁	Erdnuss	Indien	2062	45	5		833	1996	Bhat (38)
B ₁	Erdnuss	Botswana	29	52	0,1		16	1998	Siame (20)
B ₁₊₂	Mais	USA	7	100	10		508	1991	Lee (39)
B ₂	Futtermittel	Brasilien	96	15	5		40	1997	Correa (27)
B ₂	Mais	Argentinien	2271	4	?		130*	1996	Resnik (34)
B ₂	Mais	Indonesien	16	56	1		160	1998	Ali (36)
G ₁	Mais	Indonesien	16	50	5		8	1998	Ali (36)

AF(e) = Aflatoxin(e)

F = Futtermittel

NG = Nachweisgrenze

* Bestimmungsgrenze

* bezogen auf Trockenmasse

Carry over

Über das Carry over von Aflatoxin B₁, das im Organismus der Kuh in Aflatoxin M₁ umgewandelt und als solches in die Milch ausgeschieden wird, wurde bereits vor mehr als 20 Jahren in einer Übersicht berichtet (40). Aufgrund der damals vorliegenden Resultate wurde eine Übergangsrate aus dem Tierfutter in die Milch von 1 bis 3 % berechnet. Die Ergebnisse weiterer inzwischen durchgeführter Untersuchungen mit natürlich kontaminierten Futtermitteln liegen ebenfalls in diesem Bereich. Bei Holsteinkühen, denen Baumwollsaaten mit einem Aflatoxin-B₁-Gehalt zwischen 5 und 560 µg/kg verabreicht wurden, lag die Übergangsrate zwischen 0,69 und 2,2 % (41), bei dänischen Kühen mit einem Aflatoxin-B₁-Gehalt im Futter von 57 bis 311 µg/Tag zwischen 0,61 und 2,09 % (42), bei indischen Kühen zwischen 0,15 und 1,31 % bei einer Kontamination der Futtermittel zwischen 12,5 und 108,5 µg Aflatoxin B₁/kg (43) und bei niederländischen Kühen bei 5,3 % in der frühen und bei 1,6 % in der späten Laktationsperiode sowie bei Kühen mit einer hohen Milchleistung bei 4,5 % und mit einer tiefen Milchleistung bei 2,6 % (44). Nach einer deutschen Untersuchung betrug die Carry-over-Rate $2,5 \pm 0,6$ %. Durch eine gleichzeitige Verabreichung der wichtigsten PCB-Kongenere konnte keine erhöhte Umwandlung von Aflatoxin B₁ bei einer dem Niveau gesetzlicher Höchstmengen entsprechenden Konzentration beider Schadstoffe im Futtermittel festgestellt werden (45).

Mit Aflatoxin kontaminierte Futtermittel können mit verschiedenen Verfahren wie Behandlung mit Ammoniak (46–48), mit Natrium-Calcium-Aluminiumsilikat (49–52), mit Aktivkohle (53) oder mit anderen Sorbentien (52) «entgiftet» werden. Es lässt sich damit durchaus eine Reduktion des Aflatoxin-M₁-Gehaltes in der Milch erreichen, wobei mit solchen Futtermitteln teilweise eine höhere Übergangsrate festgestellt wurde (46, 47). Es ist aber durchaus möglich, dass mit einer solchen Behandlung andere unerwünschte Substanzen in Futtermitteln entstehen können (54).

Vorkommen in Milch und Milchprodukten

Über die Aflatoxin-M₁-Kontamination der Milch liegen eine Vielzahl von Resultaten vor (55). In Tabelle 2 sind die Resultate der letzten fünf Jahre zusammengestellt, für frühere Jahre ist auf *Galvano et al.* (55) verwiesen. 9 von 81 griechischen pasteurisierten Milchproben enthielten nach ELISA-Bestimmung mehr als 5 ng/l, unter denen mit HPLC drei Proben Werte zwischen 160 und 177 ng/l und die übrigen zwischen 10 und 14 ng/l aufwiesen (68). In 136 von 159 italienischen Milch- (1 bis 108,5 ng/l), 91 von 114 Joghurt- (<1 bis 496,5 ng/l) und 81 von 97 Kindernährmittelpuben (<1 bis 101,3 ng/kg) wurde Aflatoxin M₁ nachgewiesen. Dabei lagen je zwei Milch- und Joghurtproben über dem in der schweizerischen Gesetzgebung festgelegten Grenzwert von 50 ng/l (67). Insgesamt zeigt sich in Tabelle 2, dass der Aflatoxin-M₁-Gehalt in den europäischen Milchproben mit einigen Ausnahmen unter dem vorhin erwähnten Grenzwert von 50 ng/l liegt. Dagegen überschreiten

Tabelle 2

Vorkommen von Aflatoxin M₁ in Milch, publiziert in den letzten fünf Jahren

Milch	Land	Methode	n	pos. %	NG ng/kg	Bereich ng/kg	Jahr	Referenz	
Rohmilch	E	HPLC	61	16	10	10-20	1994	Jalon (56)	
				3		20-40			
	YU	TLC	47	0	k.A.		1995	Skrinjar (57)	
	I	ELISA	123	46	< 5	5-900	1996	Rossi (58)	
	PL	ELISA	157	16	3	< 10	1997	Domagala (59)	
				8		10-50			
	Zypern	HPLC	71	4	5	30-40	1999	Ioannou (25)	
	Indien	HPLC	504	18	100	100-3500	1995	Rajan (60)	
	Ägypten	ELISA	50	24	k.A.	250-3720	1998	Amra (61)	
	Thailand	RIA	67	85	50	> 500	1997	Saitanu (62)	
Rekonstit. VM Milch	Brasilien	TLC	144	0	500		1997	Correa (27)	
	Ecuador	ELISA	192	74	125	125-6000	1997	Mühlemann (22)	
	Brasilien	ELISA	300	11	100	100-1000	1997	Fernandes (63)	
	GB	HPLC	79	13	10	10-40	1996	Atkins (64)	
				4		50-90			
	Indien	HPLC	325	11	k.A.	100-1000	1997	Meerarani (65)	
	Indien ^a	HPLC	223	94	10	66-763	1997	Choudhary (66)	
	I	HPLC	159	86	1	1-109	1998	Galvano (67)	
	Tankwagen-sammelmilch	D	ELISA	1601	6	3	3-5	1995	Blüthgen (30)
					28		> 5		
Past.-Milch	GR	ELISA	81	38	0,3	0,5-1	1997	Markaki (68)	
				40		2,5-5			
				11		> 5			
	Zypern	HPLC	81	11	5	> 5-177	1999	Ioannou (25)	
				31	29	5			10-40
	Thailand	RIA	63	100	50	> 500	1997	Saitanu (62)	
	Brasilien	TLC	51	0	100		1995	de Sylos (69)	
		HPLC	52	8	25	73-370	1995	de Sylos (69)	
	UHT-Milch	Thailand	RIA	60	88	50	> 500	1997	Saitanu (62)
	verschiedene	E	HPTLC	100	14	10	20-40	1995	Diaz (70)
Sterilmilch	Thailand	RIA	60	100	50	> 500	1997	Saitanu (62)	
Milch aus Einzelhandel	GB	HPLC	162	54	10	10-40	1995	Leonard (71)	
				1		220			

NG = Nachweisgrenze

VM = Vollmilch

k.A. = keine Angabe

RIA = Radioimmunoassay

HPLC = Hochdruck-Flüssigkeits-Chromatographie

TLC = Dünnschicht-Chromatographie

ELISA = Enzyme-linked immunosorbent assay

HPTLC = Hochdruck-Dünnschicht-Chromatographie

^a Kuh- und Büffelmilch: roh und Verkehrsmilch

ostasiatische (60, 62, 65) wie auch teilweise brasilianische (63) und ecuadorianische (22) Milchproben diesen Grenzwert deutlich.

Die Aflatoxin-M₁-Situation in schweizerischen Milch und Milchprodukten in den Jahren 1990 bis 1997 stellt sich aufgrund der Jahresberichte der kantonalen Laboratorien folgendermassen dar (Tabelle 3). Insgesamt konnte nur in wenigen Fällen Aflatoxin M₁ in Milch, Milchprodukten und Käse nachgewiesen werden: So fand sich beispielsweise 1993 bei einer Untersuchung des Kantonalen Laboratoriums Zürich nur in zwei von 196 Rohmilchproben mehr als 50 (62 und 82) ng Aflatoxin M₁/kg.

Cyclopiazonsäure

Cyclopiazonsäure ist eine toxische Indolsäure, die von einer Vielzahl von Vertretern der Gattung *Aspergillus* und *Penicillium* gebildet wird, so unter anderem von *A. oryzae*, *A. flavus*, *A. subolivaceus*, *A. tamarii*, *P. cyclopium*, *P. camemberti*, *P. griseofulvum*. Dieses Mykotoxin kann gleichzeitig mit Aflatoxin auftreten. So wurden beispielsweise in 51 bzw. 90 % der untersuchten Mais- und Erdnussproben Cyclopiazonsäure und Aflatoxin nachgewiesen (21).

Tabelle 3
Vorkommen von Aflatoxin M₁ in schweizerischen Milch und Milchprodukten aufgrund der Jahresberichte der kantonalen Laboratorien aus den Jahren 1990 bis 1997

Produkt	Anzahl Proben	nicht nachweisbar		nachweisbar ¹		Grenzwert überschritten ²	
		n	%	n	%	n	%
Milch (Roh-, Sammel-, Frisch-, Voll-, past. und UHT-Milch)	2666	2623	98,3	43	1,6	3	0,1
Käse (in- und ausländisch)	932	814	87,1	118	12,7	2*	0,2
Kondensmilch inkl. Milchkonserven	173	165	95,4	8	4,6		
Milchprodukte (Milchgetränke, Magermilch, Rahm, Joghurt, Molkenprodukte)	111	111	100				
Milchpulver	50	49	98	1	2,0	1	2,0
Kindernährmittel	261	252	96,6	9	3,4	0	
Total	4193	4014	95,6	179	4,3	6	0,1

¹ Wert über Bestimmungsgrenze (je nach Methode 20 bis 60 ng/kg), aber unter dem Grenzwert.

² Grenzwert für Milch und Milchprodukte: 50 ng/kg; für Käse: 250 ng/kg; für Kindernährmittel: 20 ng/kg.

* in beiden Fällen ausländischer Hartkäse

Vorkommen in Futtermitteln

Cyclopiazonsäure trat bereits verschiedentlich in Futtermitteln auf: in Getreide und Tierfuttermitteln (72, 73), in Mais (21, 39, 72–74), in Erdnüssen (21, 73, 75, 76) und in Sonnenblumenkernen (73, 77). Die Daten sind in Tabelle 4 zusammengestellt. Nicht gefunden wurde dieses Mykotoxin in Mais und Maisgluten für Futtermittel (23, 33) sowie in Erdnüssen, Reis und Gerstenkörnern (78). In sechs von 40 Reiskleieproben war die positive Bestätigung schwierig (33). Cyclopiazonsäure kann in Futtermitteln im $\mu\text{g}/\text{kg}$ -Bereich vorhanden sein.

Carry over

Wurde an drei laktierende Mutterschafe 5 mg Cyclopiazonsäure/kg Lebendgewicht verabreicht, konnte innerhalb eines Tages eine Konzentration von 236 $\mu\text{g}/\text{kg}$ Milch gefunden werden. Nach einer zweiten Verabreichung stieg der Gehalt auf 568 μg Cyclopiazonsäure/kg. Wenn kein kontaminiertes Futter mehr verabreicht wurde, war der Cyclopiazonsäuregehalt der Milch neun Tage nach der ersten Dosis unter der Nachweisgrenze von 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (79).

Vorkommen in Milch und Milchprodukten

Dorner et al. (79) stellten fest, dass das Vorkommen der Cyclopiazonsäure in der Milch möglicherweise Grund zur Sorge für die Konsumenten ist. Dies trifft vor allem für Gegenden zu, in denen Futtermittel mit einer ansehnlichen Menge an diesem Toxin verfüttert werden. Trotz dieser Feststellung liegt bislang kein Bericht vor, in dem über den Nachweis dieses Mykotoxins in Milch berichtet wurde. Nach einer Erhitzung der Milch auf 60 °C während 30 Minuten oder 90 °C während 15 Sekunden war die Cyclopiazonsäure relativ stabil (80) und sank während einer Lagerung

Tabelle 4
Vorkommen von Cyclopiazonsäure in Futter- und Lebensmitteln

Produkt	Land	n	pos. %	NG	\bar{x} $\mu\text{g}/\text{kg}$	max. $\mu\text{g}/\text{kg}$	Jahr	Referenz
Futtermittel	Indien	100	40	300		20 000	1996	Balachandran (73)
Futtermittel ¹	Portugal	80	6	20	160		1999	Martins (28)
Mais	USA	7	57	25		250	1991	Lee (39)
Mais	USA	45	51	25	467	2 800	1992	Urano (21)
Mais	Indonesien	26	81	?		9 000	1988	Widiastuti (74)
Maisgluten	GB	40	0	100			1998	Scudamore (23)
Maisprodukte	GB	27	0	50			1998	Scudamore (23)
Erdnuss	USA	50	90	50	460	2 900	1992	Urano (21)
Erdnuss	USA	33	67	32		6 525	1983	Lansden (75)
Erdnuss		32		5		384	1998	Yu (76)
Reiskleie	GB	40	15 ^a	100		220 ^a	1998	Scudamore (33)

¹ Mischfuttermittel für Geflügel

^a positiv aufgrund der Retentionszeit

bei 4 °C während 21 Tagen nur geringfügig (81), während nach einer eintägigen Lagerung der Gehalt in Joghurt, der aus künstlich kontaminierter Milch hergestellt wurde, um mehr als 70 % reduziert war (82).

