

BEREITS VERÖFFENTLICHTE WERKE

- DIE GESUNDHEIT DES DARMS -

Finn Holm

FoodGroup Denmark - Danemark
(november 2001)

- GENMANIPULIERTE NAHRUNGSMITTEL -

Finn Holm

FoodGroup Denmark - Danemark
(june 2002)

Die Mykotoxine



Jean-François Quillien
*Institut National de la
Recherche Agronomique*
France



Project n° QLK1-CT - 2000 - 00040

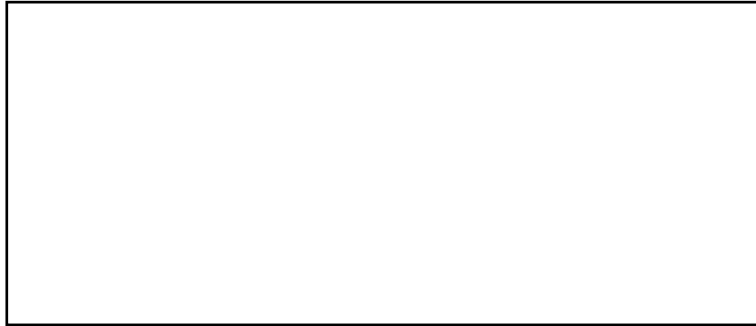
N° ISBN : 2-7380 1060-1

October 2002

Kleine und mittlere Unternehmen

N° 3





National Network Leader

Diese Unterlage wird im Rahmen des Projekts FAIR FLOW EUROPE 4 verbreitet. Sie ist Teil einer Reihe halbjährig erscheinender Informationen für Verbraucher, Angehörige der medizinischen Berufe sowie kleine und mittlere Unternehmen der Nahrungs- und Genussmittelbranche.

Fair Flow Europe 4 (FFE 4) ist ein Projekt, das direkt von der Europäischen Kommission in die Wege geleitet worden ist. Es bezweckt die Verbreitung der Ergebnisse der Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der industriellen Nahrungs- und Genussmittel. Das Projekt ist in den Tätigkeitsbereich des 5. Rahmenprogramms für Forschung und technologische Entwicklung eingefügt, und 24 Länder nehmen daran teil.

Die beiden Ziele von FFE 4:

- 1 - Verbreitung der europäischen Forschungsergebnisse im Nahrungs- und Genussmittelbereich an die Nutzer, nämlich Unternehmen der Nahrungs- und Genussmittelbranche, Verbraucherverbände und Angehörige der medizinischen Berufe;
- 2 - Organisation eines Dialogs zwischen den verschiedenen Nutzergruppen und den Wissenschaftlern über Themen, welche die Forschung auf dem Gebiet der Nahrungs- und Genussmittel betreffen.



Institut National de la Recherche Agronomique
147, rue de l'Université 75338 PARIS cedex 07 - France

Koordinator : Jean-François Quillien
quillien@rennes.inra.fr

www.flair-flow.com

DIE MYKOTOXINE

Jean-François Quillien

Institut National de la Recherche Agronomique
France

*«Für die in diesem Dokument enthaltenen Meinungen,
die nicht unbedingt die offizielle Meinung der Kommission
widerspiegeln, ist allein der Verfasser verantwortlich»*

Kleine und mittlere Unternehmen
n° 3 - 2002

Inhalt

	<i>Blatt</i>
Was ist ein Mykotoxin?	4
Die verschiedenen Mykotoxine	5
Von Mykotoxinen betroffene Lebensmittel	8
Welche toxischen Wirkungen haben Mykotoxine?	11
Wie entstehen Mykotoxine?	13
Die verschiedenen Etappen im Kampf gegen die Mykotoxine	14
Für eine strategische und globale Herangehensweise im Kampf gegen die Mykotoxine: die Anwendung der HACCP-Methode (Hazard Analysis Critical Control Point)	19
Für eine leistungsfähige europäische Forschung in engem Kontakt und im Dienst der Marktteilnehmer und der europäischen Verbraucher	21

Bild : © INRA / Christian SLAGMULDER

Was ist ein Mykotoxin?

