

**Staatliche Fachschule für Lebensmitteltechnik
an der Emil-Fischer-Schule zu Berlin**

**Die Bedeutung der Mykotoxine als
Lebensmittelkontaminanten**



Claviceps purpurea (Mutterkorn)

(abgebildet mit freundlicher Genehmigung von B. Bös)

Technikerarbeit
von Frank Luhmann
Schluchseestraße 7

Inhalt

1 Einleitung	4
2 Was sind Mykotoxine?	6
3 Entstehung und Einteilung von Mykotoxinen	7
3.1 Unterscheidung von Feld und Lagerpilzen	8
3.2 Die wichtigsten mykotoxinbildenden Schimmelpilze	9
4 Vorkommen der wichtigsten toxinbildenden Schimmelpilze und ihre Mykotoxine	10
4.1 Aspergillus und Aflatoxine	10
4.2 Aspergillus, Penicillium und Ochratoxin A (OTA)	12
4.3 Fusarium und Fusarientoxine (Trichothecene [Deoxynivalenol, Nivalenol], Zearalenon und Fumonisine)	13
4.4 Penicillium, Aspergillus und Patulin	17
4.5 Penicillium und Citrinin	18
4.6 Claviceps purpurea und Mutterkornalkaloide (Ergotamin)	19
4.7 Vorkommen und Giftwirkung der wichtigsten Mykotoxine	21
5 Wie gelangen Mykotoxine in Lebensmittel?	23
5.1 Primärkontamination	24
5.2 Sekundärkontamination	24
5.3 „Carry over“	24
6 Wichtige Faktoren bei der Mykotoxinbildung	24
6.1 PH-Wert	25
6.2 Temperatur	25

6.3 Wasseraktivität (a_w -Wert)	26
7 Einfluss der Lebensmittelverarbeitung auf den Mykotoxingehalt in Lebensmitteln	26
8 Maßnahmen zur Vermeidung von Mykotoxin-kontaminationen in Lebensmitteln	28
8.1 Chemische Methoden	30
8.2 Physikalische Methoden (mechanische Entfernung)	31
8.3 Ursachen von Pilzinfektionen und Maßnahmen im Feld	32
8.4 Ursachen von Pilzinfektionen und Gegenmaßnahmen bei Lagerung und Verarbeitung	34
9 Probenahme und Analytik (Nachweismethoden)	35
10 Mykotoxine – Fazit	36
11 Zusammenfassung	38
12 Summary	39
13 Begriffserklärungen (Glossarium)	40
14 Quellen und Literatur	47
15 Erklärung	52
16 Anhang (Mykotoxin-Höchstmengenverordnung) [45]	53

1 Einleitung

Seit Beginn des organisierten Nahrungsmittelanbaus haben Mykotoxine die Menschheit bedroht [1]. 600 v.Chr. wurde bereits auf einer assyrischen Tontafel das Mutterkorn (siehe Abb. 1) als schädliches Gebilde auf Getreide beschrieben. Über eine Massenvergiftung in Sparta wurde bereits 400 v.Chr. berichtet [2]. An Ergotismus, einer Krankheit, die im Mittelalter auch den Namen „Sankt Antonius Feuer“ oder „Kribbelkrankheit“ hatte, erkrankten viele Tausend Menschen nach dem Verzehr von kontaminierten Roggen, dem damals wichtigsten Getreide in Mitteleuropa. Im Jahr 1515 stellte der Künstler Mathias Grünewald diese häufig auftretende Krankheit als „Versuchung des hl. Antonius“ auf einem Seitenflügel des Isenheimer Altars dar (siehe Abb. 2), indem er die gangränösen Symptome des „Sankt Antonius Feuers“ malte [3, S. 95-98]. In Südengland und in Südfrankreich wurden die letzten großen Krankheitsausbrüche 1951-52 beobachtet. Besonders der letzte Fall war bemerkenswert, da er über 300 Personen betraf und durch einen betrügerischen Bäcker verursacht wurde. Dieser hatte mahlentechnisch nicht gereinigtes Getreide verarbeitet.

Ende des 2. Weltkrieges, 1944-47, kam es zum Tod tausender Bewohner Russlands, diese hatten Getreide, das im Winter unter Schnee lag und schimmelte, verarbeitet. Hier konnten Fusarien gut gedeihen, da sie



Abb.1: Roggen mit Mutterkorn verunreinigt [15]



Abb.2: Detail des Isenheimer Altars [15]

feuchte und kühle Umgebung tolerieren. Die durch die toxigenen Fusarienarten ausgelöste Erkrankung wird alimentäre toxische Aleukie (ATA) oder Faulfieber genannt. Sie führt zu starker Schädigungen der Blutbildung und des Immunsystems. Erst 25 Jahre später fand man als Ursache das von Fusarien gebildete Toxin T-2.

Als Folge einer 1960 in England und den USA aufgetretenen Krankheit namens „Turkey X Disease“, in deren Verlauf in England 100.000 Trut- hühner und in den USA 1.000.000 Forellen starben, setzten intensive Forschungen in Europa und Amerika ein. Die Krankheit wurde durch die Fütterung von Erdnussmehl ausgelöst, welches mit *Aspergillus flavus* kontaminiert war. Das war der Beginn der Mykotoxin-forschung [1, S. 21].

Nachdem die Untersuchungsmöglichkeiten für Lebensmittel differenzierter wurden, stellte man fest, dass auch in menschlichen Nahrungsmitteln Strukturen vorhanden sein können, die Mykotoxine bilden und als Ursache für Krankheiten in Frage kommen. Weltweit ist die Mykotoxin- kontamination in Futter- und Nahrungsmitteln ein Problem. Die UN Food and Agriculture Organization (FAO) schätzt, dass bis zu 25% der Weltproduktion von Nahrungsmitteln mit Mykotoxinen kontaminiert sind und etwa 20% der Zerealienenernte der EU messbare Mengen an Mykotoxinen enthalten [2]. Erst in den letzten Jahren, wurde zunehmend die Gefährlichkeit der strukturell meist sehr unterschiedlichen Giftstoffe, welche durch Schimmelpilze gebildet werden, erkannt.

In dieser Arbeit wird anhand einschlägiger Fachliteratur die Bedeutung und Problematik der Mykotoxine als Lebensmittelkontaminanten dargestellt. Außerdem werden die pathologischen Eigenschaften der Mykotoxine umfassend erläutert. Strategien, die zur Vermeidung des Mykotoxingehaltes in Lebensmitteln dienen, werden ebenfalls ausführlich analysiert und dargestellt.

2 Was sind Mykotoxine?

Der Begriff „Mykotoxin“ wurde aus dem griechischen „myko“ und aus dem lateinischen „toxicum“ abgeleitet, was „Pilz“ bzw. „Gift“ bedeutet. Er bezeichnet toxische chemische Substanzen, die von bestimmten Schimmelpilzarten produziert werden, welche sich auf einigen Lebensmitteln und insbesondere auf Getreide entwickeln [4]. Viele Schimmelpilze sind ubiquitär verbreitet und in der Lage Mykotoxine zu bilden.

Mykotoxine sind natürliche, sogenannte sekundäre Stoffwechselprodukte von Schimmelpilzen (Metaboliten), die bei Menschen und Tieren eine toxische Wirkung zeigen, bzw. eine Mykotoxikose verursachen. Sie stellen neben den Antibiotika die zweite große von Mikroorganismen synthetisierte Wirkstoffgruppe dar. Ebenso wie Antibiotika bildende Mikroorganismen sind Mykotoxin bildende Schimmelpilzarten weltweit verbreitet. Nicht zu den Mykotoxinen gezählt werden die Giftstoffe, die in bestimmten höheren Pilzen (z.B. Knollenblätterpilz) enthalten sind. Mykotoxine können sich auf den Getreidekörnern auf dem Feld oder auch während der Lagerung manifestieren und finden sich aufgrund ihrer Stabilität auch in weiterverarbeiteten Lebensmitteln wieder. Mykotoxine sind weitgehend hitzestabil und werden daher bei der Nahrungsmittelverarbeitung in der Regel nicht zerstört.

Im Gegensatz zu den Produkten des Primärstoffwechsels sind diese sekundären Stoffwechselprodukte nicht bei allen Organismen zu finden, sondern sind charakteristisch für ihren Produzenten. Mykotoxine werden oft nur unter bestimmten Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen, bei reichlichem Nährstoffangebot oder in bestimmten Entwicklungsphasen gebildet. Mykotoxine können biologische Bedeutung haben, da sie um das Nährstoffangebot konkurrierende Mikroorganismen abtöten oder sie in ihrer Vermehrung hemmen.

3 Entstehung und Einteilung von Mykotoxinen

Lebensmittel sind auf Grund ihrer stofflichen Zusammensetzung häufig optimale Nährböden für Schimmelpilze aller Art. Man kann generell sagen, je nährstoffreicher ein Lebensmittel und je höher der Wassergehalt ist, desto schneller wird das Lebensmittel von Schimmelpilzen befallen.

Mykotoxine werden von Schimmelpilzen während des Wachstums gebildet. Die Pilze wachsen nicht nur an der Oberfläche, sondern dringen tief in das Ernteprodukt oder Lebensmittel ein. Hierbei werden Mykotoxine entweder in das Substrat, auf dem die Pilze wachsen ausgeschieden, oder in den eigenen Zellen des Pilzes eingelagert und dann freigesetzt, wenn das Pilzmyzel auseinander bricht [5]. Schimmelpilze und Toxine entwickeln sich unter bestimmten Bedingungen hinsichtlich Temperatur, Feuchtigkeit und Gasgehalt der Luft unterschiedlich. Diese Bedingungen sind für jeden Stamm spezifisch [4].

Da inzwischen über 300 Mykotoxine von über 250 Schimmelpilzarten bekannt sind, seien hier nur diejenigen genannt (siehe Tabelle 2), die eine besondere Bedeutung für Deutschland und die EU, durch bereits bestehende oder in naher Zukunft eintretende Höchstmengenregelungen, haben. Bei der Einteilung der Mykotoxine ist zusätzlich zu unterscheiden zwischen Feld- und Lagerpilzen. Feldpilze brauchen meist grüne Pflanzenteile und können Pflanzenkrankheiten verursachen. Meist vermehren sie sich bei „geschwächten“ Pflanzen oder an absterbenden Pflanzenteilen schneller (z.B. in Abreife). Lagerpilze treten erst nach der Ernte bei ungünstigen Lagerbedingungen auf [6]. In der nachfolgenden Tabelle (Tab. 1) werden die wichtigsten Unterschiede zwischen Feld und Lagerpilzen aufgezeigt.