Deoxynivalenol und Nivalenol

Deoxynivalenol und Nivalenol gehören neben 3-Acetyldeoxynivalenol, 15-Acetyldeoxynivalenol, Diacetoxyscirpenol sowie dem T-2 Toxin und HT-2 Toxin zu den Trichothecenen und werden von Fusarium-Schimmelpilzen wie *F. graminearum* und *F. culmorum* gebildet (11).

Vorkommen in Futtermitteln

Futtermittel können in unterschiedlichem Masse Deoxynivalenol und andere Trichothecene enthalten. In Futtergerste (83), Futterweizen (84) wie auch in Futterhafer (85) aus dem Südwesten von Deutschland konnten über einen Zeitraum von fünf Jahren verschiedene Fusarientoxine nachgewiesen werden. Unter diesen trat das Deoxynivalenol am dominierendsten auf (Tabelle 5). Weitere Resultate über das Vorkommen von Deoxynivalenol und Nivalenol in Futter- wie auch in Lebensmitteln sind in Tabelle 6 zusammengestellt. Unter den 18 der 89 untersuchten Bestandteile für niederländische Futtermittel wurde Deoxynivalenol in Mais bis zu einer maximalen Menge von 1900 µg/kg gefunden (104). Auch in schweizerischen Futteringredienzien (31), Brotgetreidemustern (103) wie auch in Weizenproben aus den Sammelstellen des Kantons Basel-Land und in importierten Weizenproben (98) konnte Deoxynivalenol nachgewiesen werden (Tabelle 6). Der Deoxynivalenolgehalt von Winterweizen- und Winterroggenproben unterschied sich nicht zwischen ökologischem und integriertem Anbau (89). Verschimmelte Maisproben waren deutlich stärker mit Mykotoxinen kontaminiert und enthielten auch mehr Deoxynivalenol und Nivalenol als optisch einwandfreie Proben, was ebenfalls für andere Mykotoxine wie Fumonisine und Zearalenon zutrifft (96). Bei 48 Gerstenkörnerproben, die zwischen 0,1 und 156,6 mg/kg Deoxynivalenol enthielten, waren die kleineren Körner (< 2,5 mm) stärker kontaminiert als diejenigen mit einer Grösse von > 2,8 mm (105). In geringerem Masse konnten in der Futtergerste (83, 84, 93), im Futterweizen (29, 83, 84) und in Futtermais (29) wie auch in optisch einwandfreien und verschimmelten Maisproben (96) 3-Acetyldeoxynivalenol sowie 15-Acetyldeoxynivalenol nachgewiesen werden, ebenso in Maisgluten und Maisprodukten für die Futtermittelherstellung (23). Dabei traten in Sommern mit einer hohen Niederschlagsmenge diese Fusarientoxine vermehrt auf (83, 84). In 54 von 146 finnischen Futtermittelproben war 3-Acetyldeoxynivalenol in einer Konzentration von 5 bis 553 µg/kg (86) und in drei von 140 bulgarischen Weizenproben in einer Konzentration bis 70 µg/kg (NG 40 µg/kg) (99) vorhanden. In der letzteren Studie enthielt nur eine Probe 15-Acetyldeoxynivalenol (99 µg/kg, NG 60 µg/kg). Es ist also damit zu rechnen, dass Deoxynivalenol und Nivalenol in Futtermitteln im mg/kg-Bereich vorhanden sein können.

Tabelle 5
Auftreten von Fusarientoxinen in Futtergerste, -weizen und -hafer aus dem Südwesten Deutschlands im Verlaufe von fünf bzw. sechs Jahren

Toxin	Jahr n	Positive ¹ Proben in % der untersuchten Proben																	
		Gerste (83)						Weizen (84)						Hafer (85)					
		87	89	90	91	92	NG	87	89	90	91	92	93	87	89	90	91	92	95
3-Acetyl-DON	1-5	48	33	17	16	7	60	31	25	31	17	62	30	0	9	4	0	0	
15-Acetyl-DON	1-5	30	-	-	0	2	15	-	-	13	3	7	9	-	-	4	0	0	
DON	1-5	98	73	72	71	90	96	69	96	96	95	96	68	77	52	49	85	85	
Nivalenol	1-5	11	15	11	24	41	25	42	39	59	64	33	18	54	30	45	67	67	
Diacetoxyscirpenol	1-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
HT-2 Toxin	1-5	5	8	4	0	9	7	8	1	0	6	0	29	7	0	0	0	0	
T-2 Toxin	1-5	9	3	2	22	29	26	6	11	4	0	40	46	30	61	27	31	31	
Zearalenon	0,5 ^a	68	18	9	16	7	80	14	11	13	19	62	37	29	20	20	22	22	
α -Zearalenol	1 ^a	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	
β -Zearalenol	5 ^a	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Mittlere Konzentration der positiven Proben ($\mu\text{g}/\text{kg}$)																	
3-Acetyl-DON		5	7	8	137	23	7	7	12	50	20	209	5	8	63	63	63	63	
15-Acetyl-DON		8				4	5			42	61	71	9		18	18	18	18	
DON		400	103	74	54	42	1692	152	595	359	335	391	135	130	52	219	302	302	
Nivalenol		5	18	17	30	34	9	20	43	22	33	16	11	87	51	58	192	192	
HT-2 Toxin		21	15	9		146	9	17	17		51		205	296					
T-2 Toxin		6	16	6	29	71	83	11	52	10		20	22	27	20	57	245	245	
Zearalenon		37	3	4	9	16	178	3	5	20	4	11	19	13	14	8	25	25	
α -Zearalenol							23					8							
β -Zearalenol							12												

DON = Deoxynivalenol ¹ positiv = über der Nachweisgrenze (NG) ^a NG für die 87er Proben: 1-2 $\mu\text{g}/\text{kg}$

Tabelle 6

Vorkommen verschiedener Trichothecene in Futter- und Lebensmitteln

Myk.	Produkt	Land	n	pos. %	NG µg/kg	\bar{x} µg/kg	max. µg/kg	Jahr	Referenz
DON	Futtermittel	Slowenien	505	68	20		8 510	1998	Vengust (19)
DON	Futtermittel	SF	146	94	5		2 581	1991	Hietaniemi (86)
DON	Futteringred.	CH	57	12	500		1 220	1994	Gafner (31)
DON	Futteringred.	NL	89	20	100	631	1 900	1992	Veldman (52)
DON	Futterweizen	Rumänien	25	100	50	1 500	5 600	1998	Curtui (29)
DON	Futtermais	Rumänien	30	47	50	13 000	160 000	1998	Curtui (29)
DON	Reiskleie	GB	40	0	3			1998	Scudamore (33)
DON	Getreide	Kanada	490	58	50		2 780	1993	Stratton (87)
DON	Getreide	USA	630	70	500		25 800	1995	Trucksess (88)
DON	Getreide	D	329	100	1,25		184*	1998	Berleth (89)
DON	Gerste	N	1390	57	10-30		13 300	1996	Langseth (90)
DON	Gerste	Korea	30	67	5	106	361	1996	Ryu (91)
DON	Gerste	Kanada	90	16	7	270	1 670	1997	Scott (92)
DON	Gerste	Kanada	117	100	10		15 790	1998	Abramson (93)
DON	Mais	USA	5	80	40		676	1991	Lee (39)
DON	Mais	Korea	15	93	5	145	442	1996	Ryu (91)
DON	Mais	Kanada	283	86	10	610	4 090	1997	Scott (92)
DON	Mais	Ecuador	88	11	600		4 000	1997	Mühlmann (94)
DON	Mais	F	39	74	5	240	2 800	1998	Bakan (95)
DON	Mais	Indonesien	11	12	10		32	1998	Ali (36)
DON	Mais	Korea	8	23	2	40	100	1999	Sohn (96)
DON	Maisprodukte	GB	27	85	10	4 000	4 900	1998	Scudamore (23)
DON	Mais versch.	Korea	34	94	2		15 200	1999	Sohn (96)
DON	Maisgluten	GB	40	98	10		5 000	1998	Scudamore (23)
DON	Maisilage	NL	6	17	100		130	1992	Veldman (52)
DON	Weizen	USA	81		40	1 570	9 330	1994	Fernandez (97)
DON	Weizen	CH	177	85	20		1 000	1996	Noser (98)

Myk.	Produkt	Land	n	pos. %	NG µg/kg	\bar{x} µg/kg	max. µg/kg	Jahr	Referenz
DON	Weizen	CH, import.	28	100	20		3 000	1996	Noser (98)
DON	Weizen	N	737	68	10-30	180	4 300	1996	Langseth (90)
DON	Weizen	Bulgarien	140	67	50		1 800	1996	Vrabcheva (99)
DON	Weizen	USA	562	59	20		3 800	1996	Trucksess (100)
DON	Weizen	Argentinien	40	80	100		4 500	1997	Dalcerro (101)
DON	Weizen	Argentinien	60	93	100	1 798	9 250*	1997	Pacin (102)
DON	Weizen	Kanada	2311	34	10	314	10 500	1997	Scott (92)
DON	Weizen	F	105	86	5	65	650	1998	Bakan (95)
DON	Hafer	N	982	68	10-30		62 050	1996	Langseth (90)
DON	Brotgetreide	CH	92	16	10		500	1996	Bucheli (103)
NIV	Futtermittel	SF	146	4	5		67	1991	Hietaniemi (86)
NIV	Gerste	Korea	30	93	5	390	2 038	1996	Ryu (91)
NIV	Mais	Korea	15	53	5	168	332	1996	Ryu (91)
NIV	Mais	Indonesien	16	12	10		169	1998	Ali (36)
NIV	Mais	Korea	6	17	2	80	200	1999	Sohn (96)
NIV	Mais versch.	Korea	32	89	2	1 700	15 600	1999	Sohn (96)
T-2	Futtermittel	SF	146	9	15		90	1991	Hietaniemi (86)
T-2	Futtermittel	Slowenien	232	18	20		490	1998	Vengust (19)
T-2	Futtermingred.	CH	65	6	150		170	1994	Gafner (31)
T-2	Getreide	Kanada	55	10	150		310	1993	Stratton (87)
T-2	Getreide	Korea	45	0	5			1996	Ryu (91)
T-2	Futtermais	Rumänien	30	3	12,5		63	1998	Curtui (29)
T-2	Mais	Ecuador	88	14	50		160	1997	Mühlmann (94)
T-2	Maisgluten	GB	40	5	10		100	1998	Scudamore (23)
T-2	Maisprodukte	GB	27	41	10		170	1998	Scudamore (23)
T-2	Futterweizen	Rumänien	25	24	12,5	26	170	1998	Curtui (29)
T-2	Weizen	Bulgarien	140	1	40		55	1996	Vrabcheva (99)

DON = Deoxynivalenol; NIV = Nivalenol; T-2 = T-2 Toxin; * bezogen auf Trockenmasse; versch. = verschimmelt

Carry over

Deoxynivalenol wurde verschiedentlich in Futtermitteln nachgewiesen. Zum Carry over in die Milch wurden einige Studien durchgeführt. Nach einer täglichen Aufnahme von 0,6 und 43 sowie 104 mg Deoxynivalenol während zehn Wochen fand sich dieses Mykotoxin wie auch Deepoxydeoxynivalenol bei einer Nachweisgrenze von 1 µg/l nicht in der Milch von 18 Kühen (106). Eine tägliche Verabreichung von 56 bis 317 mg Deoxynivalenol/Kuh während fünf Tagen führte bei drei Kühen zu einem Gehalt in der Milch von bis zu 26 µg Deepoxydeoxynivalenol/l, während Deoxynivalenol nicht gefunden wurde (107). Nach einer einmaligen Verabreichung von 920 mg Deoxynivalenol an zwei Kühe wurden freies und konjugiertes Deoxynivalenol nur in einer geringen Menge von weniger als 4 µg/l nachgewiesen (108). Dieser geringe Übergang in die Milch kann mit der Beobachtung erklärt werden, dass Deoxynivalenol nach der anaeroben Inkubation mit Pansenflüssigkeit der Kuh deepoxidiert wird (109–112). Im weiteren zeigte sich bei laktierenden Schafen, dass verabreichtes, radioaktiv markiertes Deoxynivalenol rasch und zum grössten Teil über den Urin ausgeschieden wurde und dass praktisch nur Deoxynivalenol-Abkömmlinge in der Milch vorhanden waren (113). Über das Carry over von Nivalenol in die Milch liegen keine Ergebnisse vor, auch Nivalenol wird von der Pansenflüssigkeit der Kuh nach 48 Stunden Inkubation zu 80 % deepoxidiert (112).

Vorkommen in Milch und Milchprodukten

Obwohl Deoxynivalenol und Nivalenol in Futtermitteln vorhanden sein können, ist das Vorkommen dieser Mykotoxine in handelsüblicher Milch aufgrund der obenerwähnten Befunde über das Carry over nicht zu erwarten. Es liegen auch keine Resultate dazu vor.

Fumonisine

Fumonisine werden mehrheitlich von *F. moniliforme* und *F. proliferatum* gebildet (11, 114).