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 einigen Schimmelarten produziert werden, die sich auf bestimmten Lebensmitteln und insbesondere auf Getreide entwickeln.

Es sei daran erinnert, dass nicht alle Schimmelarten toxisch sind. Bei einigen hat sich sogar deren Nützlichkeit herausgestellt und dass sie für die Ernährung (Käse, zum Haltbarmachen) bzw. zur Herstellung von Antibiotika eingesetzt werden können.

Pilze befallen Getreide auf natürliche Weise; aus diesem Grund ist es auch normal, wenn in den Ernten kleine Mykotoxinmengen festgestellt werden. Sie 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 stellen nur dann ein potenzielles Risiko für die Gesundheit von Mensch und Tier dar, wenn sie in großen Mengen aufgenommen werden. Das Problem der Lebensmittelsicherheit stellt sich also nur dann, wenn Getreide massiv infiziert wurde, was im Allgemeinen auf schlechte Anbau- bzw. Lagerbedingungen zurückzuführen ist.

Die verschiedenen Mykotoxine

Die ersten Mykotoxine, die von den Wissenschaftlern identifiziert wurden, waren die Aflatoxine. Heute gehören sie zu am besten erforschten. Jedoch wurden kürzlich in Europa weitere Mykotoxine entdeckt.

• Die Aflatoxine

Aflatoxine werden von bestimmten *Aspergillus-Arten* gebildet und entwickeln sich auf zahlreichen Rohprodukten, wie z. B. Getreide, getrockneten Früchten, Gewürzen, Feigen und Dörrobst. Von den ca. 20 ermittelten Aflatoxine kommen nur vier in Lebensmitteln vor (die Aflatoxine B1, B2, G1 und G2).

Weiterhin kann man Aflatoxinmetabolite in Milch und Milchprodukten (die Aflatoxine M1 und M2) feststellen. Diese Derivate werden von Wiederkäuern gebildet, die mit kontaminiertem Futter gefüttert wurden.

Aflatoxine verursachen zahlreiche Krankheiten, so zum Beispiel Leberkrebs, chronische Hepatitis, Gelbsucht und Zirrhose. Auch wenn Mykotoxine im Allgemeinen nur dann toxisch sind, wenn sie in großen Mengen aufgenommen werden, kann eine lange, niedrig dosierte Aflatoxin-Exposition ebenfalls Gesundheitsrisiken verursachen. Einige Aflatoxine können sogar zu genetischen Zellmutationen bei Mensch und Tier führen.

Aufgrund von Kontrollen und entsprechender Herstellungsverfahren in den entwickelten gemäßigten Regionen sind schwerwiegende Vergiftungen durch Aflatoxine sehr unwahrscheinlich. Der Aflatoxin-Gehalt in Rohstoffen wird durch verschiedene Reinigungsverfahren, die vor dem Verkauf angewendet werden, beträchtlich reduziert. Außerdem werden heute in den meisten Ländern die wichtigsten Ausgangsprodukte (Getreide, Trockenfrüchte usw.) regelmäßig und systematisch auf ihren Aflatoxin-Gehalt untersucht. Milch und Fleisch unterliegen ebenfalls strengen Kontrollen.

Dem gegenüber ist das Risiko einer Vergiftung durch Aflatoxine in den weniger entwickelten Teilen der Welt, insbesondere in Afrika und in Asien, höher. Zudem sind auch andere Länder von den in diesen Regionen auftretenden Risiken betroffen, da auch mit «Risikoprodukten» international Handel getrieben wird. Die mit dem Vorkommen von Aflatoxinen und den anderen Mykotoxinen verbundenen Risiken gehen demnach die importierenden und die produzierenden Länder gleichermaßen an. Aus diesem Grund werden importierte «Risikoprodukten» sofort nach ihrem Eintreffen im Zielgebiet kontrolliert.