3.1 Unterscheidung von Feld und Lagerpilzen

Tabelle 1: Unterscheidung von Feld- und Lagerpilzen [7] (bischoff pdf)

	Feldpilze	Lagerpilze
1. Feuchtigkeitsansprüche	benötigen zur Entwicklung eine Getreidefeuchtigkeit von über 20% (relativ hoher H ₂ O-Gehalt)	benötigen zur Entwicklung eine Getreidefeuchtigkeit von 14-15% (relativ niedriger H ₂ O-Gehalt)
2. Schäden in den Körnern	Verfärbung, Abtötung der Embryonen, Bildung toxischer Substanzen	Abnahme der Keimfähigkeit Verfärbung der Embryonen, Bildung toxischer Substanzen
3. Biochemische Prozesse in den Körnern	keine derartigen Prozesse bekannt	Erhöhung des Gehaltes an freien Fettsäuren und reduzierenden Zuckern, Abnahme des Gehalts an Eiweiß und nicht reduzierenden Zuckern
4. Temperaturänderung	keine	Getreide kann sich begrenzt selbst erhitzen, zumal bei Anwesenheit thermophiler Pilze (z.B. <i>Penicillium cyclopium</i>)
5. Zeitpunkt des Befalls	Befall vor der Ernte; vor, während und nach der Reife möglich	Befall nach der Ernte
6. Repräsentative Arten	<i>Alternaria alternata</i> , <i>Aureobasidium</i> – Spezies, <i>Chladosporium chlado</i> – <i>sporoides</i> , <i>Epicoccum purpurascens</i> , <i>Fusarium graminearum</i> , <i>Penicillium oxalicum</i> , <i>Rhizopus stolonifer</i>	<i>Aspergillus amstelodami</i> , <i>Aspergillus candidus</i> , <i>Aspergillus chevalieri</i> , <i>Aspergillus flavus</i> , <i>Aspergillus glaucus</i> -Gruppe <i>Aspergillus ochraceus</i> , <i>Aspergillus repens</i> , <i>Aspergillus restrictus</i> , <i>Aspergillus ruber</i> , <i>Mucor</i> – Spezies, <i>Penicillium chrysogenum</i> , <i>Rhizopus</i> – Spezies, <i>Wallemia</i> – Spezies

3.2 Die wichtigsten mykotoxinbildenden Schimmelpilze

Die wichtigsten unter ungünstigen Umständen in der Nahrung vorkommenden Pilze und deren Toxine sind im folgenden (Tab. 2) aufgeführt. Die Fruchtkörper einiger Vertreter der Schimmelpilze sind in den angefügten Abbildungen (Abb. 3,4,5 und 6) illustriert.

Tabelle 2: Mykotoxinbildende Schimmelpilze [8] (bmi aktuell Ausgabe2/September 2002)

Mykotoxine	Mykotoxinbildende Schimmelpilze	Lebensmittel
Fusarientoxine z.B. Trichothecene (Deoxynivalenol), Zearalenon, Fumonisine	Fusarium – Spezies (Feldpilz)	Getreide, Nüsse, Sesam
Aflatoxine	Aspergillus-Spezies, (Lagerpilz) z.B. A.Flavus	Nüsse, Mandeln, Gewürze, Mais, Milch u. Milchprodukte
Patulin	Aspergillus-Spezies, Penicillium-Spezies (Lagerpilz)	Obst (z.B. Äpfel), Gemüse
Citrinin	Aspergillus-Spezies	Getreide, Tomaten, Erdnüsse
Ergot – Alkaloide „Mutterkorn“	Claviceps purpurea	Getreide, besonders Roggen
Ochratoxin A	Aspergillus-Spezies z.B. A. Ochraceus, Penicillium-Spezies	Getreide, Kaffee, Feigen, Nüsse, Wein, Essig, Kakao, Bier, Lemguminosen, Milch, Fleisch

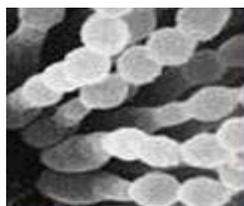


Abb.3: Ascosporen von Aspergillus[9]



Abb.4: Asci von Penicillium[9]



Abb.5: Fusariumsporen[9]

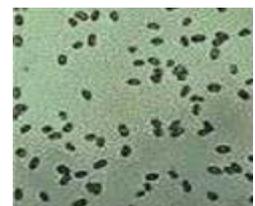


Abb.6: Sporen von Claviceps[9]

4 Vorkommen der wichtigsten toxinbildenden Schimmelpilze und ihre Mykotoxine

Im Folgenden werden die wichtigsten toxinbildenden Schimmelpilze und ihre Mykotoxine detailliert beschrieben.

4.1 Aspergillus und Aflatoxine

Aflatoxine sind Stoffwechselprodukte verschiedener Schimmelpilze der Gattung *Aspergillus*, hauptsächlich von Vertretern der Spezies *A. flavus*. Als Kontaminanten von pflanzlichen Lebensmitteln treten vor allem Aflatoxin B₁, B₂, G₁ und G₂ auf. Das Abbauprodukt M₁ entsteht bei der Entgiftungsreaktion im tierischen und menschlichen Organismus, wenn zuvor über verseuchte Nahrungs- oder Futtermittel das Aflatoxin B₁ aufgenommen wurde (siehe Abb.8). Aflatoxin M₁ wird bei Ziegen und Kühen mit der Milch ausgeschieden. Da *Aspergillus*-Pilze feuchtwarmes Klima bevorzugen (Luftfeuchtigkeit 80-95% und Temperatur über 25⁰C), sind insbesondere Importlebensmittel aus tropischen und subtropischen Ländern, u.a. Erdnüsse, Haselnüsse, Mandeln, Pistazien, Kokosflocken, Soja, Mais, Getreide, häufig mit den Aflatoxinen B₁, B₂, G₁ und G₂ (siehe Abb. 7) belastet [11]. In den gemäßigten Klimazonen findet eine Aflatoxinkontamination hauptsächlich auf bereits geernteten Nahrungsmitteln während der Lagerung, Verarbeitung oder im Haushalt statt [10, Weidenböner, 1999].

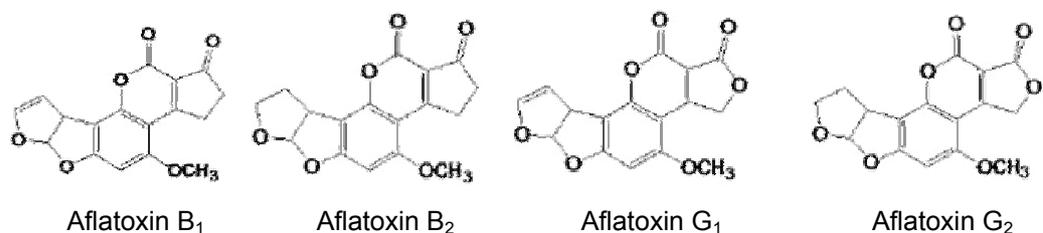


Abb.7: Strukturformeln der Aflatoxine B₁, B₂, G₁ und G₂ [9]

Toxizität und pathologische Eigenschaften von Aflatoxinen

Aflatoxine werden über die Nahrung und über das Einatmen von kontaminierten Stäuben in den menschlichen Organismus aufgenommen. Die Aufnahme über Staubpartikel betrifft überwiegend Arbeitskräfte in Betrieben die landwirtschaftliche Produkte, wie z.B. Erdnüsse, Mais oder Futtermittel verarbeiten [12, Reiss 1997]. Aflatoxine können auf den menschlichen und tierischen Organismus akut toxisch, kanzerogen, mutagen, teratogen und immunschwächend wirken. Aflatoxin B₁ ist ein hochpotentes Kanzerogen, welches bereits bei Aufnahme von kleinsten Mengen extrem gesundheitsgefährdend ist. Die letale Dosis (LD₅₀) wird beim Menschen auf 1-10 mg/kg geschätzt [1, S. 217]. Die bekannteste Schädigung durch Aflatoxin B₁ ist das Leberkarzinom und die Hepatitis. Eine Hepatitis-Epidemie 1981 in Kenia, führte zum Tod einiger Patienten, in deren Maisnahrung und deren Leber wurden erhöhte Aflatoxin B₁ Werte festgestellt [12, Reiss 1997]. Aflatoxine hemmen die Proteinsynthese und beeinträchtigen den Kohlenhydrat- und Fettstoffwechsel [13, S. 122].

Akute Vergiftungen durch die M-Gruppe sind nicht bekannt, lediglich chronische Vergiftungen durch Muttermilch in Indien wurden beschrieben. Bei Säuglingen kann Aflatoxin M₁ Leberzirrhose verursachen.

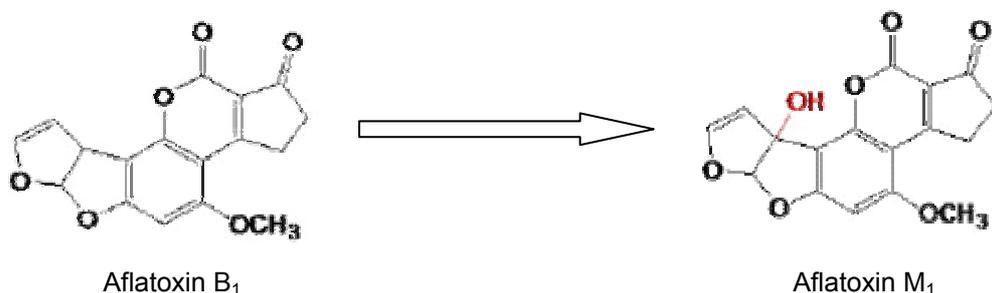


Abb.8: „Entgiftungsreaktion“ (Hydroxylierungsreaktion) [9]
Metabolismus von Aflatoxin B₁ im Warmblüter

4.2 Aspergillus, Penicillium und Ochratoxin A (OTA)

Verschiedene Aspergillus- und Penicillium-Stämme bilden als sekundäre Stoffwechselmetabolite Ochratoxine (siehe Abb.9), von denen Ochratoxin A (OTA) aufgrund seines Vorkommens und seiner Toxizität die größte Bedeutung hat [14]. Sie sind weltweit in Ernteprodukten wie Mais, Hafer, Gerste, Roggen, Erdnüssen und Gewürzen (Pfeffer) zu finden.

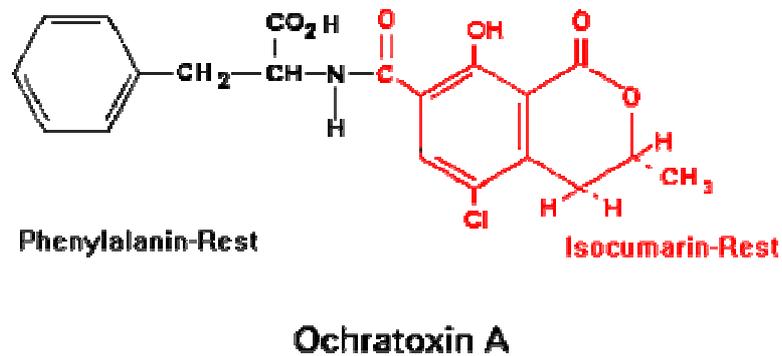


Abb.9: Strukturformel von OTA [14]

Ochratoxin A entsteht in warmen Regionen der Erde hauptsächlich durch *Aspergillus ochraceus*, von dem es auch seinen Namen hat. In klimatisch gemäßigten Breiten ist *Penicillium verrucosum* der wichtigste Produzent von OTA.

Toxizität und pathogene Eigenschaften (OTA)

Problematisch ist seine lange Halbwertszeit im tierischen und menschlichen Organismus, d.h. nach dem Verzehr kontaminierter Produkte wird das Toxin nur sehr langsam aus dem Körper eliminiert [14]. Ochratoxin A wirkt nieren- und leberschädigend und wird wegen seiner krebserzeugenden Wirkung bei Versuchstieren als eine für Menschen möglicherweise krebserzeugende Substanz eingestuft. Die LD₅₀ liegt je nach Tierart bei 2-20 mg/kg Körpergewicht [1, S. 237].

4.3 Fusarium und Fusarientoxine (Trichothecene [Deoxynivalenol, Nivalenol], Zearalenon und Fumonisine)

Fusarientoxine werden von unterschiedlichen Fusariumarten (u. a. *Fusarium graminearum*, *Fusarium culmorum*) hauptsächlich auf Getreide gebildet [16]. Sie werden in drei Hauptgruppen eingeteilt, die Gruppe der Trichothecene, Zearalenon und die Fumonisine.

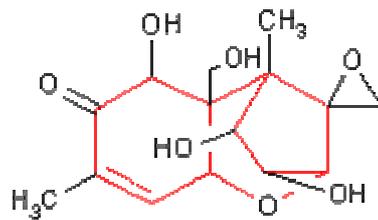
Die Pilze (*F. graminearum*, *F. culmorum*) entwickeln sich überwiegend auf dem Feld, deshalb zählen sie auch zu den Feldpilzen. Unter günstigen Bedingungen können sie sich auch in Getreidelagern ausbreiten. Aus diesem Grund darf nur Erntegut mit einem Wassergehalt von höchstens 14% eingelagert werden. Das Ausmaß einer Toxinbildung hängt in ganz entscheidendem Maße von den klimatischen Bedingungen ab, insbesondere während der Blüte.