Vorkommen in Futtermitteln

Fumonisin B₁ konnte bereits mehrere Male in Futter- wie auch in Lebensmitteln nachgewiesen werden (8, 16, 20, 23, 29, 36, 94, 95, 115–127), daneben kommen auch die Fumonisine B₂ und B₃ vor (Tabelle 7). In 44 von 120 schweizerischen Maisproben wurde Fumonisin B₁ in einer Konzentration von 55 bis 790 µg/kg nachgewiesen. Unter diesen 44 Proben enthielten deren 15 Fumonisin B₂ zwischen 50 und 160 µg/kg (121). Bei den vier von 197 kenianischen Maisproben mit dem höchsten Fumonisin-B₁-Gehalt handelte es sich um Mais von schlechter Qualität für Futterzwecke (127). Dieses Mykotoxin fand sich aber nicht (NG 5 bis 10 µg/kg) in Futterproben aus schweizerischem Anbau (119) und auch nicht (NG 20 µg/kg) in Erdnüssen

Tabelle 7
Vorkommen von Fumonisin B₁, B₂ und B₃ in Futter- und Lebensmitteln

Fu.	Produkt	Land	n	pos. %	NG µg/kg	\bar{x} µg/kg	max. µg/kg	Jahr	Referenz
Bg	Maisprodukte	D	227	30	3-5		11 850	1996	Thielert (115)
Bg	Weizen	D	410	0	3-4			1996	Meister (116)
Bg	Roggen	D	140	0	3-4			1996	Meister (116)
Bg	Mais	D	317	27	3-4	540	7 132	1996	Meister (116)
Bg	Lebensmittel	D	142	0	3-5			1996	Thielert (115)
Bg	Lebensmittel	GB	291	26	10		2 124	1995	Atkins (117)
B ₁	Futtermittel ¹	Südafrika	13	100	50		16 800	1992	Sydenham (118)
B ₁	Futtermittel	Südafrika	5	100	<200		11 000	1995	Dutton (17)
B ₁	F. ingredient.	CH	34	10	1000		3 200	1994	Gafner (31)
B ₁	Futtermais	CH	7	0	1			1994	Zoller (119)
B ₁	Futtermais	Rumänien	30	10	25		140	1998	Curtui (29)
B ₁	Futtermais	Uruguay	13	100	50	2 573	6 342	1997	Pineiro (16)
B ₁	Mais	I	33	100	10		5 310	1994	Doko (120)
B ₁	Mais ²	CH	120	37	50	235	790	1992	Pittet (121)
B ₁	Mais	Südafrika	35	91	<200		2 000	1995	Dutton (17)
B ₁	Mais	Brasilien	48	97	k.A.		18 520	1996	Hirooka (122)
B ₁	Mais	Indonesien	16	100	50	788	2 440	1998	Ali (36)
B ₁	Mais	D	83	54	5		9 818	1998	Bresch (123)
B ₁	Mais	NL	78	36	8		1 430	1998	de Nijs (124)
B ₁	Mais import.	NL	62	98	8	600	3 350	1998	de Nijs (125)
B ₁	Mais	Südafrika	126	100	50		3 900	1998	Stockenström (126)
B ₁	Mais	Korea	10	29	50	3 200	12 500	1998	Sohn (96)
B ₁	Mais versch.	Korea	33	92	50	23 200	168 800	1998	Sohn (96)
B ₁	Mais	Kenia	197	47	100		12 000	1999	Kedera (127)
B ₁	Maisgriess ²	CH	27	100	1	264	2 200	1994	Zoller (119)
B ₁₊₂	Maisgriess imp.	CH	11	100	1	1 670		1994	Zoller (119)
B ₁₊₂	Mais import.	D	21	100	3-4	175	1 106	1996	Meister (116)

Fu.	Produkt	Land	n	pos. %	NG µg/kg	\bar{x} µg/kg	max. µg/kg	Jahr	Referenz
B ₁₊₂	Maisgluten	GB	40	95	25/25		5 200	1998	Scudamore (23)
B ₁₊₂	Maisprodukte	GB	27	96	25/25		30 500	1998	Scudamore (23)
B ₁₊₂	Mais u. Maispr.	GB	50	80	50		4 550	1997	Scudamore (37)
B ₂	Futtermittel ¹	Südafrika	13	100	50		6 500	1992	Sydenham (118)
B ₂	Futtermais	CH	7	0	1			1994	Zoller (119)
B ₂	Futtermais	Uruguay	13	8	50		Sp	1997	Pineiro (16)
B ₂	Mais ²	CH	44	34	50	100	160	1992	Pittet (121)
B ₂	Mais	I	33	61	10		1 480	1994	Doko (120)
B ₂	Mais	Brasilien	48	95	k.A.		19 130	1996	Hirooka (122)
B ₂	Mais	Indonesien	16	44	50	182	376	1998	Ali (36)
B ₂	Mais	D	48	38	5		2 212	1998	Bresch (123)
B ₂	Mais	Südafrika	126	95	< 50		1 200	1998	Stockenström (126)
B ₂	Mais	Korea	8	23	50	1100	12 500	1998	Sohn (96)
B ₂	Mais versch.	Korea	31	86	50	7500	48 400	1998	Sohn (96)
B ₂	Maisgröss ²	CH	27	100	1	62	590	1994	Zoller (119)
B ₃	Futtermittel ¹	Südafrika	13	92	50		2 650	1992	Sydenham (118)
B ₃	Mais	Indonesien	16	25	50	108	222	1998	Ali (36)
B ₃	Mais	Südafrika	126	84	< 50		600	1998	Stockenström (126)
B ₃	Mais	Korea	7	20	50	300	500	1998	Sohn (96)
B ₃	Mais versch.	Korea	31	86	50	6300	10 600	1998	Sohn (96)

Bg = Fumonisine B₁+B₂+B₃
versch. = verschimmelt

¹ Futtermittel, nach deren Verfütterung bei Pferden Leukoencephalomalazie auftrat.

² Bei Mais und Maisprodukten, die in der Schweiz als Lebensmittel verwendet werden, handelt es sich vorwiegend um importierte Produkte.
k.A. = keine Angaben

aus Botswana (20). Weitere Daten finden sich bei *Shephard et al.* (8). Fumonisine können also in pflanzlichen Produkten im mg/kg-Bereich vorhanden sein.

Carry over

Eingehende Untersuchungen zum Carry over von Fumonisin B₁ wurden von *Hammer et al.* (128) durchgeführt. Drei laktierenden Kühen wurde 30 mg Fumonisin B₁/Kuh intravenös verabreicht, was der Verabreichung von 10 kg Maissilage mit einem Gehalt von 3 mg Fumonisin B₁/kg entspricht. Zwei Stunden später konnte bereits bei zwei der drei Kühe Fumonisin B₁ in einer Konzentration von 0,57 und 0,14 µg/kg nachgewiesen werden, nach 24 Stunden war es nicht mehr nachweisbar, obwohl es im Plasma noch vorhanden war (Tabelle 8). Bei diesen drei Kühen ergab sich eine Übergangsrate zwischen 0,003 und 0,012 %. Ausgehend von der Peak-Konzentration lag die maximale Carry-over-Rate bei 0,11 % und im Mittel bei 0,05 %. In der Milch von vier Kühen, denen reines Fumonisin B₁ entweder oral (1,0 und 5,0 mg Fumonisin B₁/kg Körpermasse) oder intravenös (0,05 und 0,20 mg Fumonisin B₁/kg KG) verabreicht wurden, konnten keine Rückstände nachgewiesen werden (129). Auch nach einer täglichen Verabreichung von 3 mg Fumonisin B₁/kg Körpermasse an zwei Kühe während 14 Tagen wurden keine Fumonisine in der Milch (NG 5 µg/l) gefunden (130).

Tabelle 8
Übergang und Übergangsrate für Fumonisin B₁ in die Milch nach intravenöser Verabreichung von 30 mg reinem FB₁/Kuh (128)

Stunden nach Injektion	Kuh 1		Kuh 2		Kuh 3	
	Milch µg/kg	in % der Dosis	Milch µg/kg	in % der Dosis	Milch µg/kg	in % der Dosis
2	0	0	0,57	0,004	0,14	0,0006
4	0,43	0,002	1,16	0,008	0,48	0,002
6	0,62	0,003	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
10	0,27	0,001	0	0	0	0

Vorkommen in Milch und Milchprodukten

Aufgrund dieser Versuche kann aus Sicht des Verbraucherschutzes die Übergangsrate von Fumonisin B₁ in die Milch als vernachlässigbar angesehen werden (128, 130). Dies zeigt sich auch darin, dass in 165 untersuchten Milchproben nur in einer Probe Fumonisin B₁ und B₂ nachgewiesen werden konnte (NG 5 µg/kg). Pasteurisierung und Lagerung während 11 Tagen bei 4 °C hatten keinen Einfluss auf den Fumonisin-B₁- und -B₂-Gehalt der Milch (131).

Ochratoxin A

Zu den Ochratoxin-A-Bildnern gehören *Penicillium verrucosum* in den gemäßigten Zonen und *Aspergillus alutaceus* in wärmeren und tropischen Gebieten der Welt (11).

Vorkommen in Futtermitteln

Ochratoxin wurde verschiedentlich in Futter- wie auch Lebensmitteln nachgewiesen (Tabelle 9). 18 von 514 deutschen Getreideproben enthielten zwischen 3 und 60 µg Ochratoxin A/kg (zit. nach 10). In 2 von 40 Proben von Maisgluten (23) wie auch in 38 von 40 Proben von Reiskleie (33) für die Futtermittelherstellung fand sich Ochratoxin A mit 2 (23) bzw. zwischen 1 und 12 (33) µg/kg und in ungefähr 20 % der untersuchten Weizen- und Gerstenproben, wobei eine Gerstenprobe 102 µg/kg enthielt (37), nicht aber in Mais (23). In verschiedenen Futtermitteln (134) wie auch in Milchviehfutter (132) wurde Ochratoxin A in Spuren bis zu einer Konzentration von 400 (134) bzw. zwischen 140 und 960 µg/kg (132) gefunden. Vier von 12 Ingredienzien für die Futtermittelherstellung enthielten bis maximal 194 µg Ochratoxin A/kg (31). Nur in einer von 177 schweizerischen (0,7 µg/kg), aber in 15 von 28 importierten Weizenproben (0,1 bis 10 µg/kg) fand sich Ochratoxin A (98). Ochratoxin A kann in Futtermitteln im µg/kg-Bereich auftreten.

Carry over

In vitro wird Ochratoxin A durch die Flüssigkeit des Pansens (135) wie auch in vivo in den vier Mägen der Kuh (136) zu Oxchratoxin α und Phenylalanin abgebaut. Es ist anzunehmen, dass unter praxisrelevanten Bedingungen ein Übergang dieses Mykotoxins aus dem Pansen und dem weiteren Verdauungstrakt des Wiederkäuers in die Milch eher unwahrscheinlich ist. Bei zwei Kühen, denen täglich 10 kg eines ochratoxin-A-haltigen Futters (317 bis 1125 µg/kg) während 11 Wochen verabreicht wurde, konnte weder Ochratoxin A (< 4 µg/kg) noch der Metabolit Ochratoxin α (< 5 µg/kg) nachgewiesen werden (137). Erst nach einer täglichen Menge von mehr als 1,66 mg/kg Körpermasse war Ochratoxin A in Kuhmilch nachweisbar (138). Bei Ziegen fanden sich nach einer einmaligen Verabreichung von 0,5 mg radioaktiv markierten Ochratoxin A/kg Körpermasse 6 % der Aktivität in der Milch. Während der siebentägigen Versuchsperiode wurde weniger als 0,03 % des freien Ochratoxins in der Milch gefunden (139).

Vorkommen in Milch und Milchprodukten

In Schweden wurden 36 Kuh- und 40 Muttermilchproben analysiert. Ochratoxin A wurde in fünf Kuh- und 23 Muttermilchproben gefunden (Bereich 10 bis 40 ng/l) (140). In Norwegen enthielten sechs von 40 konventionellen (Bereich 11 bis 58 ng/l) und fünf von 47 «organischen» (Bereich 15 bis 28 ng/l) Milchproben Ochratoxin A (NG 10 ng/l) (141). Dagegen konnte dieses Mykotoxin in 65 Proben von Milch (NG 7 ng/l) und Milchprodukten (142) sowie in 20 Kindernährmitteln (141)

Tabelle 9
Vorkommen von Ochratoxin A in Futter- und Lebensmitteln

Produkt	Land	n	pos. %	NG µg/kg	\bar{x} µg/kg	max. µg/kg	Jahr	Referenz
Futtermittel	Slowenien	326	7	20		580	1998	Vengust (19)
Milchviehfutter	YU	275	13			960	1995	Skrinjar (132)
F. ingrediencien	CH	12	33	1		194	1994	Gafner (31)
F. ingrediencien	NL	89	24	2	18	120	1992	Veldman (52)
F. Maissilage	NL	6	83	2		5	1992	Veldman (52)
Futterweizen	Rumänien	25	4	0,2	37		1998	Curtui (29)
Futtermais	Rumänien	30	0	0,2			1998	Curtui (29)
Weizen	CH	177	1	0,1		0,7	1996	Noser (98)
Weizen import.	CH	28	54	0,1		10	1996	Noser (98)
Weizen	GB	50	20	1		17	1997	Scudamore (37)
Weizen	GB	148	15	0,1	1,9	9,2	1999	Scudamore (133)
Gerste	GB	45	27	1		102	1997	Scudamore (37)
Gerste	GB	131	27	0,1	2,6	18	1999	Scudamore (133)
Hafer	GB	21	29	0,1	0,5	2,2	1999	Scudamore (133)
Mais	GB	50	0	2			1997	Scudamore (37)
Maisprodukte	GB	27	0	1			1998	Scudamore (23)
Maisgluten	GB	40	5	2		2	1998	Scudamore (23)
Reiskleie	GB	40	8	1		6	1997	Scudamore (37)
Reiskleie	GB	40*	5	1		12	1998	Scudamore (33)
Baumwollsaamen	GB	21	0	2			1997	Scudamore (37)
Sonnenblumen	GB	20	0	1			1997	Scudamore (37)
Soja	GB	20	0	1			1997	Scudamore (37)

* 37 Proben verdächtig

nicht nachgewiesen werden, auch nicht in 121 Kuhmilchproben aus Norddeutschland weder mit HPLC noch mit ELISA noch nach einer Inkubation von sieben Milchproben mit β -Glucuronidase (NG 10 ng/l) (143). Ein Ochratoxin-A-Gehalt in der Milch von bis zu 0,5 mg/l wurde durch Bakterien, die bei der Joghurtherstellung eingesetzt werden, vollständig abgebaut. Bifidobakterien bauten hingegen lediglich eine Menge von 0,05 und 0,1 mg/kg ab (144).