Zahlreiche Länder haben den zulässigen Aflatoxin-Gehalt in Produkten, die für die Ernährung von Mensch und Tier bestimmt sind, durch Gesetze geregelt. Parallel dazu wurden manchmal Systeme zur Überwachung der Aflatoxin-Aufnahme durch die Bevölkerung eingerichtet, um im Bedarfsfall reagieren zu können. Auch die EU hat zulässige Maximalgrenzen für viele Lebensmittel festgelegt, u. a. für Trocken- und Dörrobst und Getreide, aber auch für Milch- und Milchprodukte.

• Die anderen Mykotoxine

Zurzeit konzentrieren sich die europäischen Projekte auf weniger bekannte, deswegen aber trotzdem häufig in Europa vorkommende Mykotoxine. Es handelt sich dabei um Ochratoxin A, die Fumonisine, Zearalenon (ZEA) und Deoxynivalenol (DON).

- **Ochratoxin A (OTA):** OTA tritt in einigen gemäßigten Regionen (Westeuropa, Kanada, in einigen Gegenden Südamerikas) auf, wo es von *Penicillium verrucosum* gebildet wird, einem Schimmelpilz, der sich häufig während der Lagerung von Getreide entwickelt. Es kommt aber auch in einigen tropischen Regionen vor, wo es von *Aspergillus ochraceus*, einer anderen Pilzart, gebildet wird.

Die drei folgenden Toxine werden von bestimmten *Fusarium*-Stämmen gebildet, die der gleichen Art angehören und sich im wesentlichen auf Getreide entwickeln.

- **Fumonisine:** Hierbei handelt es sich um eine ganze Gruppe von ca. einem fünfzehn Mykotoxinen, die häufig auf Mais auftreten, oft gleichzeitig mit anderen Mykotoxin-Arten. Sie wurden erst spät, d. h. in der Mitte der 80er Jahre, identifiziert, obgleich ihre Wirkungen, insbesondere auf Pferde, seit mehr als 150 Jahren bekannt sind.

Ihre späte Entdeckung erklärt sich u. a. daraus, dass sich die bis dahin bekannten Methoden zur Feststellung und Analyse auf die Erforschung der chemischen Struktur von bereits identifizierten Mykotoxinen konzentrierten. Da die chemische Struktur der Fumonisine erheblich davon abweicht und diese zudem wasserlöslich sind, ist es erklärbar, dass sie mit den üblichen Extraktionsverfahren und Detektoren nicht entdeckt werden konnten.

Die Bedeutung der Fumonisine ist hoch. Zwar sind sie weniger toxisch als zum Beispiel Aflatoxine, kommen dafür aber oft in sehr viel größeren Mengen vor.

- **Zearalenon (ZEA)** wird in den kühlen und feuchten Jahreszeiten während der Wachstums- und Ernteperiode des Getreides von bestimmten *Fusarium*-Arten gebildet.

- **Deoxynivalenol (DON)** gehört zu den 150 Mitgliedern der Gruppe der Trichothezene. Deoxynivalenol bildet sich fast immer vor der Ernte auf den Pflanzen aus. Sein Vorkommen hängt stark von den klimatischen Bedingungen ab und schwankt demnach von Region zu Region sowie von Jahr zu Jahr.

Von Mykotoxinen betroffene Lebensmittel

Toxigene Schimmelpilze entwickeln sich im wesentlichen auf Getreide. Allerdings hat jede Schimmelpilzart und jeder Stamm innerhalb jeder Art ihre bzw. seine spezifischen toxigenen Eigenschaften und entwickelt sich nur auf einem oder mehreren bestimmten Substraten.