Bei **Trichothecenen** handelt es sich um eine Gruppe von ca. 100 Mykotoxinen, die von Fusarien auf Getreide und Getreideprodukten gebildet werden können. Trichothecene werden aufgrund ihrer unterschiedlichen chemischen Strukturen in vier Untergruppen aufgeteilt. Am häufigsten kommen Trichothecene des Typ A und Typ B vor. Zu den bekanntesten Typ B-Trichothecenen gehört **Deoxynivalenol (DON)** und **Nivalenol (NIV)** [17].

Deoxynivalenol (DON) ist gemessen an der Häufigkeit des Vorkommens und aufgrund der teilweise hohen Gehalte das wichtigste Trichothecen. DON ist chemisch relativ beständig. Weder gehen die Gehalte an DON durch Lagerung zurück, noch wird es bei der Zubereitung durch Backen oder Kochen zerstört. Nivalenol (NIV) besitzt unter den Trichothecenen ebenfalls eine große Bedeutung. Das Mykotoxin ist für mehrere Epidemien in Osteuropa, den USA und Russland verantwortlich („gelber Regen“, Schneepilz auf Getreide). Der hitzestabile Stoff hat einen Schmelzpunkt

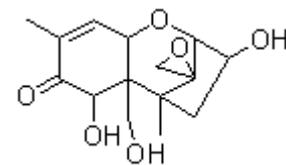
von 80-90⁰C. Auch bei einer Erwärmung über einer Stunde bei 100⁰C ist kein Verlust der Toxizität festgestellt worden [18].

Trichothecene besitzen ein breites Spektrum biologischer Wirkung. Sie können phytotoxisch, insektizid, fungizid, antiviral und cytotoxisch sein. Allen gemeinsam ist die Kontakttoxizität.



Nivalenol (NIV) [19]

Abb.10: Strukturformel von NIV



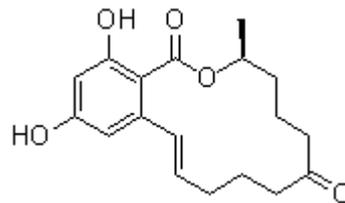
Deoxynivalenol (DON) [9]

Abb.11: Strukturformel von DON

Zearalenon (ZEA) wird von verschiedenen Arten der Gattung *Fusarium* gebildet. Die Substanz besitzt aufgrund seiner räumlichen chemischen Struktur eine ausgeprägte östrogene Wirksamkeit und wirkt anabolisch, hat aber nur eine sehr geringe Toxizität. Bei den besonders mit ZEA belasteten Lebensmitteln stehen an erster Stelle Zerealien und davon zeigen wiederum Mais und Weizen die höchsten Gehalte [18].

Da ZEA in einer sehr späten Entwicklungsphase des Pilzes gebildet wird, ist es vor allem in stark verpilztem Getreide zu finden. ZEA wird in den betroffenen Pflanzen ausnahmslos von Mykotoxinen aus der Gruppe der Trichothecene wie DON begleitet [20]. Es ist weltweit eines der häufigsten Fusarientoxine. Insbesondere in Jahren mit ungünstigen klimatischen Bedingungen für die Getreideproduktion ist mit einer starken Kontamination zu rechnen. ZEA ist eine Substanz von hinreichender thermischer und chemischer Stabilität, da das kontaminierte Lebensmittel weder durch Lagerung noch durch Zubereitung (Kochen, Backen)

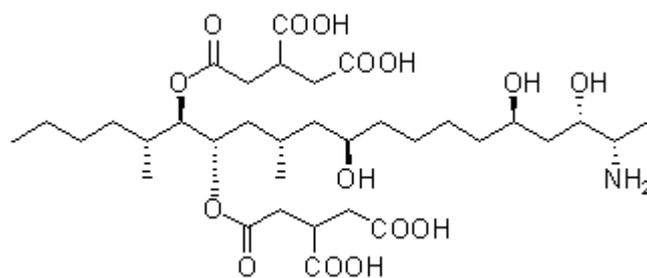
wesentlich an Toxingehalt verlieren. Das Temperaturoptimum zur Bildung dieses Mykotoxins liegt zwischen 12 und 18⁰C.



Zearalenon (ZEA)

Abb.12: Strukturformel von ZEA [20]

Als **Fumonisine** werden eine Gruppe von Mykotoxinen bezeichnet, die durch *Fusarium verticilloides* und *Fusarium proliferatum* fast ausschließlich auf Mais aber auch auf anderen Getreidearten gebildet werden [21]. Fumonisine wurden erstmals 1988 aus einer Kultur von *F. verticilloides* isoliert. Bisher kennt man sechs Fumonisine (FB1-FB4, FA1, FA2), die sich alle nur sehr gering unterscheiden. Sie sind chemisch relativ beständig. Durch Verarbeitung und Lagerung kontaminierter Nahrungsmittel kommt es in der Regel zu keiner Abnahme der Konzentration an Fumonisinen.



Fumonisin B

Abb.13: Strukturformel von Fumonisin B [21]

Toxizität und pathogene Eigenschaften (Fusarientoxine, ZEA, Fumonisine)

Trichothecene sind, wie bereits in Abschnitt 4.3 erwähnt, eine Gruppe von Mykotoxinen die den Fusarien Toxinen zugeordnet werden. Sie werden über Nahrung und Hautkontakt aufgenommen. Vergiftungen äußern sich mit Erbrechen und Durchfall, was durch eine Entzündung des Magen-Trakts ausgelöst wird. Das Nervensystem, die Blutbildung und das Immunsystem werden ebenfalls beeinträchtigt, dadurch steigt die Infektionsanfälligkeit. Beim Menschen gehören außerdem Hautreaktionen wie beispielsweise Allergien mit zu den häufigsten Beschwerden einer Intoxikation.

Das Typ A Trichotoxin **T-2 Toxin** verursachte die so genannte alimentäre toxische Aleukie (ATA), die bereits in der Einleitung erwähnt wurde. Die Entstehung von Speiseröhrenkrebs beim Menschen wird in Bezug auf **DON** diskutiert [22]. In Regionen mit erhöhtem Vorkommen von Speiseröhrenkrebs war die Kontamination der Maiskörner wesentlich höher, als in Gebieten mit geringen Aufkommen dieser Krebsart [12 ,S. 221]. Eine schleimhautreizende, zytotoxische und immunsuppressive Wirkung liegt bei einer Intoxikation mit DON ebenfalls vor [22].

NIV ist ein Stoff der sehr hämorrhagisch und hautreizend wirkt. Bei Aufnahme des Giftes durch die Nahrung kommt es zu Benommenheit, Erbrechen und innere Blutungen, selbst der Tod ist möglich [19]. NIV hemmt wie alle Trichothecene die Proteinbiosynthese.

ZEA ist ein Mykotoxin von geringer akuter Toxizität [20]. Es ist ein anabol und hauptsächlich östrogen wirkendes Toxin. Die mutagene und krebserzeugende Wirkung werden derzeit diskutiert. Kontinuierliche Aufnahme des Toxins durch die Nahrung führt zu Hyperöstrogenismus,

das heißt Größen- und Gewichtszunahme des Uterus, Fruchtbarkeitsstörungen (Sterilität, Abort), Menstruationszyklusstörungen sowie pathologischer Veränderung der Ovarien. Erhöhter Östrogengehalt bedeutet auch eine Zunahme des Tumor-Risikos, da bestimmte Gewebe auf Hormone reagieren (z.B. Brustkrebs) [20].

Fumonisine, dieses Fusarientoxin, steht ebenfalls im Ruf kanzerogen zu sein. Es soll Speiseröhren- und Lungenkrebs verursachen können. Außerdem vermutet man eine höhere Rate an embryonalen Fehlbildungen, wie z. B. Spinabifida, bei entsprechender Fumonisine-Belastung durch maisreiche Ernährung [21].

4.4 Penicillium, Aspergillus und Patulin

Patulin wird als Stoffwechselprodukt von Pilzen verschiedener Gattungen gebildet, insbesondere von *Penicillium expansum*, dem Erreger der Braunfäule. Es kommt nahezu ausschließlich in Kernobst vor, besonders braunfaule Äpfel enthalten dieses Toxin [22]. Hierdurch gelangt Patulin meist in Fruchtsäfte, vor allem in Apfelsaft, doch sind die nachgewiesenen Mengen meist sehr niedrig. Der Patulingehalt wird als Qualitätskriterium für Säfte verwendet. Bei der Vergärung der Fruchtsäfte werden 99% der Toxinmenge zerstört. Patulin ist gegenüber Hitze relativ beständig und im pH-Bereich von 3,0 - 6,5 stabil, bei höheren pH-Werten geht die toxische Wirkung verloren [9].

Auch wenn die Sporen zahlreicher Schimmelpilzarten, die Patulin bilden können, schon auf den Früchten am Baum zu erkennen sind, setzt das Wachstum dieser Pilze erst relativ spät nach der Ernte ein [16].

Bei Äpfeln, die durch Patulin kontaminiert wurden, diffundiert das Toxin praktisch nicht von der Faulstelle in das gesunde Gewebe (es nützt also,

die faule Stelle großzügig ausschneiden). Bei anderen Arten von Kernobst wird der gesunde Teil auch patulinhaltig [1, S. 239].

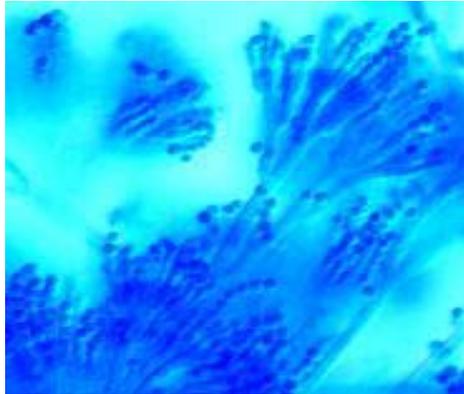


Abb.14: Asci des Penicilliumpilzes
unterm Lichtmikroskop [23]
(abgebildet mit freundlicher Genehmigung der enius AG)



Abb.15: Verschimmelttes Kernobst [22]

Toxizität und pathogene Eigenschaften (Patulin)

Das Stoffwechselprodukt wirkt gentoxisch und teratogen [16]. In hohen Mengen aufgenommen verursacht es Gastritis und Übelkeit [24]. Patulin ist ein gutes Antibiotikum, kann jedoch aufgrund seiner Toxizität nicht eingesetzt werden. Dieses Mykotoxin wirkt generell als Zellgift und greift in die Atmungskette ein, außerdem wird die Blutfunktion negativ beeinflusst [1, S 239].

4.5 Penicillium und Citrinin

Citrinin wird von den Schimmelpilzen *Penicillium citrinum* (Zitrusfrucht) und *Penicillium verrucosum* (Getreide) produziert [26]. Betroffen sind vor allem die diversen Getreide in Ländern mit gemäßigttem Klima.

Toxizität und pathogene Eigenschaften (Citrinin)

Citrinin wurde als Antibiotikum betrachtet, bevor seine Toxizität entdeckt wurde [1, S. 224]. Citrinin ist ein stark nierenschädigendes, kanzerogenes Toxin, dieses wurde in Tierversuchen belegt [26].