Ochratoxin A wurde bereits verschiedentlich in Muttermilch nachgewiesen (140, 145–152).

Sterigmatocystin

Sterigmatocystin wird hauptsächlich vom Schimmelpilz *Aspergillus versicolor* gebildet und ist ein Vorläufer in der Biosynthese des Aflatoxins B₁.

Zum Vorkommen von Sterigmatocystin in Futtermitteln wie auch über das Carry over und Vorkommen in der Milch liegen nur wenige Resultate vor. Mais (23, 153), Maisgluten (23) wie auch Reiskleie (33) für die Futtermittelherstellung (NG 20 bzw. 100 μ g/kg für Maisgluten) und Getreide (NG 3 μ g/kg) (153) enthielten kein Sterigmatocystin. In einer Probe von «organisch» gewachsenem Weizen fand sich 18 μ g/kg Sterigmatocystin, nicht aber in anderen Ausgangsstoffen für die Futtermittelherstellung (37). In einem Milchviehfutter, bestehend aus Mais, Baumwollsaamen und einer Proteinmischung, das mit *Aspergillus versicolor* kontaminiert war, fand sich Sterigmatocystin in einer Konzentration von 7,75 mg/kg und führte zu akuten klinischen Symptomen (154). Kraus (155) verabreichte einer Kuh 500 mg Sterigmatocystin und fand dünn-schichtchromatographisch 34,6 μ g/l, entsprechend einem Carry over von 0,04 %. Sodann fand er in 2 von 98 handelsüblichen Milchproben Sterigmatocystin.

T-2 Toxin

T-2 Toxin ist ein Trichothecen-Mykotoxin und wird von verschiedenen *Fusarium*-Schimmelpilzen gebildet (156).

Vorkommen in Futtermitteln

T-2 Toxin wie auch HT-2 Toxin konnten in Futtergerste (83), Futterweizen (84) und Futterhafer (85) aus dem Südwesten von Deutschland mit einem unterschiedlichen Auftreten (Tabelle 5), T-2 Toxin auch in anderen Futter- und Lebensmitteln (Tabelle 6), HT-2 Toxin in 3 (30 μ g/kg) von 40 Maisgluten- sowie in 13 (210 μ g/kg) von 27 Maisproduktproben (23) und in 2 (120 und 440 μ g/kg) von 55 Getreideproben (87) nachgewiesen werden. Beide Mykotoxine wurden dagegen nicht in koreanischen Gerste- und Maisproben gefunden (NG 5 μ g/kg) (91).

Carry over

Über das Carry over des T-2 Toxins liegen drei Studien vor. An zwei Kühe wurde peroral 0,3 bzw. 0,5 mg/kg Körpermasse verabreicht. In der Milch erreichte die

Toxinausscheidung nach 4 bzw. 8 Stunden maximale Werte von 16,2 und 52,5 µg/l T-2 Toxin-Equivalente (mit der angewendeten ELISA-Methode werden neben T-2 auch Metaboliten, vor allem HT-2 Toxin, erfasst). Der prozentuale Übergang wurde mit 0,055 % für das eine Tier und mit 0,047 % für das andere Tier angegeben (157). In Versuchen mit radioaktiv markiertem T-2 Toxin wurde eine Übergangsrate von 0,2 % in die Milch erreicht (158). Bei einer trächtigen Kuh, die 182 mg unverändertes T-2 Toxin/Tag während 15 Tagen erhielt, wurden mit Ausnahmen vom 4. und 8. Tag 10 bis 160 µg T-2 Toxin/kg Milch nachgewiesen (159). Diese Versuche deuten auf einen Abbau des T-2 Toxins in der Kuh hin, was sich auch im Auftreten verschiedener Metaboliten im Blut und Urin manifestierte (160). So zeigte sich, dass Bakterien des Pansens dieses Toxin abbauen konnten (111, 161) und dass nach intravenöser Verabreichung von 1,2 mg/kg das T-2 Toxin nach 2 Stunden nicht mehr im Plasma nachgewiesen werden konnte (162).

Vorkommen in Milch und Milchprodukten

Es sind keine Angaben zum Auftreten des T-2 Toxins in handelsüblicher Milch vorhanden.

Zearalenon

Fusarium graminearum und *Fusarium culmorum* bilden auf Getreidearten Zearalenon (11).

Vorkommen in Futtermitteln

Zearalenon wurde immer wieder und α - und β -Zearalenol vereinzelt in Futtermitteln, auch in Milchviehfutter (163, 164) gefunden (Tabelle 10). Zearalenon wurde in Mais (39), in Reiskleie für die Futtermittelherstellung (33), Baumwollsamensamen, Sonnenblumen, Palmprodukten und Soja (37) nicht (NG 40 für Mais bzw. 20 µg/kg für die anderen Produkte) nachgewiesen. Die unter Deoxynivalenol bereits erwähnten Futtergerste- (83), Futterweizen- (84) und Futterhaferproben (85) wurden auch auf Zearalenon, α - und β -Zearalenol untersucht, in diesen Proben waren α - und β -Zearalenol nur vereinzelt vorhanden (Tabelle 5). Aufgrund dieser Befunde wird Zearalenon in Futtermitteln eher im µg/kg-Bereich vorliegen.

Carry over

Aufgrund des sporadischen Vorkommens von Zearalenon in Futtermitteln kann die Möglichkeit, dass dieses Mykotoxin in die Milch übergeht, nicht ausgeschlossen werden. Bei einer Kuh, der während 7 Tagen insgesamt 1,4 g Zearalenon verabreicht wurde, fand sich 0,7 % des verfütterten Zearalenons in der Milch in Form des Zearalenons, des α -Zearalenols und des β -Zearalenols, wobei diese in freier Form wie auch als Glucuronide und Sulfate vorlagen (165). In der Milch von zwei Kühen, die täglich 10 kg natürlich kontaminiertes Futterkonzentrat mit einem Zearalenongehalt von 385 bis 1925 µg/kg während 7 Wochen erhielten, konnte kein Zearalenon

Tabelle 10

Vorkommen von Zearalenon in Futter- und Lebensmitteln

Produkt	Land	n	pos. %	NG µg/kg	\bar{x} µg/kg	max. µg/kg	Jahr	Referenz
Futtermittel	D	92	45	2,5*			1990	Ranft (164)
Futtermittel	SF	146	14	15		383	1991	Hietaniemi (86)
Futtermittel	CH	47	15	250		590	1994	Gafner (31)
Futtermittel	Indien	49	6	50		843	1996	Phillips (18)
Futtermittel	Slowenien	372	11	20		460	1998	Vengust (19)
F. ingrediencien	NL	89	26	10	63	240	1992	Veldman (52)
Futterweizen	Rumänien	25	100	5	23	170	1998	Curtui (29)
Futtermais	Rumänien	30	13	5	420	1200	1998	Curtui (29)
Brotgetreide	CH	92	4	10		60	1996	Bucheli (103)
Getreide	Kanada	490	20	26		1240	1993	Stratton (87)
Gerste	Korea	30	0	5			1996	Ryu (91)
Gerste	GB	45	4	10		16	1997	Scudamore (37)
Gerste	Kanada	210	1	3		21	1997	Scott (92)
Weizen	GB	50	0	10			1997	Scudamore (37)
Weizen	CH	95	1	5		18	1996	Noser (98)
Weizen import.	CH	28	14	5		17	1996	Noser (98)
Weizen	Bulgarien	140	69	10	17	120	1996	Vrabcheva (99)
Mais	Argentinien	2271	30	k.A.		2000*	1996	Resnik (34)
Mais	Korea	15	7	5		71	1996	Ryu (91)
Mais	Kanada	203	53	5		647	1997	Scott (92)
Mais	Botswana	20	5	20		40	1998	Siame (20)
Mais	Indonesien	16	12	10		12	1998	Ali (36)
Mais	Korea	7	20	2	70	300	1999	Sohn (96)
Mais versch.	Korea	32	89	2	600	7300	1999	Sohn (96)
Maisgluten	GB	32	10	15		440	1997	Scudamore (37)
Maisgluten	GB	40	20	50		480	1998	Scudamore (23)
Maisprodukte	GB	27	100	20		1800	1998	Scudamore (23)

Produkt	Land	n	pos. %	NG µg/kg	\bar{x} µg/kg	max. µg/kg	Jahr	Referenz
Maisprodukte	GB	18	56	15		510	1997	Scudamore (37)
Maissilage	NL	2	100	10		87	1992	Veldman (52)
Maissilage versch.	NL	4	100	10		3100	1992	Veldman (52)
Reiskleie	GB	40	3	20		44	1997	Scudamore (37)
Reiskleie	GB	40	0	20			1997	Scudamore (33)
Baumwollsamensamen	GB	21	0	40			1997	Scudamore (37)
Sonnenblumen	GB	20	0	20			1997	Scudamore (37)
Palmprodukte	GB	15	0	40			1997	Scudamore (37)
Soja	GB	20	0	20			1997	Scudamore (37)
Soja	Kanada	97	6	3		39	1997	Scott (92)

versch. = verschimmelt

* Bestimmbarkeitsgrenze

* bezogen auf Trockenmasse

k.A. = keine Angaben

(< 4 µg/kg) nachgewiesen werden (137). Auch bei einer etwas höheren, täglich an drei Kühe verabreichten Menge von 50 oder 165 mg Zearalenon während 21 Tagen fanden sich Zearalenon und α -Zearalenol (NG je 0,5 µg/l) sowie β -Zearalenol (NG 1,5 µg/l) nicht in der Milch (166). In einer anderen Untersuchung mit zwei laktierenden Kühen wurde dagegen bei einer vergleichbaren täglichen Menge von 25 und 100 mg Zearalenon während sechs Tagen ein maximaler Toxingehalt von 0,4 bzw. 1,2 µg/l Zearalenonequivalente als Glucuronide in der Milch gefunden, wobei ohne Behandlung der Milch mit der β -Glucuronidase kein Toxin (NG 0,1 µg/l) gefunden wurde. Nach der letzten Verabreichung sank der Toxingehalt in der Milch rasch ab (167). In der Studie von *Prelusky et al.* (166) waren bei einer täglichen Dosis von 544,5 mg an eine Kuh maximal 2,5 µg Zearalenon/l und 3,0 µg α -Zearalenol/l Milch vorhanden, und bei einer Menge von 1,8 bzw. 6 g Zearalenon, verabreicht über einen ganzen Tag, resultierten nach den ersten drei Tagen maximal 4,0 bzw. 6,1 µg Zearalenon/l, 1,5 bzw. 4,0 µg α -Zearalenol/l und 4,1 bzw. 6,6 µg β -Zearalenol/l Milch. α -Zearalenol, nicht aber β -Zearalenol, wird möglicherweise im Pansen zu Zeranol, einem östrogenen Wachstumsförderer, hydriert und kann in der Galle nachgewiesen werden (168).

Vorkommen in Milch und Milchprodukten

Wenn das gelegentliche Vorkommen von Zearalenon in Futtermitteln wie auch die für einen Übergang in die Milch erforderliche Menge berücksichtigt werden, kann daraus geschlossen werden, dass dieses Mykotoxin in der Milch nicht anzutreffen ist. So konnte in 12 amerikanischen Milchproben kein Zearalenon gefunden werden (169), auch wenn je 20 µg/l Zearalenon, α - und β -Zearalenol in gekühlter Milch während zwei Wochen wie auch in gekochter Milch stabil waren (170).