Die meisten Mykotoxine sind chemisch stabil und resistent gegenüber Temperaturschwankungen, Lagerungsbedingungen und Verarbeitungsverfahren. Man findet sie also im Allgemeinen in Lebensmitteln wieder, die aus Getreide hergestellt wurden, wie zum Beispiel in Brot und Müsli, und manchmal sogar in Wein oder auch Bier. Jedoch konnte beobachtet werden, dass sich durch bestimmte Herstellungsverfahren der Mykotoxingehalt im Fertigprodukt verringert. Analysen, die begleitend zur Mehlherstellung durchgeführt wurden, hatten zum Beispiel ergeben, dass sich DON, ein bei Getreide vorkommendes Mykotoxin, mehr in den äußeren Schichten der Kleie der Getreidekörner konzentrierte. Aus diesem Grund weist das erzeugte Weißmehl niedrigere DON-Konzentrationen auf als die Getreidekörner.

Allerdings kann sich Mykotoxin produzierender Schimmel auch auf anderen eingelagerten landwirtschaftlichen Produkten entwickeln, wie zum Beispiel auf Kaffee, Kakao, Trocken- und Dörrobst sowie Wein. In der folgenden Tabelle werden die von den wichtigsten Mykotoxinen betroffenen Lebensmittel aufgeführt:

	Die wichtigsten Mykotoxine:			
Infizierte Produkte:	OTA	Fumonisine	ZEA	DON
Getreide:				
Hafer				*
Weizen			*	*
Gerste			*	*
Mais	*	**	*	*
Reis		*	*	*
Roggen				*
Hirse		*		*
Weiße Bohnen		*		
Produktderivate	*	*	*	*
Andere landwirtschaftliche Erzeugnisse:				
Kakao	*			
Kaffee	*			
Bier	*	*	*	*
Wein	*			
Trockenfrüchte	*			
Dörrobst	*		*	
Tierische Erzeugnisse:				
Fleisch			*	
Milch			*	
Eier			*	

Quelle: Website micotoxins.or

Die europäische Gesetzgebung

Auch wenn der **Aflatoxingehalt** in Produkten und Lebensmitteln heute umfassend geregelt ist, trifft das nicht auch diese neuen Mykotoxine zu, die man noch zu wenig kennt. In den meisten Fällen haben die von der öffentlichen Hand bzw. den Gesundheitsbehörden gesetzten Grenzwerte nur hinweisenden Charakter und sind nicht obligatorisch.

Es ist in der Tat unmöglich, ohne gründliche Kenntnisse über diese Mykotoxine und ihre Wirkungen Grenzwerte festzulegen. Dazu wäre es zum Beispiel notwendig zu wissen, ab welchem Schwellenwert ein Mykotoxin die Gesundheit von Mensch und Tier schädigen kann. Weiterhin benötigt man, wenn man möchte, dass die Normen eingehalten werden, effiziente Erfassungs- und Kontrollstrategien. Aus diesem Grund findet jedes Projekt, das zur Erweiterung der Kenntnisse in diesen Bereichen dient, die starke Unterstützung der Kommission.

Untersuchungen der europäischen Bevölkerung haben ergeben, dass 50 % des aufgenommenen OTA auf den Verzehr von Getreide zurückzuführen war. Angesichts dieser Feststellung entwickelt die Kommission derzeit Vorschläge, um den maximalen OTA-Gehalt in Getreide zu reglementieren.

Welche toxischen Wirkungen haben Mykotoxine?

Die Auswirkungen von Mykotoxinen auf die Gesundheit von Mensch und Tier sind vielfältig und manchmal unbekannt, insbesondere beim Menschen aufgrund der Schwierigkeit, Forschungen an menschlichen Testpersonen durchzuführen.