4.6 *Claviceps purpurea* und Mutterkornalkaloide (Ergotamin)

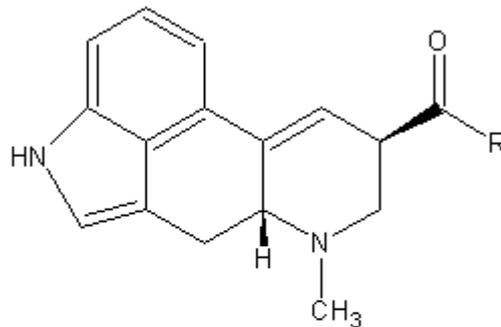
Mutterkorn ist die Überwinterungsform des Pilzes *Claviceps purpurea*, der sich in den Fruchtanlagen vieler Gräser entwickelt (über 600 Wirtspflanzen sind bekannt) [16]. Anstelle des Getreidekorns entsteht ein dunkel gefärbtes Mutterkorn (Abb.16, siehe auch Abb. 1), das aus der Ähre herausragt und die hochgiftigen Mutterkornalkaloide enthält. Wo Roggen in dichter Fruchtfolge angebaut wird, ist Mutterkorn weit verbreitet und tritt abhängig von ungünstigen Witterungseinflüssen in den einzelnen Jahren unterschiedlich häufig auf.



Abb. 16: *Claviceps purpurea* [25]

Ein typischer Bestandteil der Mutterkornalkaloide ist die Lysergsäure. Aus Lysergsäure ist das bekannte Rauschgift Lysergsäurediethylamid (LSD) herstellbar, das wohl stärkste bekannte Halluzinogen [9].

Einfache Lysergsäure-Amide:



R = OH	Lysergsäure (Grundkörper)
R = NH ₂	Lysergsäureamid
R = N(C ₂ H ₅) ₂	Lysergsäurediethylamid (LSD)
R = NHCH(CH ₃)CH ₂ OH	Ergometrin

Abb.17: Strukturformel der Lysergsäure [16]

Toxizität und pathogene Eigenschaften (Ergotamin)

Die Einnahme von Mutterkorn ist höchst gefährlich, da dieses stark toxisch ist. Verantwortlich für eine Mutterkornvergiftung sind die Alkaloide. Das sind stickstoffhaltige Naturstoffe[9]. Die Anzeichen einer akuten Mutterkornvergiftung sind Übelkeit, Kopfschmerzen, Krämpfe, Zittern, Lähmungen sowie Gefühllosigkeit von Armen und Beinen. Chronische Mutterkornvergiftung führt über Kribbeln der Haut zu starken Muskelkrämpfen (Krampfseuche) oder zu brennenden Schmerzen einzelner Gliedmaßen, die später gefühllos werden und absterben (Brandseuche, „Antoniusfeuer“) [15].

4.7 Vorkommen und Giftwirkung der wichtigsten Mykotoxine

In den folgenden Tabellen (Tab. 3 und 4) sind die für die Lebensmittelverarbeitende Industrie wichtigsten Mykotoxine aufgelistet.

Tabelle 3: wichtige Mykotoxine (Teil I) [1, s.250 – 262] (Kormann 1990)

Mykotoxin	Vorkommen	chem. Daten (Formel, Molekulargewicht, Schmelzpunkt)	letale Dosis LD₅₀	Giftwirkung, Bemerkung
Aflatoxin B ₁	Erdnüsse, Mais, Getreide, Feigen, Baumwollsaamenmehl	C₁₇ H₁₂ O₆ MG 312,3 268 – 269°C	1,7 mg/kg Ratte (oral)	Hepatokanzerogen, B ₁ = stärkstes pflanzliches kanzerogen.
Aflatoxin B ₂		C₁₇ H₁₄ O₆ MG 314,3 286 – 289°C	84,8 µg/50g Ente 1Tag, (oral)	
Aflatoxin G ₁		C₁₇ H₁₂ O₇ MG 328,3 244 – 246°C	39,2 µg/50g Ente 1Tag, (oral)	
Aflatoxin G ₂		C₁₇ H₁₄ O₇ MG 330,3 237 – 240°C	172,5µg/50g Ente 1Tag, (oral)	
Aflatoxin M ₁	Milch, Milchprodukte	C₁₇ H₁₂ O₇ MG 328,3 299°C	16,6 µg/50g Ente 1Tag, (oral)	Hepatokanzerogen, wird im Tier aus Aflatoxin B ₁ gebildet.
Deoxynivalenol DON	Mais, Gerste, Hafer, Weizengries, Weizenkleie	C₁₅ H₂₀ O₆ MG 296,32 151 – 153 °C	Hauttoxizität bei Ratte, 2 µg Flecken	Erbrechen bei Schweinen, bei Geflügel verminderte Legeleistung.
Nivalenol (NIV)		C₁₅ H₂₀ O₇ Mg 312,33 222 – 223°C	40,0 mg/kg Maus (i.p.)	hämorrhagisch

Tabelle 4: wichtige Mykotoxine (Teil II) [1, S.250 – 262] (Kormann 1990)

Mykotoxin	Vorkommen	chem. Daten (Formel, Molekulargewicht, Schmelzpunkt)	Letale Dosis LD₅₀	Giftwirkung, Bemerkung
Ochratoxin A (OTA)	Erdnüsse, Mais, Baumwollsamemehl, Weizen	C₂₀ H₁₈ ClNO₆ MG 403,59 169°C	20 -22 mg/kg Ratte (p.o.)	nephrotoxisch, verursacht Nekrosen, kanzerogen
Patulin	Apfelsaft, Äpfel und andere Obstarten (insb. Kernobst)	C₇ H₆ O₄ MG 154,1 110 – 111°C	20,0 mg/kg Maus (i.v.) 30,5 mg/kg Ratte (p.o.)	hämorrhagisch, ödematös, kanzerogen, bei Braunfäule in der ganzen Frucht, bei Birnen und Pfirsichen
Citrinin	Mais, Weizen, Hafer, Roggen u.a.	C₁₃ H₁₄ O₅ MG 250,2 175°C	35,67 mg/kg Maus (p.o.) 43,0 mg/kg Ratte (p.o.)	hepatotoxisch, nephrotoxisch, nephrocancerogen
Zearalenon (ZEA)	Mais, Gerste	C₁₈ H₂₂ O₅ MG 318,4 165°C	20000 mg/kg Maus (p.o.) 10000 mg/kg Ratte (p.o.)	makrozyklisches Lacton, östrogen, Unfruchtbarkeit bei Kühen etc.
Ergotamin	Roggen u.a.	C₃₃ H₃₅ N₅ O₅ MG 581,65 210°C – 214°C	62,0 mg/kg Ratte (i.v.)	Anzeichen einer Mutterkornvergiftung sind z.B. Übelkeit u. Krämpfe; des weiteren Gebärmutter - kontraktion u. Frucht – abgänge (als Abtreibungsmittel Im Mittelalter [3])

Ergänzend ist in oben aufgeführten Tabellen die jeweils letale Dosis (LD₅₀) bezogen auf Nagetiere angegeben. Weiterhin wurden einige chemische Daten mitaufgenommen.

5 Wie gelangen Mykotoxine in Lebensmittel?

Schimmelpilze sind in der ganzen Natur verbreitet, denn sie stellen nur geringe Ansprüche an Wassergehalt, Nährböden und Temperatur. Sie vermehren sich durch Sporen, die über die Luft verbreitet werden. Treffen diese Sporen auf ein Lebensmittel keimen sie aus und bilden farblose Zellfäden, die so genannten Hyphen, die das Lebensmittel im Innern durchziehen und für das menschliche Auge unsichtbar sind. Erst der grünliche Schimmelrasen auf der Oberfläche erweckt die Aufmerksamkeit, wobei das ganze Ausmaß des Pilzbefalls trotzdem nicht ersichtlich ist, denn häufig ziehen sich die Hyphen durch das ganze Lebensmittel.

Ein üppiges Wachstum muss nicht gleichzeitig mit einer starken Toxinbildung verbunden sein, umgekehrt kann auch ein schwaches Pilzwachstum eine starke Toxinbildung zur Folge haben. Nahrungsmittel bilden ideale Voraussetzungen für die meisten Schimmelpilzarten, denn Kohlenhydrate, pflanzliche und tierische Öle, organisch und anorganisch gebundener Stickstoff erlauben bei günstiger Temperatur, günstigem pH-Wert und ausreichendem Wassergehalt ein optimales Wachstum. Mykotoxine können nur dort gefunden werden, wo Schimmelpilze wachsen oder gewachsen sind. Es lassen sich drei Wege unterscheiden, über die Mykotoxine in ein Produkt (Lebensmittel) gelangen können: die Primärkontamination, die Sekundärkontamination und der „Carry over“.



Abb.16: Verschimmeltes Schnittbrot [22]

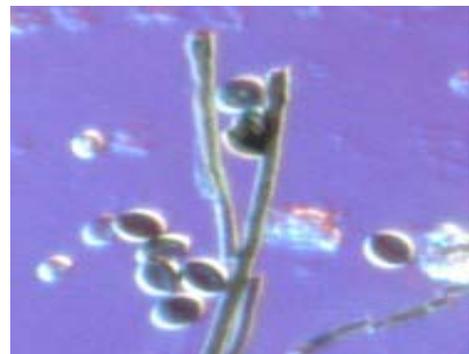


Abb.17: Schimmelpilzsporen im Mikroskop [27]

5.1 Primärkontamination

Bei der Primärkontamination werden die Lebensmittelrohstoffe von Toxinbildnern befallen und werden dadurch toxisch. Während der verschiedenen Prozesse der Lebensmittelzubereitung wird das Pilzmyzel so zerkleinert und fein verteilt, dass es im Endprodukt nicht mehr sichtbar ist. Der Konsument kann daher eine mögliche Kontamination mit Mykotoxinen nicht wahrnehmen [12, S. 142].

5.2 Sekundärkontamination

Das fertige Lebensmittel verschimmelt und wird somit mit Mykotoxinen kontaminiert. An der wachsenden, oft schon charakteristisch durch Sporenbildung (Konidien oder Asci) verfärbten Pilzkolonie, kann der Konsument ein mögliches Mykotoxinrisiko erkennen [9].

5.3 „Carry over“

Nutztiere, die toxische Futtermittel aufgenommen haben, können einzelne Mykotoxine in unveränderter Form oder in metabolisierter Form in ihren Organen ablagern oder ausscheiden (Milch, Eier, Urin u.a.). Auf diese Weise können in Lebensmitteln tierischer Herkunft (Fleisch, Milch und Milchprodukte) Pilztoxine gelangen, ohne dass das Produkt selbst oder die ursprünglichen Rohstoffe verschimmelt gewesen waren. Eine solche Kontamination ist äußerlich nicht erkennbar [9].

6 Wichtige Faktoren bei der Mykotoxinbildung

Mykotoxine werden von lebenden Pilzen produziert. Aus diesem Grund werden alle Faktoren die das Wachstum von Schimmelpilzen beeinflussen, auch auf die Biosyntheserate der Mykotoxine einwirken.

Mykotoxine werden folglich nicht gebildet, wenn der Pilz jenseits der Minimalwerte und Maximalwerte für Temperatur, a_w -Wert, pH-Wert wächst. Auch bei ungünstiger chemischer Zusammensetzung des Substrates tritt dieses Phänomen auf [12, S. 143]. Die oben genannten Faktoren sollen im Folgenden genauer dargestellt werden.

6.1 PH-Wert

Schimmelpilze können in einem weiten, etwas in das saure Milieu verschobenen pH-Bereich wachsen. Innerhalb dieses Bereiches werden auch die Mykotoxine gebildet, wobei die Optimalwerte für das Wachstum der Schimmelpilze und Toxinsynthese meist nicht zusammenfallen [12, S. 145]. Der pH-Bereich für die Toxinbildung bei Aflatoxin reicht von pH 1,7 bis 9,3. Das Optimum zur Toxinbildung liegt hier im Bereich von pH 5 bis 7. Die maximale Toxinbildung bei Patulin liegt im schwachsauren Bereich von pH 3 bis 6,5.