Weitere Mykotoxine

Neben den hier diskutierten sind noch eine Vielzahl weiterer Mykotoxine wie beispielsweise Citrinin, Diacetoxyscirpenol, Ergovalin, Fusarenon X, Fusarinsäure, Mycophenolsäure, Moniliformin, β -Nitropropionsäure, Patulin, Penicillinsäure, Penitrem A, PR Toxin und Rubratoxin A bekannt. Für den Nachweis einzelner oder mehrerer dieser Mykotoxine in Getreide bestehen zwar Methoden (171), doch kommen diese Mykotoxine in Futtermitteln nur sporadisch vor. Diacetoxyscirpenol konnte in deutschen Futtergerste- (83), Futterweizen- (84) und Futtermais- (85) (Tabelle 5) wie auch in rumänischen Futterweizen- (NG 2 µg/kg) (29) und bulgarischen Weizenproben (NG 2 µg/kg) (99) nicht nachgewiesen werden, aber in einer rumänischen Futtermaisprobe (29). Fusarenon-X war in koreanischer Gerste nicht, dagegen in Mais vorhanden (91). Während der Silageherstellung aus Mais, der mit *Penicillium roqueforti* inokuliert wurde, konnten Mycophenolsäure, Patulin, PR Toxin (NG je 0,1 mg/kg) und Penicillinsäure (NG 0,2 mg/kg) erst nach 36, 22–27, 49 bzw. 13 Tagen Inkubation nachgewiesen werden, und die maximalen Konzentrationen betragen 3,6, 15,1, 2,2 und 3,1 mg/kg. Die Wahrscheinlichkeit des Vorkommens

dieser Mykotoxine in Maissilage wird als gering eingestuft (172). In 20 % der untersuchten Weizen- und Gerstenproben fand sich Citrinin, in einer Probe 8 µg/kg (37). Dieses Mykotoxin (NG 200 µg/kg) wurde nur in einer von 30 Futtermaisproben, nicht aber in 25 Futterweizenproben nachgewiesen (29). Fusarenon X (NG 150 µg/kg) wurde weder in Futterweizen noch in -mais gefunden (29). Fusarinsäure (5-Butylpicolinsäure) wurde in allen untersuchten Futtermittelproben in einer Konzentration von 0,4 bis 12,4 mg/kg nachgewiesen (173). Moniliformin wurde in 22 unverarbeiteten Maisproben in einer Konzentration von 24 bis 522 µg/kg gefunden (174). Patulin kommt vorwiegend in Äpfeln und Apfelsäften vor. Über das Carry over dieser Mykotoxine in die Milch sind praktisch keine Ergebnisse vorhanden³. Vom Ergovalin ist bekannt, dass es in der Ziegenmilch 8 Stunden nach Verabreichung nicht nachgewiesen werden konnte (175). Hinzu kommt, dass im Pansen chemische Reaktionen ablaufen, die zu einer Metabolisierung oder zu einem Abbau von gewissen Mykotoxinen führen können (176).

Schlussfolgerung

Diese Ausführungen haben gezeigt, dass unter dem Gesichtspunkt eines Übergangs der verschiedenen Mykotoxine in die Milch nur wenige in Frage kommen. Von den hier abgehandelten Mykotoxinen (Aflatoxin, Cyclopiazonsäure, Deoxynivalenol, Fumonisine, Ochratoxin A, Sterigmatocystin, T-2 Toxin und Zearalenon) ist in der Milch vor allem das Aflatoxin M₁ problematisch, andere wie Cyclopiazonsäure und Ochratoxin A kommen nur gelegentlich vor. In der Fremd- und Inhaltsstoffverordnung (177) existieren für Milch und Milchprodukte nur Grenzwerte für das Aflatoxin M₁ (Milch und Milchprodukte 50 ng/kg, Käse 250 ng/kg, Säuglingsanfangs- und Folgenahrung 20 ng/kg, bezogen auf essfertige Zubereitung) und für die Summe der Aflatoxine B₁+B₂+G₁+G₂ (Säuglingsanfangs- und Folgenahrung 10 ng/kg, bezogen auf essfertige Zubereitung sowie Lebensmittel allgemein 5 µg/kg). Ein Grenzwert für Ochratoxin A existiert auch für Lebensmittel allgemein wie auch für Säuglingsanfangs- und Folgenahrung (5 bzw. 0,5 µg/kg Trockenmasse). Die Kontrollen durch die kantonalen Laboratorien in den letzten Jahren sind auf dem Gebiete der Mykotoxine sehr umfangreich und konzentrieren sich auf Risikoprodukte wie geriebener Käse und Kindernährmittel. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die Grenzwerte an Aflatoxin M₁ äusserst selten überschritten werden (Tabelle 3).

Diese Ausführungen über das Vorkommen von Mykotoxinen in Futtermitteln und in Milch zeigen, dass mit dem Auftreten verschiedener Mykotoxine in Futtermitteln durchaus zu rechnen ist. Angesichts dieser Tatsache wurde in der Futtermittelverordnung ein Grenzwert von 5 µg Aflatoxin B₁/kg für Ergänzungsfuttermittel

³ Die obenerwähnten Mykotoxine wurden in Medline in Verbindung mit Milch gesucht: Es wurden zwar Arbeiten angegeben (Anzahl Arbeiten in Klammern), aber keine befasste sich speziell mit dem Carry over dieser Mykotoxine: Citrinin (1), Diacetoxyscirpenol (0), Mycophenolsäure (3), β-Nitropropionsäure (1), Patulin (7), Penicillinsäure (3), Penitrem A (1), PR Toxin (1), Rubratoxin (0).

Milchvieh festgelegt. Das Carry over der bisher untersuchten Mykotoxine in die Milch ist zwar gering, doch existiert noch eine Vielzahl anderer Mykotoxine, über deren Carry over nichts bekannt ist. Deshalb ist der Milchproduzent im Rahmen der Qualitätssicherung Milchproduktion aufgefordert, die Mykotoxinbelastung der Futtermittel so gering als möglich zu halten, das heisst: Eine Verschimmelung von Futtermitteln sollte unter allen Umständen vermieden und verschimmelte Futtermittel sollten nicht verfüttert werden. Diese Sorgfaltspflicht ist als Präventionsmassnahme für die menschliche Gesundheit unerlässlich.

Zusammenfassung

Es wird eine Literaturübersicht über das Vorkommen von Mykotoxinen in Futtermitteln und deren Carry over in die Milch gegeben. Futtermittel sind je nach Herkunft unterschiedlich stark mit Mykotoxinen kontaminiert. In den Industrieländern ist die Situation weniger gravierend als in Entwicklungs- oder Schwellenländern, wo infolge der klimatischen Bedingungen Lebens- und Futtermittel bei ungenügender Lagerhaltung schneller verschimmeln kann. Beim Carry over von Mykotoxinen aus Futtermitteln in die Milch spielen die Aflatoxine eine besondere Rolle. Bedeutsam ist vor allem das Aflatoxin B₁, das vom tierischen Metabolismus in Aflatoxin M₁ umgewandelt und als solches mit der Milch ausgeschieden wird. Cyclopiazonsäure und Ochratoxin A gehen nur bei einer hohen Kontamination in die Milch über. Für andere Mykotoxine wurde keine nennenswerte Übergangsrate beobachtet. Eine Auswertung der breitangelegten Untersuchungen der kantonalen Laboratorien zeigt, dass in der Schweiz die Aflatoxingrenzwerte in Milch und Milchprodukten nur äusserst selten überschritten werden. Die Sorgfaltspflicht der Milchproduzenten ist nach wie vor die wirksamste Präventionsmassnahme für die Gesundheit der Konsumentinnen und Konsumenten.

Résumé

Une revue de littérature sur la présence des mycotoxines dans les aliments pour bétail et leur carry over dans le lait est présentée. Selon leur provenance, les fourrages sont plus ou moins contaminés par les mycotoxines. Dans les pays industrialisés, la situation est moins préoccupante que dans les pays en voie de développement ou en voie d'industrialisation dans lesquels, en raison des conditions climatiques et de conservation, les aliments et matières premières moisissent plus rapidement. Lors du passage des mycotoxines du fourrage au lait, ce sont les aflatoxines qui posent le plus de problèmes, en particulier l'aflatoxine B₁, transformée en aflatoxine M₁ par le métabolisme de l'animal et excrétée en tant que telle avec le lait. A noter que l'acide cyclopiazonique et l'ochratoxine A ne parviennent dans le lait que dans le cas d'une contamination élevée. Quant aux autres mycotoxines, aucune migration importante n'a été enregistrée. Les analyses des laboratoires cantonaux menées sur une large échelle démontrent qu'en Suisse la valeur limite de l'aflatoxine dans le lait et les produits laitiers n'est que très rarement dépassée. Le devoir de diligence des produc-

teurs de lait reste la mesure de prévention la plus efficace pour préserver la santé des consommateurs.

Summary «Occurrence of Mycotoxins in Feeds and Carry over into Milk – a Review»

A review on the occurrence of mycotoxins in feeds and their carry over in milk is given. Animal feedstuffs are contaminated by mycotoxins to different levels depending on their origin. The situation in industrial countries is less severe than in developing countries, where climatic conditions may lead to more rapid growth of moulds in foods and feedstuffs under poor storage conditions. Aflatoxins are the most prominent mycotoxins carried over from foodstuffs into milk. Of special importance is aflatoxin B₁ which is transformed into aflatoxin M₁ through animal metabolism and excreted into milk. Cyclopiazonic acid and ochratoxin A are only excreted into milk when present in high amounts in contaminated feedstuffs. No important carry over levels were observed for other mycotoxins. The Swiss cantonal laboratories investigate aflatoxin M₁ on a broad basis. An analysis of these results showed that the limit values for aflatoxins in milk and milk products are very seldomly exceeded. The milk producer's diligent surveillance of their product is the most important preventive measure for consumer's health.

Key words

Mycotoxin, Milk, Feed, Carry over, Occurrence

Literatur

- 1 *van Egmond, H.P.*: Mycotoxins: regulations, quality assurance and reference materials. *Food Addit. Contam.* **12**, 321–330 (1995).
- 2 *Boutrif, E. and Canet, C.*: Mycotoxin prevention and control: FAO programmes. *Rev. Méd. Vét.* **149**, 681–694 (1998).
- 3 *Pfohl-Leskowicz, A.*: Les mycotoxines dans l'alimentation. Editions Tec & Doc Lavoisier, Paris 1999.
- 4 *Scott, P.M.*: Mycotoxins in feeds and ingredients and their origin. *J. Food Protect.* **41**, 385–398 (1978).
- 5 *Jelinek, C.F., Pohland, A.E. and Wood, G.E.*: Worldwide occurrence of mycotoxins in foods and feeds – an update. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* **72**, 223–230 (1989).
- 6 *Auerbach, H. und Geissler, C.*: Mykotoxine in Rauh- und Saftfuttermitteln für Wiederkäuer. *Uebers. Tierernährg.* **20**, 167–208 (1992).
- 7 *Wood, G.E.*: Mycotoxins in foods and feeds in the United States. *J. Anim. Sci.* **70**, 3941–3949 (1992).
- 8 *Shephard, G.S., Thiel, P.G., Stockenström, S. and Sydenhams, E.W.*: Worldwide survey of fumonisin contamination of corn and corn-based products. *J. Assoc. Off. Anal. Chem. Int.* **79**, 671–687 (1996).
- 9 *Rustom, I.Y.S.*: Aflatoxin in food and feed: Occurrence, legislation and inactivation by physical methods. *Food Chem.* **59**, 57–67 (1996).
- 10 *Höhler, D.*: Ochratoxin A in food and feed: occurrence, legislation and mode of action. *Z. Ernährungswiss.* **37**, 2–12 (1998).