Die Toxizität der Mykotoxine hängt insbesondere vom Charakter des entsprechenden Moleküls, der Häufigkeit der Exposition und der aufgenommenen Menge ab. Allerdings ist anzumerken, dass die Tieren zu Forschungszwecken verabreichten Dosen über den normalerweise in den Lebensmitteln vorkommenden Mengen liegen können. Nachfolgend werden die Wirkungen, die von den wichtigsten Mykotoxinen verursacht wurden, zusammenfassend beschrieben:

- **Ochratoxin A** - Bei allen untersuchten Säugetieren bestätigten sich **Nierenschäden** aufgrund von OTA. Diese Läsionen können schwerwiegend oder auch chronisch sein, je nach Grad der Mykotoxinexposition. Außerdem scheint OTA auf das **Immunsystem** der meisten Säugetiere zu wirken. Allerdings unterliegt diese Toxizität von Art zu Art breiten Schwankungen. Bei einigen Arten wurden durch OTA angeborene Missbildungen festgestellt bzw. eine Beeinflussung der Fortpflanzung. Schließlich kann OTA die genetische Expression stören, allerdings ist noch unklar, wie das Mykotoxin dabei wirkt.

- **Fumonisine** - Fumonisine gelten aufgrund ihrer Wirkungen auf die Lipidsynthese in Nervenzellen bei zahlreichen Tierarten als toxisch. Allerdings ist deren Einfluss auf Säugetiere je nach Art unterschiedlich, so können Verlust des Appetits, des Tonus, Schädigung des Nervensystems und der Lungen sowie Hepatotoxizität auftreten.

Beim Menschen wird in bestimmten Regionen der Welt ein Zusammenhang zwischen dem Verzehr großer Mengen von mit Fumonisinen kontaminiertem Mais und dem Auftreten von **Speiseröhrenkrebs** vermutet. Allerdings sind zur genaueren Bestimmung der Rolle, die diese Toxine bei derartigen Pathologien spielen, gründlichere epidemiologische Studien erforderlich.

Pflanzen reagieren im Allgemeinen empfindlich auf Fumonisine, die eine Schädigung der Zellmembranen und Abschwächung der Chlorophyllsynthese bewirken.

- **Zearalenon** - Dieses Toxin ist ein bekanntes **natürliches Östrogen**, das bei einigen Tierarten und insbesondere beim Schwein hormonelle Störungen verursacht. Seine Wirkungen auf den Menschen sind noch weithin unbekannt. Es wird angenommen, dass es für die Frühpubertät einiger Kindern auf Puerto Rico verantwortlich ist. Mit Untersuchungen zur potenziell krebserregenden Wirkung von ZEA sowie über seinen Einfluss auf die genetische Expression soll ebenfalls die Gefährlichkeit von ZEA für den Menschen abgeschätzt werden.

- **Deoxynivalenol** - Bei Untersuchungen zur toxischen Wirkung von DON stößt man auf eine besondere Schwierigkeit, die darin besteht, dass Ergebnisse im Experiment oft unter Bedingungen ermittelt werden, die von den tatsächlichen abweichen, da unter Realbedingungen gleichzeitig noch andere Trichothezene vorkommen und es Interaktionen zwischen diesen gibt.

Trotz dieser Schwierigkeiten konnten bei Tieren einige Ergebnisse erzielt werden. So führt die Verabreichung hoher Dosen von DON zu Erbrechen, Verweigerung der Nahrungsaufnahme, Gewichtsverlust, Durchfall und Nekrosen (Gewebsuntergang) einiger Gewebsarten, wie zum Beispiel der Magen- und Darmwand, von Knochenmark oder auch Lymphgewebe. Ein geringerer, jedoch regelmäßiger Verzehr scheint ebenfalls Auswirkungen auf die Tiergesundheit zu haben. So wurden im Rahmen von Studien Änderungen der Blutwerte festgestellt, andere Ergebnisse lassen die Möglichkeit von Schädigungen des Immunsystems vermuten. Dem gegenüber gibt es im Augenblick keinen Hinweis darauf, dass DON krebserregend wirken könnte, noch auf genetische Mutationen bzw. Schädigungen der Nieren.