6.2 Temperatur

Die Toxinbildner können in einem Temperaturbereich von 3–42 °C wachsen. Das Wachstum der Aspergillus-Arten erfolgt bei Temperaturen von 4 - 50 °C, mit optimalen Bedingungen bei 25 - 40 °C. Mit einer Toxinbildung ist zwischen 8 und 45°C zu rechnen.

Es gibt auch Mykotoxine, die bevorzugt bei sehr tiefen Temperaturen und damit während der Kühllagerung (z.B. Obst und Gemüse) synthetisiert werden, hierzu zählen Patulin und die Trichothecene. Einige psychrotolerante Stämme wachsen auch noch bei Temperaturen unterhalb von 0 °C und bilden zwischen -1 °C und 40 °C Toxin. Eine Temperatur von 25 °C ist besonders förderlich für die Bildung von Zearalenon im Mais [12, S. 144].

6.3 Wasseraktivität (a_w -Wert)

Der Gehalt des Substrates an verfügbarem Wasser beeinflusst in erster Linie das Wachstum der Schimmelpilze, kann jedoch auch einen direkten Einfluss auf die Mykotoxinproduktion ausüben. Unter etwa 17% Wassergehalt (a_w 0,83) kommt es kaum zu einer nennenswerten Produktion von Mykotoxinen.

Für die Bildung der Toxine ist eine höhere Wasseraktivität notwendig als für das Wachstum der Schimmelpilze. Hier sind insbesondere die Toxine Patulin, Penicillinsäure und Ochratoxin A zu nennen. Aflatoxin B₁ wird bereits bei einem a_w -Wert gebildet, der nahe an dem Minimalwert des Myzelwachstums liegt. Ochratoxin A und Citrinin werden auf Hafer und Weizen bevorzugt bei einem a_w -Wert von 0,90–0,93 gebildet. Die für die Produktion von Zearalenon erforderliche Mindestfeuchtigkeit ist im Allgemeinen umso höher, je tiefer die Temperatur ist. Zur Bildung von Zearalenon auf Mais ist eine Wasseraktivität von mindestens a_w 0,95 bei einer Temperatur von 25° C nötig [8, S. 144].

7 Einfluss der Lebensmittelverarbeitung auf den Mykotoxingehalt in Lebensmitteln

Mykotoxine sind, wie bereits unter Punkt sechs beschrieben, unterschiedlich stabil gegenüber den verschiedenen Einflussfaktoren. Sie sind weitestgehend hitzestabil. Die meisten Mykotoxine bleiben beim Kochen, Braten, Rösten oder Backen größtenteils erhalten. Aflatoxine sind sehr hitzestabil und zersetzen sich erst bei Temperaturen von 240–310 °C. Durch Rösten wird der Aflatoxin-Gehalt nur in mäßiger Weise erniedrigt. Bei grünen Kaffeebohnen bewirkt z.B. das Rösten (200 °C/10–20 Min.) lediglich eine Abnahme des Gehaltes an Ochratoxin A um 0–12%. Fast die gesamte Toxinmenge ist im Kaffeegetränk aus derart behandeltem

Kaffee nachzuweisen [12, S. 148]. Bei der Backwarenherstellung konnte eine signifikante Abnahme der Aflatoxin B₁-Konzentration während des Knetens beobachtet werden [44, S. 421–423]. Der Autor macht hierfür oxidative und hydrolytische Vorgänge während der Teigbereitung verantwortlich. Eine weitere Abnahme des Aflatoxingehaltes während des Backens konnte nicht nachgewiesen werden.

In vergleichenden Untersuchungen zum Schimmelpilzbefall verschiedener Brotsorten wurde bereits vor einigen Jahrzehnten von Bullermann (1974) bei Rosinenbrot ein gehemmtes Wachstum von *Aspergillus parasiticus* beobachtet, eine Aflatoxinbildung konnte nicht nachgewiesen werden. Ursache hierfür ist nach Bullermann der Zimt in der Rezeptur [42, S. 1163–1165].

Ältere Untersuchungen zeigen auch, dass auch Roggenbrot wegen des niedrigen pH-Wertes während der Teigführung, sowie Weißbrot wegen des niedrigen Vitamin B₁-Gehaltes einen gewissen Schutz vor der Besiedelung mit *Aspergillus flavus* und damit auch gegenüber einer Mykotoxinkontamination besitzen [43, S. 1003-1004].

Das Backen von Brot, Maisgebäck und anderen Maisezeugnissen zerstört Aflatoxine nur in sehr geringem Maße, während der Gehalt an Deoxynivalenol überhaupt nicht reduziert wird [7]. Eine ausgeprägte Stabilität gegenüber kurzfristigem Erhitzen auf 100 °C gilt auch für andere Mykotoxine. Durch Kochen werden in Mais und Buchweizen nur 10–30% der Aflatoxine B₁, B₂, G₁ und G₂ zerstört, während in anderen Lebensmitteln ein deutlich größerer Abbau zu beobachten ist. Sehr wahrscheinlich gibt es in einigen Lebensmitteln Substanzen, die die Aflatoxine vor Hitze schützen [12, S. 148]. Die in Mexiko übliche Herstellungsweise von Tortillas aus Mais durch Kochen in alkalischem Wasser und Backen (110-120 °C für 7-8 min.) zerstört den Gehalt an

Zearalenon und Deoxynivalenol in hohem Maße[12, Seite148]. Bei der industriellen Herstellung von Teigwaren verändert sich der Deoxynivalenol-Gehalt vom Gries zur Teigware gering; durch Kochen der Teigwaren reduziert sich der DON–Gehalt durchschnittlich um 30% [28].

Abb.18



Abb.19

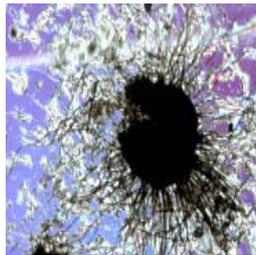


Abb.20



Abb.21



Abb.18: Schimmelpilzbefall bei Lebensmitteln

Abb.19: Fruchtkörper mit Sporen

Abb.20: Fruchtkörper mit Sporen

Abb.21: Ascosporen von Aspergillus

(Abbildungen 18, 19, 20 und 21 abgebildet mit freundlicher Genehmigung der enius AG)

8 Maßnahmen zur Vermeidung von Mykotoxin-kontaminationen in Lebensmitteln

Da Mykotoxine chemisch sehr stabile Verbindungen sind und es nur wenige und beschränkt wirksame Methoden zur Detoxifizierung gibt, ist die entscheidende Präventivmaßnahme das Verhindern der Verschimmelung von Futter- und Lebensmitteln.

In der Praxis fängt die Prävention bereits bei der Auswahl der Fruchtfolge, Sortenwahl und schonenden Ernteverfahren an, danach wird die sachgemäße Lagerung, Verarbeitung und Konservierung der Lebensmittel beachtet. Die Präventionsstrategie bezieht sich also auf die Bildung von Mykotoxinen vor der Ernte und nach der Ernte (siehe Tabelle 7 8 u.9).

Ein nachträgliches Entfernen von Mykotoxinen aus Lebensmitteln ist schwierig bis unmöglich. Verfahren zur nachträglichen Entfernung müssen außerdem folgende Anforderungen erfüllen:

- *wirksamer Abbau des Toxins*
- *wirtschaftliche Vertretbarkeit*
- *Neutralität gegenüber den ernährungsphysiologischen und sensorischen Eigenschaften*
- *keine Nebenwirkungen*

In Betracht kommen physikalische und chemische Methoden.

8.1 Chemische Methoden

Im Folgenden sollen mechanische Maßnahmen zur Zerstörung von Mykotoxinen betrachtet werden.

Tabelle 5: Chemische Methoden zur Eliminierung der Mykotoxine [33]
(x-plainmefood–Sicherheit–Mykotoxine/2006)

Oxidationsmittel	Die wirksamen Oxidationsmittel Natriumhypochlorit, Wasserstoffperoxid, Ozon, Kaliumpermanganat und gasförmiges Chlor lassen sich allenfalls bei der Entgiftung von Futtermitteln, keinesfalls aber bei Lebensmitteln einsetzen.
Säuren	Eine natürliche, mikrobielle Säuerung von Lebensmitteln kann Mykotoxine nicht zerstören.
Alkalien	Praktisch eingesetzt wird die Entfernung von Aflatoxinen aus Ölen durch alkalische Raffination oder aus Futtermitteln durch gasförmiges Ammoniak.
Schwefeldioxid	Durch Bisulfit und Schwefeldioxidgas können Aflatoxine und Patulin in Obstsaften zerstört werden.

8.2 Physikalische Methoden (mechanische Entfernung)

Die physikalische Herangehensweise zur Mykotoxinbekämpfung wäre eine weitere Möglichkeit des Verbraucherschutzes (Tab.6)

Tabelle 6: Physikalische Methoden zur Eliminierung der Mykotoxine [33]
(x-plainmefood–Sicherheit–Mykotoxine/2006)

mechanische Sortierung	Ein Aussortieren der befallenen Früchte verringert den Patulingehalt.
Ausschneiden	Die Entfernung verschimmelter Apfelteile vermindert z.B. bei Mostobst den Gehalt an Patulin.
Auspressen	Etwa 80 bis 95% der Aflatoxine verbleiben beim Auspressen von Ölsaaten im Presskuchen.
Adsorption	Aflatoxin B1 wird an Tonerde fast vollständig adsorbiert => (Filtration von Fruchtsäften).
Filtration	Asbest und Aktivkohle sind wirksame Filtermaterialien (z.B. Entfernung von Patulin aus Apfelsaft). Asbest ist allerdings aus gesundheitlichen Gründen problematisch.
Extraktion	Bereits durch das Waschen mit Wasser kann Aflatoxin zum Teil aus verschiedenen Lebensmitteln entfernt werden (Entfernung des Pilzmycels bei Erdnüssen, Mais, Käse). Geeignet als Extraktionsmittel sind auch Salzlösungen.
Bestrahlung	Die zur Entgiftung von Aflatoxin erforderlichen Dosen von UV- und ionisierenden Strahlen sind so hoch, dass mit unerwünschten Veränderungen im Lebensmittel zu rechnen ist.
Erhitzung	Die verschiedenen Arten von Aflatoxin sind sehr hitzestabil. Sie zersetzen sich nicht vor dem Erreichen ihrer Schmelzpunkte, die zwischen 240 u. 310 °C liegen. Durch das Rösten wird der Aflatoxingehalt bei Nüssen etwas gesenkt. Beim Backen von Brot oder Maisgebäck werden die Aflatoxine nur geringfügig zerstört. Beim Kochen (30 min.) ist dafür eine deutliche Abnahme zu beobachten. Die ausgeprägte Stabilität gegenüber kurzfristigem Erhitzen auf 100 °C gilt auch für andere Mykotoxine.

8.3 Ursachen von Pilzinfektionen und Maßnahmen im Feld

Die Ursachenbekämpfung ist sicher die Methode der Wahl im Kampf gegen die Mykotoxine, wie in Tabelle 7, 8 und 9 zusammengefasst.

Tab. 7: Mykotoxine im Getreide - Ursachen und Maßnahmen im Feld (Teil I) [6]
(Forschungsinstitut für biologischen Landbau: Mykotoxine im Getreide: Wie vermeiden?)