- 11 *Pittet, A.*: Natural occurrence of mycotoxins in foods and feeds – an updated review. *Revue Méd. Vét.* **149**, 479–492 (1998).
- 12 *Scudamore, K.A.* and *Livesey, C.T.*: Occurrence and significance of mycotoxins in forage crops and silage: a review. *J. Sci. Food Agric.* **77**, 1–17 (1998).
- 13 *Placinta, C.M., D'Mello, J.P.F.* and *Macdonald, A.M.C.*: A review of worldwide contamination of cereal grains and animal feed with *Fusarium* mycotoxins. *Anim. Feed Sci. Tech.* **78**, 21–37 (1999).
- 14 *Steiner, W., Pacciarelli, B.* und *Battaglia, R.*: Aflatoxin B₁, BGY-Fluoreszenz und Kojisäure in Maiskörnern: eine Untersuchung auf Mais schweizerischer Herkunft. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* **82**, 457–474 (1991).
- 15 *Castegnaro, M.* and *McGregor, D.*: Carcinogenic risk assessment of mycotoxins. *Rev. Méd. Vét.* **149**, 671–678 (1998).
- 16 *Pineiro, M.S., Silva, G.E., Scott, P.M., Lawrence, G.A.* and *Stack, M.E.*: Fumonisin levels in Uruguayan corn products. *J. Assoc. Off. Anal. Chem. Int.* **80**, 825–828 (1997).
- 17 *Dutton, M.F.* and *Kinsey, A.*: Occurrence of mycotoxins in cereals and animal feedstuffs in Natal, South Africa 1994. *Mycopathologia* **131**, 31–36 (1995).
- 18 *Phillips, S.I., Wareing, P.W., Dutta, A., Panigrahi, S.* and *Medlock, V.*: The mycoflora and incidence of aflatoxin, zearalenone and sterigmatocystin in dairy feed and forage samples from Eastern India and Bangladesh. *Mycopathologia* **133**, 15–21 (1996).
- 19 *Vengust, A., Tavcar, G.* and *Zust, J.*: Contamination of feedingstuffs with some mycotoxins in Slovenia. *Rev. Méd. Vét.* **149**, 707 (1998).
- 20 *Siame, B.A., Mpuchane, S.F., Gashe, B.A., Allotey, J.* and *Teffera, G.*: Occurrence of aflatoxins, fumonisin B₁, and zearalenone in foods and feeds in Botswana. *J. Food Protect.* **61**, 1670–1673 (1998).
- 21 *Urano, T., Trucksess, M.W., Beaver, R.W., Wilson, D.M., Dorner, J.W.* and *Dowell, F.E.*: Co-occurrence of cyclopiazonic acid and aflatoxins in corn and peanuts. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* **75**, 838–841 (1992).
- 22 *Mühlemann, M., Lüthy, J.* and *Hübner, P.*: Mycotoxin contamination of food in Ecuador. A: Aflatoxins. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* **88**, 474–496 (1997).
- 23 *Scudamore, K.A., Nawaz, S.* and *Hetmanski, M.T.*: Mycotoxins in ingredients of animal feeding stuffs: II. Determination of mycotoxins in maize and maize products. *Food Addit. Contam.* **15**, 30–55 (1998).
- 24 *Pineiro, M., Dawson, R.* and *Costarrica, M.L.*: Monitoring program for mycotoxin contamination in Uruguayan food and feeds. *Natural Toxins* **4**, 242–245 (1996).
- 25 *Ioannou-Kakouri, E., Aletrari, M., Christou, E., Hadjioannou-Ralli, A., Koliou, A.* and *Akkeli-dou, D.*: Surveillance and control of aflatoxins B₁, B₂, G₁, G₂, and M₁ in foodstuffs in the republic of Cyprus: 1992–1996. *J. Assoc. Off. Anal. Chem. Int.* **82**, 883–892 (1999).
- 26 *Fernandez Pinto, V.E.F., Vaamonde, G., Brizzio, S.B.* and *Apro, N.*: Aflatoxin production in soybean varieties grown in Argentina. *J. Food Protect.* **54**, 542–545 (1991).
- 27 *Correa, B., Galhardo, M., Costa, E.O.* and *Sabino, M.*: Distribution of molds and aflatoxins in dairy cattle feeds and raw milk. *Rev. Microbiologia* **28**, 279–283 (1997).
- 28 *Martins, M.L.* and *Martins, H.M.*: Natural and in vitro coproduction of cyclopiazonic acid and aflatoxins. *J. Food Protect.* **62**, 292–294 (1999).
- 29 *Curtui, V., Usleber, E., Dietrich, R., Lepšy, J.* and *Märtlbauer, E.*: A survey on the occurrence of mycotoxins in wheat and maize from western Romania. *Mycopathologia* **143**, 97–103 (1998).
- 30 *Bliithgen, A.* und *Heeschen, W.*: Zur Kontamination von Tankwagensammelmilch und Futtermitteln mit den Aflatoxinen M₁ und B₁ in Norddeutschland im Frühjahr 1994. *Dtsch. Molke-rei-Ztg. Lebensmittelind. Milchwirt.* **116**, 4–13 (1995).
- 31 *Gafner, J.-L., Guidon, D., Chaubert, C.* and *Rihs, T.*: Survey of mycotoxin contamination of Swiss feedstuffs using ELISA tests. *Proc. 4th Int. Symp. AOAC Int., Europe Section, Nyon, Switzerland, September 29–30, 1994.* Poster 18 (1994).

- 32 *Dhavan, A.S. and Choudary, M.R.*: Incidence of aflatoxins in animal feedstuffs: a decade's scenario in India. *J. Assoc. Off. Anal. Chem. Int.* **78**, 693–698 (1995).
- 33 *Scudamore, K.A., Nawaz, S., Hetmanski, M.T. and Rainbird, S.C.*: Mycotoxins in ingredients of animal feeding stuffs: III. Determination of mycotoxins in rice bran. *Food Addit. Contam.* **15**, 185–194 (1998).
- 34 *Resnik, S., Neira, S., Pacin, A., Martinez, E., Apro, N. and Latreite, S.*: A survey of the natural occurrence of aflatoxins and zearalenone in Argentine field maize: 1983–1994. *Food Addit. Contam.* **13**, 115–120 (1996).
- 35 *Bhat, R.V., Vasanthi, S., Rao, B.S., Rao, R.N., Rao, V.S., Nagaraja, K.V., Bai, R.G., Prasad, C.A., Vanchinathan, S., Roy, R., Saha, S., Mukherjee, A., Ghosh, P.K., Toteja, G.S. and Saxena, B.N.*: Aflatoxin B₁ contamination in maize samples collected from different geographical regions of India – a multicentre study. *Food Addit. Contam.* **14**, 151–156 (1997).
- 36 *Ali, N., Sardjono, Yamashita, A. and Yoshizawa, T.*: Natural co-occurrence of aflatoxins and Fusarium mycotoxins (fumonisins, deoxynivalenol, nivalenol and zearalenone) in corn from Indonesia. *Food Addit. Contam.* **15**, 377–384 (1998).
- 37 *Scudamore, K.A., Hetmanski, M.T., Chan, H.K. and Collins, S.*: Occurrence of mycotoxins in raw ingredients used for animal feeding stuffs in the United Kingdom in 1992. *Food Addit. Contam.* **14**, 157–173 (1997).
- 38 *Bhat, R.V., Vasanthi, S., Rao, B.S., Rao, R.N., Rao, V.S., Nagaraja, K.V., Bai, R.G., Prasad, C.A., Vanchinathan, S., Roy, R., Saha, S., Mukherjee, A., Ghosh, P.K., Toteja, G.S. and Saxena, B.N.*: Aflatoxin B₁ contamination in groundnut samples collected from different geographical regions of India: a multicentre study. *Food Addit. Contam.* **13**, 325–331 (1996).
- 39 *Lee, Y.J. and Hagler, W.M.*: Aflatoxin and cyclopiazonic acid production by *Aspergillus flavus* isolated from contaminated maize. *J. Food Sci.* **56**, 871–872 (1991).
- 40 *Sieber, R. und Blanc, B.*: Zur Ausscheidung von Aflatoxin M₁ in die Milch und dessen Vorkommen in Milch und Milchprodukten – eine Literaturübersicht. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* **69**, 477–491 (1978).
- 41 *Price, R.L., Paulson, J.H., Lough, O.G., Gingg, C. and Kurtz, A.G.*: Aflatoxin conversion by dairy cattle consuming naturally-contaminated whole cottonseed. *J. Food Protect.* **48**, 11–15 (1985).
- 42 *Munksgaard, L., Larsen, J., Werner, H., Andersen, P.E. and Viuf, B.T.*: Carry over of aflatoxin from cows' feed to milk and milk products. *Milchwissenschaft* **42**, 165–167 (1987).
- 43 *Choudhary, P.L., Sharma, R.S. and Borkhateria, V.N.*: Carry over of aflatoxin B₁ from feed as aflatoxin M₁ in milk of Indian cows. *Milchwissenschaft* **53**, 512–515 (1998).
- 44 *Veldman, A., Mejis, J.A.C., Borggreve, G.J. and Heeres van der Tol, J.J.*: Carry over of aflatoxin from cows' food to milk. *Anim. Prod.* **55**, 163–168 (1992).
- 45 *Steimer, J., Blüthgen, A., Heeschen, W., Wetzel, S. und Hamann, J.*: Untersuchungen zur Beeinflussung der Ausscheidung von Aflatoxin M₁ durch polychlorierte Biphenyle beim laktierenden Rind. *Kieler Milchwirt. Forschungsber.* **42**, 543–552 (1990).
- 46 *Frémy, J.M. and Quillardet, P.*: The «Carry over» of aflatoxin into milk of cows fed ammoniated rations: use of an HPLC method and a genotoxicity test for determining milk safety. *Food Addit. Contam.* **2**, 201–207 (1985).
- 47 *Frémy, J.M., Gautier, J.P., Herry, M.P., Terrier, C. and Calet, C.*: Effects of ammoniation on the «Carry over» of aflatoxins into bovine milk. *Food Addit. Contam.* **5**, 39–44 (1988).
- 48 *Bailey, G.S., Price, R.L., Park, D.L. and Hendricks, J.D.*: Effect of ammoniation of aflatoxin B₁-contaminated cottonseed feedstock on the aflatoxin M₁ content of cows' milk and hepatocarcinogenicity in the trout bioassay. *Food Chem. Toxicol.* **32**, 707–715 (1994).
- 49 *Smith, E.E., Phillips, T.D., Ellis, J.A., Harvey, R.B., Kubena, L.F., Thompson, J. and Newton, G.*: Dietary hydrated sodium calcium aluminosilicate reduction of aflatoxin M₁ residue in dairy goat milk and effects on milk production and components. *J. Anim. Sci.* **72**, 677–682 (1994).

- 50 *Harvey, R.B., Phillips, T.D., Ellis, J.A., Kubena, L.F., Huff, W.E. and Petersen, H.D.*: Effects on aflatoxin M₁ residues in milk by addition of hydrated sodium calcium aluminosilicate to aflatoxin-contaminated diets of dairy cows. *Am. J. Vet. Res.* **52**, 1556–1559 (1991).
- 51 *Phillips, T.D., Clement, B.A., Kubena, L.F. and Harvey, R.B.*: Detection and detoxification of aflatoxins: prevention of aflatoxicosis and aflatoxin residues with hydrated sodium calcium aluminosilicate. *Vet. Hum. Toxicol.* **32**, 15–19 (Suppl.) (1990).
- 52 *Veldman, A.*: Effect of sorbentia on Carry over of aflatoxin from cow feed to milk. *Milchwissenschaft* **47**, 77–79 (1992).
- 53 *Galvano, F., Pietri, A., Bertuzzi, T., Fusconi, G., Galvano, M., Piva, A. and Piva, G.*: Reduction of carryover of aflatoxin from cow feed to milk by addition of activated carbons. *J. Food Protect.* **59**, 551–554 (1996).
- 54 *Müller, L., Langseth, W., Solheim, E. and Sivertsen, T.*: Ammoniated forage poisoning: Isolation and characterization of alkyl-substituted imidazoles in ammoniated forage and in milk. *J. Agric. Food Chem.* **46**, 3172–3177 (1998).
- 55 *Galvano, F., Galofaro, V. and Galvano, G.*: Occurrence and stability of aflatoxin M₁ in milk and milk products: A worldwide review. *J. Food Protect.* **59**, 1079–1090 (1996).
- 56 *Jalon, M., Urieta, B.P. y Macho, M.L.*: Vigilancia de la contaminación por aflatoxina M₁ de leche y productos lácteos en la Comunidad Autónoma Vasca. *Alimentaria* **3**, 25–29 (1994).
- 57 *Skrinjar, M., Danev, M. and Dimic, G.*: Investigation on the presence of toxigenic fungi and aflatoxins in raw milk. *Acta Aliment.* **24**, 395–402 (1995).
- 58 *Rossi, J., Cataluffi, L. ed Gobbetti, M.*: La presenza di aflatoxina M₁ nel latte vaccino ed ovino di alcune aziende dell'Umbria. *Ind. Latte* **32**, 37–41 (1996).
- 59 *Domagala, J., Kizza, J., Blüthgen, A. and Heeschen, W.*: Contamination of milk with aflatoxin M₁ in Poland. *Milchwissenschaft* **52**, 631–633 (1997).
- 60 *Rajan, A.S., Ismail, P.K. and Radhakrishnan, V.*: Survey of milk samples for aflatoxin M₁ in Thrissur, Kerala. *Indian J. Dairy Sci.* **48**, 302–305 (1995).
- 61 *Amra, H.A.*: Survey of aflatoxin M₁ in Egyptian raw milk by enzyme-linked immunosorbent assay. *Rev. Méd. Vét.* **149**, 695 (1998).
- 62 *Saitanu, K.*: Incidence of aflatoxin M₁ in Thai milk products. *J. Food Protect.* **60**, 1010–1012 (1997).
- 63 *Fernandes Oliveira, C.A., Leal Germano, P.M., Bird, C. and Pinto, C.A.*: Immunochemical assessment of aflatoxin M₁ in milk powder consumed by infants in Sao Paulo, Brazil. *Food Addit. Contam.* **14**, 7–10 (1997).
- 64 *Atkins, D.P.*: Survey of aflatoxin M₁ in farm gate milk. *Food Surveillance Inform. Sheet Number* **78**, 1–4 (1996).
- 65 *Meerarani, S., Ramadass, P., Padmanaban, V.D. and Nachimuthu, K.*: Incidence of aflatoxin M₁ in milk samples around Chennai (Madras) city. *J. Food Sci. Tech. – Mysore* **34**, 506–508 (1997).
- 66 *Choudhary, P.L., Sharma, R.S., Borkhatriya, V.N., Murthi, T.N. and Wadodkar, U.R.*: Survey on the levels of aflatoxin M₁ in raw and market milk in and around Anand town. *Indian J. Dairy Sci.* **50**, 156–158 (1997).
- 67 *Galvano, F., Galofaro, V., de Angelis, A., Galvano, M., Bognanno, M. and Galvano, G.*: Survey of the occurrence of aflatoxin M₁ in dairy products marketed in Italy. *J. Food Protect.* **61**, 738–741 (1998).
- 68 *Markaki, P. and Melissari, E.*: Occurrence of aflatoxin M₁ in commercial pasteurized milk determined with ELISA and HPLC. *Food Addit. Contam.* **14**, 451–456 (1997).
- 69 *de Sylos, C.M., Rodriguez-Amaya, D.B. and Carvalho, P.R.N.*: Occurrence of aflatoxin M₁ in milk and dairy products commercialized in Campinas, Brazil. *Food Addit. Contam.* **13**, 169–172 (1996).
- 70 *Diaz, S., Dominguez, L., Prieta, J., Blanco, J.L. and Morena, M.A.*: Application of a diphasic dialysis membrane procedure for surveying occurrence of aflatoxin M₁ in commercial milk. *J. Agric. Food Chem.* **43**, 2678–2680 (1995).