	Ursachen	Maßnahmen
Bestandesführung	Zu dichte Bestände fördern die Ähreninfektion mit Fusarienpilzen.	Anzustreben ist ein gleichmäßig schließender Bestand; die im Biolandbau wegen der mechanischen Unkrautregulierung leicht erhöhte Saatmenge sollte 10% nicht übersteigen.
Fruchtfolge	Körnermais ist die schlechteste Vorfrucht, da das langsam verrottende Stroh Überlebensort für Fusarien und andere Pilze ist. Die Weitererbreitung erfolgt im kommenden Jahr über Regenspritzer.	Ausgewogene Fruchtfolge; Getreide und Mais sich weniger häufig folgen lassen, kein Körnermais vor Getreide, andere Hackfrüchte einfügen.
Sortenwahl	Kurze Halme begünstigen den Befall.	Allgemein langhalmige Sorten wählen.
Witterung	Regenfälle während der Blüte fördern maßgeblich den Krankheitsbefall und die Ausbreitung.	Keine möglich.
Bodenbearbeitung	Minimalbodenbearbeitung, Direktsaat oder Mulchsaat fördern die Infektionsgefahr, insbesondere bei ungünstigen Vorfrüchten wie Mais und Getreide.	Wendende Bodenbearbeitung verringert die Gefahr einer Infektion mit Fusarien deutlich, weil befallenes Pflanzenmaterial von der Bodenoberfläche entfernt und im Boden abgebaut wird.

Tab. 8: Mykotoxine im Getreide - Ursachen und Maßnahmen im Feld (Teil II) [6]
 (Forschungsinstitut für biologischen Landbau: Mykotoxine im Getreide: Wie vermeiden?)

	Ursachen	Maßnahmen
Ernte	Unsorgfältiges Ernten kann zu Beschädigungen der Körner führen.	Mähdrescher optimal einstellen.
	Dreschen bei zu hoher Feuchtigkeit.	Getreide vor Drusch gut abtrocknen lassen. Bei Feuchtigkeit von über 14% unverzüglich künstlich nachtrocknen.
	Überreifes Getreide kann Mykotoxine an benachbarte Raufutterparzellen abgeben.	Getreide dreschen, sobald es reif ist.
Einsatz von Dünger und Fungiziden	Stickstoff – Spätdüngung kann die Abreife verzögern, was die Ausbreitung der Ährenkrankheiten erhöhen kann.	Dünger mit langsam freisetzendem Stickstoff (z.B. angerottetem Mist) bevorzugen. Allfällige Güllegabe nicht zu spät und eher kleine Gabe. Ausbringen von Gülle mit Strohsäcken vermeiden, da vor allem auf schweren Böden Fahrspuren mit Strohresten entstehen, die als Übertragungsort für Fusarien dienen.
Insekten	Insekten können die Krankheitserreger übertragen.	Keine Abwehr möglich.

8.4 Ursachen von Pilzinfektionen und Gegenmaßnahmen bei Lagerung und Verarbeitung

Tab. 9: Mykotoxine im Getreide - Ursachen und Maßnahmen in Lagerung und Verarbeitung [6]
(Forschungsinstitut für biologischen Landbau: Mykotoxine im Getreide: Wie vermeiden?)

	Ursachen	Maßnahmen
Ausmahlung		Entfernung der äußeren Kornschicht reduziert DON-Belastung um 50%.
Verarbeitung		<ul style="list-style-type: none"> - Wind- oder Siebreinigung können befallene Körner aus der Ernteprobe entfernen. - Hydrothermische Behandlung der Rohwaren; der Gehalt an OTA kann so bei Weizen vermindert werden. DON hingegen ist sehr stabil und wird durch Autoklavieren, kochendes Wasser oder andere Hitzeeinwirkungen nicht stark vermindert.
Körnerlagerung	<p>Förderung des Pilz-Wachstums durch:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ungenügende Trocknung der Rohware vor der Lagerung. - Temperaturgradienten, z.B. höhere Korntemperatur im oberen Teil des Lagercontainers, können zu Feuchtigkeitsverschleppung führen. - Insektenbefall (erhöhte Feuchtigkeit durch Wasser veratmende Insekten). <p>Deutliche Zunahme von DON und OTA</p> <ul style="list-style-type: none"> - bei Kornfeuchten von 17–20%. - bei Lagertemperaturen ab 18 °C 	<ul style="list-style-type: none"> - Einwandfreie Trocknungsanlagen - Erntegut nur trocken einlagern (max. 14% Feuchte; wenn nötig sofort und zügig nachtrocknen; Kondenswasserbildung vermeiden). - Tiefe Lagertemperatur anstreben (optimal unter 17 °C). - Gute Reinigung der Vorratslager. - Tiefe Sauerstoffkonzentration (<1%) und/oder erhöhte CO₂ Konzentration vermindern das Pilzwachstum und hemmen die Mykotoxinbildung in den meisten Fällen.

9 Probenahme und Analytik (Nachweismethoden)

In stückigen Gütern (Getreide, Nüsse usw.) sind Mykotoxine extrem inhomogen verteilt. Bei Erdnüssen z.B. kann jeder 4.000te bis 10.000te Kern kontaminiert sein, wobei der mittlere Aflatoxingehalt bei 20 µg/Kern liegt, das Maximum bei 400 µg/Kern. Der Probenahme und entsprechenden Probenahmeplänen kommt aus diesem Grund eine herausragende Bedeutung für die innerbetriebliche und amtliche Überwachung zu [1, S. 263]. Zudem stellt die vergleichsweise geringe Konzentration der Mykotoxine in den Proben große Anforderungen an die Analytik.

Um die Vergleichbarkeit der amtlichen Ergebnisse zu verbessern, müssen daher die Mindestleistungskriterien der EG-Richtlinien für Probenahme und Analytik erfüllt werden. Grundsätzlich ist die Vorbereitung der Probe schwer in ein allgemeines Schema zu bringen, da das Ausgangsmaterial, Lebens oder Futtermittel, in seiner Zusammensetzung sehr stark variiert. Die Matrixeinflüsse, vor allem ein hoher Fettgehalt, zwingen zu unterschiedlichen Behandlungen vor der Extraktion der Toxine und zu angepassten Reinigungsschritten.

Die Bestimmung der Mykotoxine erfolgt häufig mittels Hochleistungsflüssigchromatographie (HPLC) – zunehmend in Kombination mit Massenspektrometrie (MS oder MS-MS), aber auch mit Hilfe von Gaschromatographie (GC), Dünnschichtchromatographie (DC) und Enzymimmunoassay (Enzym Linked Immuno-Sorbent Assay, ELISA). Die amtliche Routinemethode für Aflatoxin B₁ erfasst mit einiger Sicherheit noch den Bereich von 1 µg/kg. In der Nähe der Nachweisgrenze ist mit einer Streubreite von 100% zu rechnen, worauf in der Analysenvorschrift hingewiesen wird. Mit der ELISA Methode werden die Aflatoxine B₁, B₂, G₁ und G₂ bestimmt [1, S. 263].

10 Mykotoxine – Fazit

Die Gefahr einer Mykotoxinbelastung in unserer Nahrung wird durch Veränderungen in der Nahrungsmittelverarbeitung tendenziell größer. Verantwortlich hierfür sind folgende Faktoren:

- **eine zunehmende Zentralisierung von Produktion und Verarbeitung.**
- **steigende Importe aus Überseeländern, mit oft ungünstigen klimatischen und hygienischen Verhältnissen.**
- **erhöhter Verletzungsgrad von Früchten und Gemüse durch mechanisierte Erntemethoden.**
- **veränderte Einkaufsgewohnheiten**
- **Vermeidung von Fungiziden aufgrund des allgemeinen Trends zu Bio – Produkten.**

Offensichtlich verschimmelte Lebens- und Futtermittel sind grundsätzlich als toxisch zu betrachten, solange nicht der Gegenbeweis erbracht wurde. Sichtbar verschimmelte Ware sollte in jedem Fall von der Produktion ausgeschlossen werden. Nach heutigem Wissensstand besteht bei der Anwesenheit von Schimmelpilzen immer die Gefahr, dass Mykotoxine gebildet worden sind. Um mit Sicherheit gesundheitliche Folgeschäden ausschließen zu können, sollten Futter- und Lebensmittel daher möglichst schimmelpilzfrei sein. Die beste Strategie ist in jedem Fall die grundsätzliche Vermeidung von Mykotoxinen (d.h. ein Schimmelbefall muss grundsätzlich vermieden werden).

Besonders problematisch sind Mykotoxine, wenn sie getarnt auftreten. Durch die technologische Weiterverarbeitung ist ein vorgängiger Pilzbefall im Produkt oft nicht mehr sichtbar (z.B. Fruchtsäfte, Konservenware etc.). Der chemische Nachweis durch Routineverfahren, ist auch nur für die bekanntesten Mykotoxine möglich.

Hinsichtlich der Prävention von Mykotoxinkontaminationen im Nacherntebereich kommt der Lagerung eine entscheidende Bedeutung zu. Wichtige Parameter sind hierbei die mechanische Beanspruchung des Ernteguts, die Elimination von Verunreinigungen sowie die Optimierung der Umgebungsbedingungen (z.B. Temperatur, Feuchtigkeit etc.).

Bei zusammengesetzten Lebensmitteln wie z.B. Müsli ist eine Mykotoxinkontamination über weitere Zutaten wie z.B. Trockenobst, Nüsse oder Gewürze möglich. Da die Kontamination punktuell in einer Charge auftritt, ist das Erkennen einer kontaminierten Charge auch bei sorgfältiger Probennahme nicht gewährleistet.

Mit diesem Problem und der Suche nach alternativen Methoden zur Erkennung des Befalls von Rohstoffen mit Schimmelpilzbildnern sollte sich die Lebensmittelanalytik zukünftig auseinandersetzen. Hierbei ist es sicher auch ratsam betriebseigene Maßnahmen und Kontrollen nach dem HACCP – Konzept durchzuführen.

Das HACCP–Konzept ist so konzipiert, dass durch Identifizierung der Gefahrenpunkte, durch Einführung von Kontrollen und durch die Überwachung der Kontrollen auf allen Stufen der Produktion und des Vertriebs, die Qualität und Sicherheit der Lebensmittel gewährleistet ist.

11 Zusammenfassung

Alle verschimmelten Nahrungsmittel können Mykotoxine enthalten. Wie in dieser Arbeit dargelegt, schätzt die Food and Agriculture Organization (FAO), dass ca. 25 % der Weltnahrungsproduktion Mykotoxine enthalten. Mit Hilfe von Internetrecherche und einschlägiger Fachliteratur wird versucht, einen Einblick in die Problematik der „ Mykotoxine als Lebensmittelkontaminanten „ zu geben.

Durch Mykotoxine hervorgerufene Krankheiten wurden bereits im Mittelalter dokumentiert. Die vorgelegte Arbeit setzt an dieser Stelle an und verfolgt den Umgang mit der Mykotoxingefahr bis in die Gegenwart. Die verschiedenen Wege der Diffusion dieser Giftstoffe in die Nahrungskette werden dem Leser anschaulich vermittelt.

Für den menschlichen Organismus sind kontaminierte Lebensmittel äußerst gesundheitsschädlich und zum Teil Lebensbedrohlich. Aus diesem Grund werden die pathologischen Eigenschaften der wichtigsten Mykotoxine in dieser Arbeit eingehend erläutert. Es gibt eine Vielzahl verschiedener Schimmelpilze die unterschiedliche Toxine produzieren. Maßnahmen zum Schutz vor Mykotoxinen sind übersichtlich in Tabellen zusammengefasst.

Prävention ist nach dem heutigen Stand der Technik immer noch die beste Strategie zum Schutz der Gesundheit. Pilzkontaminationen sind aber nicht gänzlich vermeidbar und nicht hundertprozentig einzudämmen. Die einzelnen Präventionsstrategien sind hier explizit dargestellt. Die Kontamination Lebensmitteln mit Mykotoxinen ist ein ubiquitär auftretendes Problem, das zukünftig noch eine große Herausforderung an die lebensmittelverarbeitende Industrie stellen wird.

12 Summary

All moulded food may contain mycotoxins. According to estimates of the Food and Agriculture Organization (FAO), about 25% of the global food production contains mycotoxins. Recent publications and an internet search of relevant technical literature are utilized in this thesis to provide an appropriate insight into the problem of mycotoxins as food contaminants.

As far back as the middle Ages, people had to deal with fungi and fungal toxins. The incident of diseases caused by food contamination is well documented. The different ways of contamination, within the food chain, are also communicated.

For the human body, contaminated food is extremely unhealthy and sometimes can be life-threatening. In this thesis, the pathological characteristics of most of the important mycotoxins are described in detail. There are a number of different moulds; each of these fungi produces different kind of toxins.

Factors that accelerate the appearance and growth are only partially avoidable through prevention and cannot be totally embanked.

Food contamination with mycotoxins is a ubiquitous arising problem and could be a great challenge for the food processing industry in the near future.

13 Begriffserklärungen (Glossarium)

- Abort:** (lat. abortus) bezeichnet eine Fehlgeburt [34]
- Adsorption:** Aufnahme und physikalische Bindung von Gasen, Dämpfen oder in Flüssigkeiten gelösten Stoffes an der Oberfläche eines festen vor allem porösen Stoffes [35, S. 21]
- Aleukie:** aplastisches Syndrom
Kombination von Anämie, Granulozytopenie und Thrombozytopenie (penie = Mangel) bei zellarmen Knochenmark [36, S. 29 u. S. 71]
- alimentär:** (lat. alimentarius) durch Nahrung hervorgerufen [36, S. 29]
- antiviral:** antiviral wirksame Verbindungen sind gegen Viren und die durch sie hervorgerufenen Erkrankungen gerichtet. Sie hemmen die Vermehrung von Viruspartikeln im Körper, wirken also virostatisch [41].
- Autoklav:** druckfester, beheizbarer Behälter für chem. Reaktionen unter Druck, zum sterilisieren von u. a. Nährböden, Lebensmittel etc. [35, Seite121]
- Biochemie:** Grundlagenwissenschaft, die mit den Methoden der Chemie die Lebensvorgänge im Organismus untersucht [36, S. 137]
- Biosynthese:** Aufbau von chem. Verbindungen in lebenden Zellen [36, S. 138]

cytotoxisch: zytotoxisch (griech. Zytos = Zelle), zellengiftig
[36, S. 1339]

Detoxifizierung: Entgiftung

diffus: (lat. diffundo, diffus), verbreiten, zerstreuen
[36, S. 247]

Direktsaat: unter Direktsaat wird eine Saatmethode ohne vorherige Bodenbearbeitung verstanden [37].

Embryo: (griech. embryon) ungeborene Leibesfrucht
[36, S. 321]

Epidemie: (griech. epidemios – im Volke verbreitet) gehäuftes Auftreten einer bestimmten Infektionskrankheit in örtlicher und zeitlicher Begrenzung [36, S. 321]

Ergotismus: Vergiftung mit den Alkaloiden des Mutterkorns
[36, S. 333]

Extraktion: (Auslaugung, Auswaschung) Trennverfahren, bei dem durch geeignete Lösungsmittel aus festen oder flüssigen Stoffgemischen selektiv bestimmte Bestandteile herausgelöst werden [35, S. 432]

Fermente: (lat. fermentum - Gärungsmittel) syn. Enzyme
[36, S. 356]

funghizid: (lat. cidere–abtöten) pilzabtötend
[36, S. 386]

- Gangrän:** Brand, entsteht durch die Einwirkung der Außenwelt auf abgestorbenes nekrotisches Gewebe. Durch Zersetzung und Umwandlung des Blutfarbstoffs kommt es dabei zu Farbveränderungen der befallenen Gewebe die bräunlich–schwarz (verbrannt) aussehen [36, S. 394]
- Gastritis:** Entzündung des Magens [36, S. 396]
- Gen:** allgemein werden Gene als Erbanlage oder Erbfaktor bezeichnet, da sie die Träger von Erbinformation sind, die durch Reproduktion an die Nachkommen weitergegeben werden [38].
- Hackfrüchte:** Kulturpflanzen, bei denen während ihrer Entwicklung der Boden wiederholt gehackt werden muss, z.B. Rüben, Kartoffeln [35, S. 34]
- hämorrhagisch:** zu Blutungen führend [36 S. 449]
- Halbwertszeit:** HWZ, allgemein die Zeitspanne, in der eine Größe auf die Hälfte ihres Anfangswertes abgefallen ist [35, S. 39]
- Halluzinogen:** Substanzen die Sinnestäuschungen hervorrufen [36, S. 452]
- Hepatitis:** Leberentzündung [36, S. 471]
- hepatogen:** von der Leber ausgehend [36, S. 472]
- Hydrolyse:** (griech. lysis – Lösung) Spaltung organischer Verbindungen in einfachere unter Wasseraufnahme [36, S. 511]

<u>Hydroxilierung:</u>	Einführung von OH-Gruppen in eine chemische Verbindung [36, S. 513]
<u>Hyphen:</u>	fadenförmige, oft zellig gegliederte und verzweigte Grundstrukturen der Pilze, aus denen sich das Myzel und der Fruchtkörper aufbaut [35, S. 100]
<u>hyper:</u>	(griech. Vorsilbe) über, hinaus, oberhalb [36, S. 515]
<u>Immun-</u>	(lat. suppressio – Unterdrückung) Unterdrückung
<u>suppression:</u>	oder Abschwächung der Reaktivität des Immunsystems [36 S. 545]
<u>insektizid:</u>	insektenvernichtend [36, S. 557]
<u>Intoxikation:</u>	syn.Toxikose, Vergiftungskrankheiten [36, S. 1205]
<u>ionisierende-Strahlung:</u>	alle ausreichend energiereichen Strahlungsarten, die beim Auftreffen oder beim Durchgang durch Materie so viel Energie an die getroffenen Atome und Moleküle abgeben, dass eine Ionisation stattfindet (Veränderung der Elektronenzahl) [36, S. 566]
<u>i.p.:</u>	intraperitoneal, in die Bauchhöhle gespritzt [1, S. 304]
<u>i.v.:</u>	Abk. für intravenös [36, S. 573]
<u>kanzerogen:</u>	(lat. cancer – Krebs, griech. Gennao – erzeugen) [36, S. 584]

- Karzinom:** (lat. Carcinoma – Krebs) [36, S. 178]
- Konidien:** derbwandige, asexuell entstandene Vermehrungs- und Verbreitungsorgane sehr vieler Pilze
[1, S. 305]
- Kontraktion:** (lat. contractio) Zusammenziehung eines Muskels
[36, S. 631]
- Leguminosen:** Die Hülsenfrüchter (Fabaceae oder Leguminosae), auch Leguminosen genannt, sind eine der artenreichsten Pflanzenfamilien. Sie umfasst drei Unterfamilien, die oft auch als eigene Familien behandelt werden [39].
- letale Dosis:** letale Dosis = tödliche Dosis
z.B. LD₅₀ = letale Dosis eines Giftes, bei der nach einmaliger Gabe 50% der Versuchstiere innerhalb von sieben Tagen sterben [1, S. 305]
- Matrix:** in der Biologie eine Grundsubstanz ohne innere Struktur [35, S. 378]
- Median:** Zentralwert–in der Statistik ein Mittelwert der Lage
[35, S. 384 u.570]
- Metabolismus:** (syn.Stoffwechsel) die gesamten Vorgänge des Abbaus und der Umwandlung von Substanzen(Nahrungsmittel, Sauerstoff) [36, S. 1145]
- Metabolit:** jeder im biologischen Stoffwechsel umgesetzte Stoff
[36, S. 745]

<u>Mulchsaat:</u>	unter Mulchsaat wird eine Saatmethode mit nur minimaler vorhergehender Bodenbearbeitung verstanden [40].
<u>Mutation:</u>	(lat. mutare), verändern [36, S. 784]
<u>Myzel:</u>	Mycelium = Pilzfilz, Hypengeflecht der Pilze [36, S. 793]
<u>Nekrose:</u>	(griech. nekros – tot), örtl. Gewebetod, absterben von Organen, Organteilen oder Geweben, während umgebene Organe und Zellen weiterleben [36, S. 808]
<u>nephrotoxisch:</u>	nierengiftig [36, S. 810]
<u>Ödem:</u>	(griech. oideo – schwellen), Wassersucht, schmerzlose Schwellung infolge Ansammlung wässriger Flüssigkeiten in Gewebsspalten [36, S. 845]
<u>Östrogen:</u>	(griech. genos – erzeugend) Follikelhormon [36, S. 850]
<u>Ovarien:</u>	Ovar = Eierstock [36, S. 871]
<u>Oxydation:</u>	Vereinigung eines Elements bzw. einer Verbindung mit Sauerstoff bzw. den Entzug von Wasserstoff [36, S. 873]
<u>pathologisch:</u>	krankhaft [36, S. 898]
<u>Phyto:</u>	(griech. phyton – Pflanzen) [36, S. 925]
<u>p.o.:</u>	per os (lat. os, oris – Mund) Einnahme durch den Mund [36, S. 911]

- Protein-
biosynthese:** Synthese spezifischer Proteine anhand der (in der DNA) niedergelegten genetischen Information [36, S. 969]
- psychrotolerant:** (griech. psychros – kalt) Kältetolerant [36, S. 981]
- Raffination:** allgemein die Veredelung von Rohstoffen; in der Lebensmitteltechnik spielt vor allem das Reinigen von Speisefetten und Zucker eine Rolle [35, S. 70]
- Spinabifida:** (lat. spina – Wirbelsäule, bifidus - zweigeteilt) angeborene Spaltbildung der Wirbelsäule [36, S. 1124]
- Sporen:** (griech. spora Samen) Vermehrungszellen [36, S. 1129]
- Substrat:** (lat. substernere, substratum – unterbreiten) Grundlage, wesentlicher Bestandteil; bei Enzymreaktionen, diejenigen Substanzen, die umgesetzt werden [36, S. 1156]
- teratogen:** Eigenschaft gewisser Substanzen zur Teratogenese, das heißt zur Entstehung von Missbildungen des Körpers [36, S. 911]
- thermophil:** Vermögen in heißen Quellen zu leben [36, S. 1184]
- Toxikose:** Vergiftungskrankheit [36, S. 1205]
- Uterus:** Gebärmutter [36, S. 1253]

14 Quellen und Literatur

[1] VIS Bayern

Mykotoxine – Giftige Stoffwechselprodukte von Schimmelpilzen

<http://www.vis-ernaehrung.bayern.de>, 03.09.2006

[2] Roth · Frank · Kormann (1990): Giftpilze – Pilzgifte.

Nikol Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, Hamburg

[3] Schmid, H. & Helfer, W. (1995):

Wissenswertes aus Ökologie, Geschichte und Mythos.

IHW-Verlag, Eiching bei München

[4] Jean-Francois Quillien

Institut National de la Recherche Agronomique France: Die Mykotoxine

<http://www.pfannhauser.at/ffe/docs/DieMykotoxine.pdf>, 18.09.2006

[5] biomess: Mykotoxine – „Schimmelgifte“

<http://www.biomess.de/biomess-Site/mykotoxine.htm>, 20.09.2006

[6] Forschungsinstitut für biologischen Landbau:

Mykotoxine im Getreide: Wie vermeiden?

<https://www.fibl.org/shop/pdf/mb-mykotoxine.pdf>, 20.09.2006

[7] Dr. Manfred Bischoff

Lufa der Landwirtschaftskammer Weser – Ems:

Mykotoxine im Getreide unter Berücksichtigung der Ernte 1998

http://www.lufa-nord-west.de/lufa2/downloads/pdf/mykotoxine_bischoff.de

21.09.2006

[8] Prof. Dr. Bärbel Kniel, Esslingen

bmi aktuell. Ausgabe 2 / September 2002: Mykotoxine

<http://www.backmittelinstitut.de>, 15.09.2006

[9] Tina Türk (2003)

Universität Bayreuth: Mykotoxine

<http://www.uni-bayreuth.de/departments/ddchemie/umat/mykotoxine/mykotoxine.htm>

19.09.2006

[10] Weidenböerner, M. (1999): Lebensmittel – Mykologie.