- 71 Leonard, C.: Survey of Aflatoxin M₁ in retail milk and milk products. Food Surveillance Inform. Sheet Number 64, 1–8 (1995).
- 72 Gallagher, R.T., Richard, J.L., Stahr, H.M. and Cole, R.J.: Cyclopiazonic acid production by aflatoxigenic and non-aflatoxigenic strains of *Aspergillus flavus*. Mycopathologia 66, 31–36 (1978).
- 73 Balachandran, C. and Parthasarathy, K.R.: Occurrence of cyclopiazonic acid in feeds and feed-stuffs in Tamil Nadu, India. Mycopathologia 133, 159–162 (1996).
- 74 Widiastuti, R., Maryam, R., Blaney, B.J., Stoltz, S. and Stoltz, B.R.: Cyclopiazonic acid in combination with aflatoxins, zearalenone and ochratoxin A in Indonesian corn. Mycopathologia 104, 153–156 (1988).
- 75 Lansden, J.A. and Davidson, J.I.: Occurrence of cyclopiazonic acid in peanuts. Appl. Environm. Microbiol. 45, 766–769 (1983).
- 76 Yu, W., Dorner, J.W. and Chu, F.S.: Immunoaffinity column as cleanup tool for a direct competitive enzyme-linked immunosorbent assay of cyclopiazonic acid in corn, peanuts, and mixed feed. J. Assoc. Off. Anal. Chem. Int. 81, 1169–1175 (1998).
- 77 Ross, P.F., Rive, L.G., Casper, H.H., Crenshaw, J.D. and Richard, J.L.: Novel occurrence of cyclopiazonic acid in sunflower seeds. Vet. Hum. Toxicol. 33, 284–285 (1991).
- 78 Ostry, V. and Polster, M.: [Detection of cyclopiazonic acid and its producers in food]. Vet. Med. (Praha) 34, 421–430 (1989).
- 79 Dorner, J.W., Cole, R.J., Erlington, D.J., Suksupath, S., McDowell, G.H. and Bryden, W.L.: Cyclopiazonic acid residues in milk and eggs. J. Agric. Food Chem. 42, 1516–1518 (1994).
- 80 Prasongsidh, B.C., Kailasapathy, K., Skurray, G.R. and Bryden, W.L.: Kinetic study of cyclopiazonic acid during the heat-processing of milk. Food Chem. 62, 467–472 (1998).
- 81 Prasongsidh, B.C., Kailasapathy, K., Skurray, G.R. and Bryden, W.L.: Stability of cyclopiazonic acid during storage and processing of milk. Food Res. Int. 30, 793–798 (1997).
- 82 Prasongsidh, B.C., Kailasapathy, K., Skurray, G.R. and Bryden, W.L.: Behaviour of cyclopiazonic acid during the manufacture and storage of yogurt. Aust. J. Dairy Tech. 53, 152–155 (1998).
- 83 Müller, H.M., Reimann, J., Schumacher, U. and Schwadorf, K.: Natural occurrence of *Fusarium* toxins in barley harvested during five years in an area of southwest Germany. Mycopathologia 137, 185–192 (1997).
- 84 Müller, H.M., Reimann, J., Schumacher, U. and Schwadorf, K.: *Fusarium* toxins in wheat harvested during six years in an area of southwest Germany. Natural Toxins 5, 24–30 (1997).
- 85 Müller, H.M., Reimann, J., Schumacher, U. and Schwadorf, K.: Natural occurrence of *Fusarium* toxins in oats harvested during five years in an area of southwest Germany. Food Addit. Contam. 15, 801–806 (1998).
- 86 Hietaniemi, V. and Kumpulainen, J.: Contents of *Fusarium* toxins in Finnish and imported grains and feeds. Food Addit. Contam. 8, 171–182 (1991).
- 87 Stratton, G.W., Robinson, A.R., Smith, H.C., Kittilsen, L. and Barbour, M.: Levels of five mycotoxins in grains harvested in Atlantic Canada as measured by high performance liquid chromatography. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 24, 399–409 (1993).
- 88 Trucksess, M.W., Thomas, F., Young, K., Stack, M.E., Fulgueras, W.J. and Page, S.W.: Survey of deoxynivalenol in U.S. 1993 wheat and barley crops by enzyme-linked immunosorbent assay. J. Assoc. Off. Anal. Chem. Int. 78, 631–636 (1995).
- 89 Berleth, M., Backes, F. und Krämer, J.: Schimmelpilzspektrum und Mykotoxine (Deoxynivalenol und Ochratoxin A) in Getreideproben aus ökologischem und integriertem Anbau. Agribiol. Res. 51, 369–376 (1998).
- 90 Langseth, W. and Elen, O.: Differences between barley, oats and wheat in the occurrence of deoxynivalenol and other trichothecenes in Norwegian grain. J. Phytopathol. 144, 113–118 (1996).

- 91 Ryu, J. C., Yang, J. S., Song, Y. S., Kwon, O. S., Park, J. and Chang, I. M.: Survey of natural occurrence of trichothecene mycotoxins and zearalenone in Korean cereals harvested in 1992 using gas chromatography/mass spectrometry. *Food Addit. Contam.* **13**, 333–341 (1996).
- 92 Scott, P. M.: Multi-year monitoring of Canadian grains and grain-based foods for trichothecenes and zearalenone. *Food Addit. Contam.* **14**, 333–339 (1997).
- 93 Abramson, D., Clear, R. M., Usleber, E., Gessler, R., Nowicki, T. W. and Märklbauer, E.: *Fusarium* species and 8-keto-trichothecene mycotoxins in Manitoba barley. *Cereal Chem.* **75**, 137–141 (1998).
- 94 Mühlemann, M., Lüthy, J. and Hübner, P.: Mycotoxin contamination of food in Ecuador. B: Ochratoxin A, deoxynivalenol, T-2 toxin and fumonisin. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* **88**, 593–612 (1997).
- 95 Bakan, B., Cabagnier, B. and Melcion, D.: Natural occurrence of *Fusarium* toxins in domestic wheat and corn harvested in 1996 and 1997 and production of mycotoxin by *Fusarium* isolates from these samples. *Rev. Méd. Vét.* **149**, 697 (1998).
- 96 Sohn, H.-B., Seo, J.-A. and Lee, Y.-W.: Co-occurrence of *Fusarium* mycotoxins in mouldy and healthy corn from Korea. *Food Addit. Contam.* **16**, 153–158 (1999).
- 97 Fernandez, C., Stack, M. E. and Musser, S. M.: Determination of deoxynivalenol in 1991 U.S. winter and spring wheat by high-performance thin-layer chromatography. *J. Assoc. Off. Anal. Chem. Int.* **77**, 628–630 (1994).
- 98 Noser, J. R., Wenk, P. und Sutter, A.: Deoxynivalenol, Zearalenon und Ochratoxin A in Weizen aus dem Kanton Basel-Landschaft. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* **87**, 574–586 (1996).
- 99 Vrabcheva, T., Gessler, R., Usleber, E. and Märklbauer, E.: First survey on the natural occurrence of *Fusarium* mycotoxins in Bulgarian wheat. *Mycopathologia* **136**, 47–52 (1996).
- 100 Trucksess, M. W., Ready, D. W., Pender, M. K., Ligon, C. A., Wood, G. E. and Page, S. W.: Determination and survey of deoxynivalenol in white flour, whole wheat flour, and bran. *J. Assoc. Off. Anal. Chem. Int.* **79**, 883–887 (1996).
- 101 Dalcerro, A., Torres, A., Etcheverry, M., Chulze, S. and Varsavsky, E.: Occurrence of deoxynivalenol and *Fusarium graminearum* in Argentinian wheat. *Food Addit. Contam.* **14**, 11–14 (1997).
- 102 Pacin, A. M., Resnik, S. L., Neira, M. S., Molto, G. and Martinez, E.: Natural occurrence of deoxynivalenol in wheat, wheat flour and bakery products in Argentina. *Food Addit. Contam.* **14**, 327–331 (1997).
- 103 Bucheli, B., Diserens, P., Rychener, M., Tiethe, J.-D. und Trenkner, N.: Untersuchungen zum Fusarienbefall und zur Mykotoxinbelastung des schweizerischen Brotgetreides der Ernten 1992–1994. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* **87**, 84–102 (1996).
- 104 Veldman, A., Borggreve, G. J., Mulders, E. J. and van de Lagemaat, D.: Occurrence of the mycotoxins ochratoxin A, zearalenone and deoxynivalenol in feed components. *Food Addit. Contam.* **9**, 647–655 (1992).
- 105 Perkowski, J.: Distribution of deoxynivalenol in barley kernels infected by *Fusarium*. *Nahrung*, **42**, 81–83 (1998).
- 106 Charmley, E., Trenholm, H. L., Thompson, B. K., Vudathala, D., Nicholson, J. W. G., Prelusky, D. B., Charmley, L. L.: Influence of level of deoxynivalenol in the diet of dairy cows on feed intake, milk production, and its composition. *J. Dairy Sci.* **76**, 3580–3587 (1993).
- 107 Côté, L.-M., Dahlem, A. M., Yoshizawa, T., Swanson, S. P. and Buck, W. B.: Excretion of deoxynivalenol and its metabolite in milk, urine, and feces of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* **69**, 2416–2423 (1986).
- 108 Prelusky, D. B., Trenholm, H. L., Lawrence, G. A. and Scott, P. M.: Nontransmission of deoxynivalenol (vomitoxin) to milk following oral administration to dairy cows. *J. Environ. Sci. Health B* **19**, 593–609 (1984).
- 109 King, R. R., McQueen, R. E., Levesque, D. and Greenhalgh, R.: Transformation of deoxynivalenol (vomitoxin) by rumen microorganisms. *J. Agric. Food Chem.* **32**, 1181–1183 (1984).

- 110 Côté, L.-M., Nicoletti, J., Swanson, S.P. and Buck, W.B.: Production of deoxydeoxynivalenol (DOM-1), a metabolite of deoxynivalenol, by in vitro rumen incubation. *J. Agric. Food Chem.* **34**, 458–460 (1986).
- 111 Swanson, S.P., Nicoletti, J., Rood, H.D., Buck, W.B. and Côté, L.-M.: Metabolism of three trichothecene mycotoxins, T-2 toxin, diacetoxyscirpenol and deoxynivalenol, by bovine rumen microorganisms. *J. Chromatogr.* **414**, 335–342 (1987).
- 112 Hedman, R. and Pettersson, H.: Transformation of nivalenol by gastrointestinal microbes. *Arch. Anim. Nutr.* **50**, 321–329 (1997).
- 113 Prelusky, D.B., Veira, D.M., Trenholm, H.L. and Foster, B.C.: Metabolic fate and elimination in milk, urine and bile of deoxynivalenol following administration to lactating sheep. *J. Environ. Sci. Health B* **22**, 125–148 (1987).
- 114 Riley, R.T., Norred, W.P. and Bacon, C.W.: Fungal toxins in foods: recent concerns. *Ann. Rev. Nutr.* **13**, 167–189 (1993).
- 115 Thielert, G. und Reusch, C.: Untersuchung von Lebensmitteln auf Fumonisine. *Dtsch. Lebensm. Rundschau* **94**, 153–159 (1998).
- 116 Meister, U., Symmank, H. und Dablke, H.: Untersuchung und Bewertung der Fumonisin-kontamination von einheimischem und importiertem Getreide. *Z. Lebensm.-Untersuch.-Forsch.* **203**, 528–533 (1996).
- 117 Atkins, D. and Norman, J.: Surveillance for fumonisins in maize-based foodstuffs. *Food Surveillance Inform. Sheet Number* **61**, 1–4 (1995).
- 118 Sydenham, E.W., Shephard, G.S. and Thiel, P.G.: Liquid chromatographic determination of fumonisins B₁, B₂ and B₃ in foods and feeds. *J. Assoc. Off. Anal. Chem. Int.* **75**, 313–318 (1992).
- 119 Zoller, O., Sager, F. und Zimmerli, B.: Vorkommen von Fumonisinen in Lebensmitteln. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* **85**, 81–99 (1994).
- 120 Doko, M.B. and Visconti, A.: Occurrence of fumonisins B₁ and B₂ in corn and corn-based human foodstuffs in Italy. *Food Addit. Contam.* **11**, 433–439 (1994).
- 121 Pittet, A., Parisod, V. and Schellenberg, M.: Occurrence of fumonisins B₁ and B₂ in corn-based products from the Swiss market. *J. Agric. Food Chem.* **40**, 1352–1354 (1992).
- 122 Hirooka, E.Y., Yamaguchi, M.M., Aoyama, S., Sugiura, Y. and Ueno, Y.: The natural occurrence of fumonisins in Brazilian corn kernels. *Food Addit. Contam.* **13**, 173–183 (1996).
- 123 Bresch, H., Majerus, P., Urbanek, M.: Fumonisin-Konzentrationen in diversen Maisprodukten im Raume Karlsruhe und Rheinland-Pfalz in den Jahren 1993 und 1996. *Dtsch. Lebensm. Rundsch.* **94**, 80–83 (1998).
- 124 de Nijs, M., Sizoo, E.A., Vermunt, A.E.M., Notermans, S.H.W. and van Egmond, H.P.: The occurrence of fumonisin B₁ in maize-containing foods in The Netherlands. *Food Addit. Contam.* **15**, 385–388 (1998).
- 125 de Nijs, M., Sizoo, E.A., Rombouts, F.M., Notermans, S.H.W. and van Egmond, H.P.: Fumonisin B₁ in maize for food production imported in The Netherlands. *Food Addit. Contam.* **15**, 389–392 (1998).
- 126 Stockenström, S., Sydenham, E.W. and Shephard, G.S.: Fumonisin B₁, B₂, and B₃ content of commercial unprocessed maize imported into South Africa from Argentina and the USA during 1992. *Food Addit. Contam.* **15**, 676–680 (1998).
- 127 Kedera, C.J., Plattner, R.D. and Desjardins, A.E.: Incidence of *Fusarium* spp. and levels of fumonisin B₁ in maize in Western Kenya. *Appl. Environ. Microbiol.* **65**, 41–44 (1999).
- 128 Hammer, P., Blüthgen, A. and Walte, H.G.: Carry over of fumonisin B₁ into the milk of lactating cows. *Milchwissenschaft* **51**, 691–695 (1996).
- 129 Scott, P.M., Delgado, T., Prelusky, D.B., Trenholm, H.L. and Miller, J.D.: Determination of fumonisins in milk. *J. Environ. Sci. Health B* **29**, 989–998 (1994).
- 130 Richard, J.L., Meerdink, G., Maragos, C.M., Tumbleson, M., Bordson, G., Rice, L.G. and Ross, P.F.: Absence of detectable fumonisins in the milk of cows fed *Fusarium proliferatum* (Matsushima) Nirenberg culture material. *Mycopathologia* **133**, 123–126 (1996).