Behr's Verlag, Hamburg

[11] Bhat, R.V. und Miller, J.D. (1991):

„Mycotoxins and food supply“

<http://www.fao.org/docrep/U3550t/u3550t0e.htm>, 15.09.2006

[12] Reiss, J. (1997): Schimmelpilze

2. Auflage, Springer, Berlin

[13] Lindner, E. (1986): Toxikologie der Nahrungsmittel

Georg Thieme Verlag, Stuttgart

[14] VIS Verbraucherinformationssystem Bayern

<http://www.vis-ernaehrung.bayern.de>, 18.09.2006

[15] Mutterkorn – Wikipedia

<http://de.wikipedia.org/wiki/Mutterkorn>, 22.09.2006

[16] Untersuchungsamt – BW

<http://www.untersuchungsamter-bw.de/>, 16.09.2006

[17] Sofia GmbH

Mykotoxine – Allgemeine Beschreibung

<http://www.sofia-gmbh.de/mykotoxine.htm>, 31.08.2006

[18] Nivalenol

<http://www.gifte.de/B-%20und%20C-Waffen/nivalenol.htm>, 19.09.2006

[19] Nivalenol

<http://www.haccp.foodconsult.nl/Toxinen/Nivalenol.htm>, 21.09.2006

[20] Zearalenon – Wikipedia

<http://www.wikipedia.org/wiki/Zearalenon>, 19.09.2006

[21] Fumonisine – Wikipedia

<http://www.wikipedia.org/wiki/Fumonisine>, 19.09.2006

[22] Schimmelpilz - Wikipedia

<http://www.wikipedia.org/wiki/Schimmelpilz>, 20.02.2007

[23] enius AG: Penicillium, Schimmelpilze, Schimmelpilzgifte

<http://enius.de/schadstoffe/penicillium.html>, 22.09.2006

[24] Patulin – Wikipedia

<http://www.wikipedia.org/wiki/Patulin>, 19.09.2006

[25] Mutterkorn (Claviceps purpurea)

http://www.giftpflanzen.com/claviceps_purpurea.html, 22.09.2006

[26] enius AG: Citrinin – Schimmelpilzgift, Mykotoxin

<http://schimmel-schimmelpilze.de/schimmelpilzgift/citrinin.html>, 19.09.2006

[27] enius AG: Schimmelpilzgifte – Mykotoxine

<http://schimmel-schimmelpilze.de/schimmelpilzgifte-mykotoxine.html>

[28] Mykotoxin – Workshop (17 - 19 Mai 2004)

<http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/schriftenreihe-url-1-9.pdf>,
22.09.2006

[29] enius AG: Ochratoxin A

<http://enius.de/schadstoffe/ochratoxin-a.html>, 18.09.2006

[30] enius AG: Fumonisine

<http://enius.de/schadstoffe/fumonisine.html>, 02.10.2006

[31] enius AG: Ergotamin

<http://enius.de/schadstoffe/ergotamin.html>, 02.10.2006

[32] enius AG: Aflatoxin B1

<http://enius.de/schadstoffe/aflatoxin-b1.html>, 02.10.2006

[33] x-plainmefood – Sicherheit–Mykotoxine:

Maßnahmen zur Verhütung einer Lebensmittelkontamination

http://www.foodnews.ch/x-plainmefood/40_sicherheit/Mykotox_Massnahmen.html,

16.09.2006

[34] Abort – Wikipedia

<http://de.wikipedia.org/wiki/Abort>, 27.01.2007

[35] F.A. Brockhaus GmbH, Mannheim (2000)

Sonderausgabe für den Weltbild Verlag GmbH, Augsburg, (2000)

[36] W. Pschyrembel (1982): Klinisches Wörterbuch (254. Auflage)

Walter de Gruyter Berlin, New York (1982)

[37] Direktsaat – Wikipedia

<http://de.wikipedia.org/wiki/Direktsaat>, 27.01.2007

[38] Gen – Wikipedia

<http://de.wikipedia.org/wiki/Direktsaat><http://de.wikipedia.org/wiki/gen>,

27.01.2007

[39] Leguminosen – Wikipedia

<http://de.wikipedia.org/wiki/Leguminosen>, 27.01.2007

[40] Mulchsaat – Wikipedia

<http://de.wikipedia.org/wiki/Mulchsaat>, 27.01.2007

[41] Antiviral – Glossar – ChemgaPedia

<http://www.chemgapedia.de/vsengine/popup/vsc/de/glossar/a/an/antiviral.glos.html>,
10.02.2007

[42] Bullermann, L.B., (1974): Formation and control of mycotoxins in food.

[43] Hansen, E., (1968): Untersuchungen über das Vorkommen von Aflatoxin B1. Wanderung und Veränderungen des Gehaltes bei der Zubereitung einiger Lebensmittel.

[44] Reiss, J., (1978): Mycotoxins in foodstuff

[45] Mykotoxin – Höchstmengenverordnung (HmV)

<http://www.ChemLin.de>, 20.02.2007

15 Erklärung

Ich, Frank Luhmann, erkläre eidesstattlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und alle aus ungedruckten Quellen, gedruckter Literatur oder aus dem Internet im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt übernommenen Formulierungen und Konzepte gemäß den Richtlinien wissenschaftlicher Arbeiten zitiert bzw. mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.

Berlin, 07.05.2007

Frank Luhmann

16 Anhang (Mykotoxin-Höchstmengenverordnung) [45]

Mykotoxine	Erzeugnis	Höchstmengen in oder auf Lebensmitteln ¹⁾ In µg / kg
Aflatoxin B₁	Lebensmittel ²⁾	2
Summe der Aflatoxine B₁, B₂, G₁, G₂	a) Enzyme und Enzymzubereitungen, die zur Herstellung von Lebensmitteln bestimmt sind; b) Lebensmittel ²⁾	0,05 4
Aflatoxin M₁	a) Milch ³⁾ b) getrocknete, verarbeitete oder aus mehreren Zutaten bestehenden Milcherzeugnisse ³⁾	0,05 0,05 unter Berücksichtigung der durch die Trocknung, die Verarbeitung oder den jeweiligen Anteil der Zutaten bedingten Konzentration.
Ochratoxin A (OTA)	Löslicher Kaffee, Röstkaffee, Trockenobst, ausgenommen aus Weintrauben und Feigen, getrocknete Feigen.	6 3 2 8
Deoxynivalenol (DON)	Getreideerzeugnisse (Getreidekörner zum direkten Verzehr und verarbeitete Getreideerzeugnisse), ausgenommen Hartweizenerzeugnisse, Brot, Kleingebäck und Feine Backwaren. Brot, Kleingebäck und Feine Backwaren.	500 350
Summe der Fumonisine B₁ und B₂	Maiserzeugnisse (Mais zum direkten Verzehr und verarbeitete Maiserzeugnisse), ausgenommen Cornflakes. Cornflakes	500 100
Zearalenon (ZEA)	Getreideerzeugnisse (Getreidekörner zum direkten Verzehr und verarbeitete Getreideerzeugnisse).	50

¹⁾ Die Höchstmengen beziehen sich auf den zum Verzehr bestimmten Teil.

(Anlage 1)

²⁾ Andere als in Anlage 2, 2.1.1, 2.1.2 und 2.1.4 aufgeführte Lebensmittel.³⁾ Andere als in Anlage 2 aufgeführte Milch, die nicht von Kühen, Schafen oder Ziegen gewonnen ist.

- 2.1 Aflatoxine**
- 2.1.1 Erdnüsse, Schalenfrüchte und Trockenfrüchte**
- 2.1.1.1 Erdnüsse, Schalenfrüchte und Trockenfrüchte und deren Verarbeitungserzeugnisse, die zum unmittelbaren Verzehr oder zur Verwendung als Lebensmittelzutat bestimmt sind.**
- 2.1.1.2 Erdnüsse, die vor ihrem Verzehr oder ihrer Verwendung als Lebensmittelzutat einer Sortierung oder einer anderen physikalischen Behandlung unterzogen werden sollen.**
- 2.1.1.3 Schalenfrüchte und Trockenfrüchte, die vor ihrem Verzehr oder ihrer Verwendung als Lebensmittelzutat einer Sortierung oder einer anderen physikalischen Behandlung unterzogen werden sollen.**
- 2.1.2 Getreide (einschließlich Buchweizen, Fagopyrum sp).**
- 2.1.2.1 Getreide (einschließlich Buchweizen, Fagopyrum sp) und dessen Verarbeitungserzeugnisse, die zum unmittelbaren Verzehr oder zur Verwendung als Lebensmittelzutat bestimmt sind.**
- 2.1.2.2 Getreide (einschließlich Buchweizen, Fagopyrum sp) außer Mais, das vor seinem Verzehr oder seiner Verwendung als Lebensmittelzutat einer Sortierung oder einer anderen physikalischen Behandlung unterzogen werden sollen.**
- 2.1.2.3 Mais, der vor seinem Verzehr oder seiner Verwendung als Lebensmittelzutat eine Sortierung oder einer anderen physikalischen Behandlung unterzogen werden soll.**
- 2.1.3 Milch (Rohmilch, Werkmilch und wärmebehandelte Milch).**
- 2.1.4 Folgende Gewürzsorten:**
 - Capsicum spp.(getrocknete Früchte, ganz oder gemahlen, einschließlich Chili, Chilipulver, Cayennepfeffer und Paprika).
 - Piper ssp.(Früchte, einschließlich weißer u. schwarzer Pfeffer).
 - Myristica fragrans (Muskat)
 - Zingiber officinale (Ingwer)
 - Curcuma longa (Gelbwurz)
- 2.1.5 Getreidebeikost und andere Beikost für Säuglinge und Kleinkinder.**
- 2.1.6 Säuglingsanfangsnahrung und Folgenahrung, einschließlich Säuglingsmilchnahrung und Folgemilch.**
- 2.1.7 Diätetische Lebensmittel für besondere medizinische Zwecke, die eigens für Säuglinge bestimmt sind.**

(Anlage 2)

2.2 Ochratoxin A

2.2.1 Getreide (einschließlich Reis und Buchweizen) und Getreideerzeugnisse.

2.2.1.1 Rohe Getreidekörner (einschließlich roher Reis und roher Buchweizen).

2.2.1.2 Alle Getreideerzeugnisse (einschließlich verarbeitete Getreideerzeugnisse und Getreidekörner zum direkten Verzehr).

2.2.2 Getrocknete Weintrauben (Korinthen, Rosinen, Sultaninen).

2.2.4 Getreidebeikost und andere Beikost für Säuglinge und Kleinkinder.

2.2.5 Diätetische Lebensmittel für besondere medizinische Zwecke, die eigens für Säuglinge bestimmt sind.

2.3 Patulin

2.3.1 - Fruchtsäfte, insbesondere Apfelsaft, und Fruchtsaftzusätze in anderen Getränken, einschließlich Fruchtnektar.

- Fruchtsaftkonzentrate nach Rekonstitution entsprechend der Herstellerangaben.

2.3.2 Spirituosen, Apfelwein und andere aus Äpfeln gewonnene oder Apfelsaft enthaltende fermentierte Getränke.

2.3.3 Feste, für den direkten Verzehr bestimmte Apfelerzeugnisse, einschließlich Apfelkompott, Apfelpüree.

2.3.4 Apfelsaft sowie feste Apfelerzeugnisse, einschließlich Apfelkompott und Apfelpüree, für Säuglinge und Kleinkinder die mit diesem Verwendungszweck gekennzeichnet und verkauft werden – andere Beikost als Getreidebeikost.

(Anlage 2)

17 Danksagung

Die vorliegende Arbeit wäre in dieser Form nicht entstanden ohne die engagierte Kritik und den konstruktiven Vorschlägen von Frau Dr. Elda Hausmann.

Ihr danke ich an dieser Stelle ganz besonders für Ihr stets großes Interesse an dieser Arbeit.