- 131 *Maragos, C.M. and Richard, J.L.*: Quantitation and stability of fumonisins B₁ and B₂ in milk. J. Assoc. Off. Anal. Chem. Int. 77, 1162–1167 (1994).
- 132 *Skrinjar, M., Stubblefield, R.D., Stojanovic, E. and Dimic, G.*: Occurrence of *Fusarium* species and zearalenone in dairy cattle feeds in Vojvodina. Acta Vet. Hung. 43, 259–267 (1995).
- 133 *Scudamore, K.A., Patel, S. and Breeze, V.*: Surveillance of stored grain from the 1997 harvest in the United Kingdom for ochratoxin A. Food Addit. Contam. 16, 281–290 (1999).
- 134 *Skrinjar, M., Stubblefield, R.D. and Vujicic, I.F.*: Ochratoxigenic moulds and ochratoxin A in forages and grain feeds. Acta Vet. Hung. 40, 185–190 (1992).
- 135 *Lerch, C. und Müller, H.M.*: Metabolismus von Ochratoxin A in Pansenflüssigkeit von Milchkühen in vitro. Lebensmittelchemie 45, 112 (1991).
- 136 *Hult, K., Teiling, A. and Gatenbeck, S.*: Degradation of ochratoxin A by a ruminant. Appl. Environ. Microbiol. 32, 443–444 (1976).
- 137 *Shreeve, B.J., Patterson, D.S. and Roberts, B.A.*: The «Carry over» of aflatoxin, ochratoxin and zearalenone from naturally contaminated feed to tissues, urine and milk of dairy cows. Food Cosmet. Toxicol. 17, 151–152 (1979).
- 138 *Ribelin, W.E., Fukushima, K. and Still, P.E.*: The toxicity of ochratoxin to ruminants. Can. J. Compar. Med. 42, 172–176 (1978).
- 139 *Nip, W.K. and Chu, F.S.*: Fate of ochratoxin A in goats. J. Environ. Sci. Health B 14, 319–333 (1979).
- 140 *Breitholtz-Emanuelsson, A., Olsen, M., Oskarsson, A., Palminger, I. and Hult, K.*: Ochratoxin A in cow's milk and in human milk with corresponding human blood samples. J. Assoc. Off. Anal. Chem. Int. 76, 842–846 (1993).
- 141 *Skaug, M.A.*: Analysis of Norwegian milk and infant formulas for ochratoxin A. Food Addit. Contam. 16, 75–78 (1999).
- 142 *Engel, G. und Wolff, J.W.*: Bestimmung von Ochratoxin A (OTA) in Lebensmitteln. Jahresbericht, Bundesanstalt für Milchforschung, Kiel (1997). Siehe http://www.dainet.de/bafm/jb_97.htm.
- 143 *Valenta, H. and Goll, M.*: Determination of ochratoxin A in regional samples of cow's milk from Germany. Food Addit. Contam. 13, 669–676 (1996).
- 144 *Skrinjar, M., Rasic, J. L. and Stojicic, V.*: Lowering of ochratoxin A level in milk by yoghurt bacteria and bifidobacteria. Folia Microbiologica 41, 26–28 (1996), zitiert nach Dairy Sci. Abstr. 58, 796 (1996).
- 145 *Gareis, M., Märklbauer, E., Bauer, J. und Gedek, B.*: Bestimmung von Ochratoxin A in Muttermilch. Z. Lebensm.-Unters.-Forsch. 186, 114–117 (1988).
- 146 *Micco, C., Ambruzzi, M.A., Miraglia, M., Brera, C., Onori, R. and Benelli, L.*: Contamination of human milk with ochratoxin A. IARC Sci. Publ. 105–108 (115) (1991).
- 147 *Jonsyn, F.E., Maxwell, S.M. and Hendrickse, R.G.*: Ochratoxin A and aflatoxins in breast milk samples from Sierra Leone. Mycopathologia 131, 121–126 (1995).
- 148 *Micco, C., Miraglia, M., Brera, C., Corneli, S. and Ambruzzi, A.*: Evaluation of ochratoxin A level in human milk in Italy. Food Addit. Contam. 12, 351–354 (1995).
- 149 *Miraglia, M., de Dominicis, A., Brera, C., Corneli, S., Cava, E., Menghetti, E. and Miraglia, E.*: Ochratoxin A levels in human milk and related food samples: an exposure assessment. Natural Toxins 3, 436–444 (1995).
- 150 *Zimmerli, B. and Dick, R.*: Determination of ochratoxin A at the ppt level in human blood, serum, milk and some foodstuffs by high-performance liquid chromatography with enhanced fluorescence detection and immunoaffinity column cleanup: methodology and Swiss data. J. Chromatogr. B 666, 85–99 (1995).
- 151 *Apostolou, E., El-Nezami, H.S., Ahokas, J.T. and Donohue, D.C.*: The evaluation of ochratoxin A in breast milk in Victoria (Australia). Rev. Méd. Vét. 149, 709 (1998).
- 152 *Skaug, M.A., Stormer, F.C. and Saugstad, O.D.*: Ochratoxin A: a naturally occurring mycotoxin found in human milk samples from Norway. Acta Paediat. 87, 1275–1278 (1998).

- 153 Carter, R.: Survey of sterigmatocystin in cheese, cereals and maize-based retail products. Food Surveillance Inform. Sheet Number 162, 1-7 (1998).
- 154 Vesonder, R.F. and Horn, B.W.: Sterigmatocystin in dairy cattle feed contaminated with *Aspergillus versicolor*. Appl. Environ. Microbiol. 49, 234-235 (1985).
- 155 Kraus, P.-V.: Über die Sterigmatocystinausscheidung in Kuhmilch und über das Vorkommen von Aflatoxin in Milchprodukten. Dissertation Technische Universität München (1978).
- 156 de Nijs, M., Rombouts, F. and Notermans, S.: *Fusarium* molds and their mycotoxins. J. Food Safety 16, 15-58 (1996).
- 157 Esgin, S., Märtlbauer, E. und Terplan, G.: Entwicklung und Anwendung eines enzymimmunologischen Verfahrens zum Nachweis von T-2 Toxin in Milch. Arch. Lebensm. Hyg. 40, 109-112 (1989).
- 158 Yoshizawa, T., Mirocha, C.J., Behrens, J.C. and Swanson, S.P.: Metabolic fate of T-2 toxin in a lactating cow. Food Cosmet. Toxicol. 19, 31-39 (1981).
- 159 Robison, T.S., Mirocha, C.J., Kurtz, H.J., Behrens, J.C., Chi, M.S., Weaver, G.A. and Nystrom, S.D.: Transmission of T-2 toxin into bovine and porcine milk. J. Dairy Sci. 62, 637-641 (1979).
- 160 Chatterjee, K., Pawlosky, R.J., Treeful, L. and Mirocha, C.J.: Kinetic study of T-2 toxin metabolites in a cow. J. Food Safety 8, 25-34 (1986).
- 161 Westlake, K., Mackie, R.I. and Dutton, M.F.: T-2 toxin metabolism by ruminal bacteria and its effect on their growth. Appl. Environ. Microbiol. 53, 587-592 (1987).
- 162 Beasley, V.R., Swanson, S.P., Corley, R.A., Buck, W.B., Koritz, G.D. and Burmeister, H.R.: Pharmacokinetics of the trichothecene mycotoxin, T-2 toxin, in swine and cattle. Toxicol. 24, 13-23 (1986).
- 163 Bagneris, R.W., Gaul, J.A. and Ware, G.M.: Liquid chromatographic determination of zearalenone and zearalenol in animal feeds and grains, using fluorescence detection. J. Assoc. Offic. Anal. Chem. 69, 894-898 (1986).
- 164 Ranfft, K., Gerstl, R. und Mayer, G.: Bestimmung und Vorkommen von Zearalenon in Getreide und Mischfuttermitteln. Z. Lebensm.-Untersuch.-Forsch. 191, 449-453 (1990).
- 165 Mirocha, C.J., Pathre, S.V. and Robison, T.S.: Comparative metabolism of zearalenone and transmission into bovine milk. Food Cosmet. Toxicol. 19, 25-30 (1981).
- 166 Prelusky, D.B., Scott, P.M., Trenholm, H.L. and Lawrence, G.A.: Minimal transmission of zearalenone to milk of dairy cows. J. Environm. Sci. Hlth B 25, 87-103 (1990).
- 167 Usleber, E., Renz, V., Märtlbauer, E. and Terplan, G.: Studies on the application of enzyme immunoassays for the *Fusarium* mycotoxins deoxynivalenol, 3-acetyldeoxynivalenol, and zearalenone. Zentralbl. Veterinärmed. B 39, 617-627 (1992).
- 168 Kennedy, D.G., Hewitt, S.A., McEvoy, J.D.G., Currie, J.W., Cannavan, A., Blanchflower, W.J. and Elliot, C.T.: Zearanol is formed from *Fusarium* spp. toxins in cattle in vivo. Food Addit. Contam. 15, 393-400 (1998).
- 169 Azcona, J.I., Abouzied, M.M. and Pestka, J.J.: Detection of zearalenone by tandem immunoaffinity-enzyme-linked immunosorbent assay and its application to milk. J. Food Protect. 53, 577-580 (1990).
- 170 Scott, P.M. and Lawrence, G.A.: Liquid chromatographic determination of zearalenone and alpha- and beta-zearalenols in milk. J. Assoc. Off. Anal. Chem. 71, 1176-1179 (1988).
- 171 Grabarkiewicz-Szczesna, J., Golinski, P., Chelkowski, J. and Szebiotko, K.: Mycotoxins in cereal grain. Part XI. Simple multidetection procedure for determination of 11 mycotoxins in cereals. Nahrung 29, 229-240 (1985).
- 172 Müller, H.M. and Amend, R.: Formation and disappearance of mycophenolic acid, patulin, penicillic acid and PR toxin in maize silage inoculated with *Penicillium roqueforti*. Arch. Tierernähr. 50, 213-225 (1997).
- 173 Porter, J.K., Bacon, C.W., Wray, E.M. and Hagler, W.M.: Fusaric acid in *Fusarium moniliforme* cultures, corn, and feeds toxic to livestock and the neurochemical effects in the brain and pineal gland of rats. Natural Toxins 3, 91-100 (1995).

- 174 *Leonard, C.*: Surveillance of moniliformin in maize, maize products and the effects of milling. Food Surveillance Inform. Sheet No 164, 1–20 (1998).
- 175 *Durix, A., Jaussaud, P., Garcia, P., Bonnaire, Y. and Bony, S.*: Analysis of ergovaline in milk using high-performance liquid chromatography with fluorimetric detection. J. Chromatogr. B 729, 255–263 (1999).
- 176 *Abdelhamid, A.M., El-Ayouty, S.A. and El-Saadany, H.H.*: The influence of contamination with separate mycotoxins (aflatoxins, ochratoxin A, citrinin, patulin, penicillic acid or sterigmatocystin) on the in vitro dry matter and organic matter digestibilities of some roughages (berseem hay and wheat straw). Arch. Tierernähr. 42, 179–185 (1992).
- 177 *Anonym*: Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln (Fremd- und Inhaltsstoffverordnung, FIV) vom 26. Juni 1995. Bundesamt für Gesundheit, Bern (1995), SR 817.021.23.

Korrespondenzadresse: Urs Spahr, Eidgenössische Forschungsanstalt für Milchwirtschaft (FAM), Liebefeld, CH-3003 Bern