Hinsichtlich der toxischen Wirkungen auf den Menschen liegen derzeit noch keine detaillierten Kenntnisse vor. Jedoch wurde DON aus Gründen der Prävention und aufgrund seiner allgemeinen Giftigkeit vom Wissenschaftlichen Lebensmittelausschuss der Europäischen Kommission als gefährlich erkannt, insbesondere wegen seiner Wirkungen auf das Immunsystem.

Wie entstehen Mykotoxine?

Das gleiche Toxin kann von verschiedenen Pilzarten gebildet werden, jedoch nicht zwingend durch alle Stämme, die der gleichen Art angehören. Auch kann in einigen Fällen die gleiche Pilzart mehrere Mykotoxine bilden.

Schimmel und Toxine entwickeln sich unter bestimmten Bedingungen hinsichtlich Temperatur, Feuchtigkeit und Gasgehalt in der Luft. Diese Bedingungen sind für jeden Stamm spezifisch. Ziel der aktuellen europäischen Forschungen ist eine präzise Definition dieser spezifischen Bedingungen, um Strategien zur Prävention und zur Kontrolle der Entwicklung von Schimmel auf Getreide auf dem Halm bzw. im Lager entwickeln zu können. Darüber müssen die Wissenschaftler dann Industrie und Landwirte informieren, damit diese wissen, wie sie gesunde Ernten gewährleisten können (zum Beispiel durch Einhaltung optimaler Lagerungsbedingungen für ihre Produkte).

So haben europäische Wissenschaftler zum Beispiel kürzlich herausgefunden, dass sich der Pilz *Penicillium verrucosum* als einziger bestätigter Produzent von OTA in Europa in einem sehr feuchten Milieu bei einem CO₂-Gehalt der Luft von weniger als 50 Prozent besonders gut entwickelt.

Auch wenn alle Mykotoxine durch Schimmel gebildet werden und auf die Gesundheit von Mensch und Tier toxisch wirken, ist deswegen ihre Definition durch Bezugnahme auf eine gemeinsame chemische Struktur nicht möglich, was bedeutet, dass sie chemisch sehr unterschiedlich sein können. Nun ist es aber so, dass Funktion und Eigenschaften (Bedingung der Entstehung, Resistenz, Stabilität, toxische Wirkungen usw.) eines Moleküls von seiner chemischen Struktur bestimmt werden. Das erklärt, warum sich zahlreiche, von der Kommission finanzierte Projekte mit der Beschreibung der chemischen und toxischen Eigenschaften von Mykotoxinen beschäftigen. Diese Kenntnisse sind fundamental, da sie die Grundlage für jedwede Strategie des Kampfes gegen Mykotoxine bilden, sowohl für die Forschung hinsichtlich der Prävention als auch für die Untersuchung der Mittel, um einer Ansteckung zu begegnen.

Die verschiedenen Etappen im Kampf gegen die Mykotoxine

• Der Ausbildung von Mykotoxinen vorbeugen

Hierbei handelt es sich zum Beispiel um die rechtzeitige Ermittlung kontaminierter Lagerbestände, um diese Ernten auf einen anderen Verwendungszweck als den der Ernährung umzuorientieren. Da jedoch der Wertverlust der kontaminierten Ernte Einkommensverluste für den Landwirt nach sich zieht, sind infektionsvorbeugende Strategien sowohl für die Gesundheit der Bevölkerung als auch für die Wirtschaftlichkeit der landwirtschaftlichen Betriebe und damit auch für die der produzierenden Länder von offensichtlichem Interesse.

Das gute Verständnis der ökologischen Faktoren, die eine Infektion mit Toxinen, ihr Wachstum und ihre Bildung begünstigen, ist eine unabdingbare Voraussetzung für die Entwicklung von effizienten Strategien zur Reduzierung von Mykotoxinen in der landwirtschaftlichen Produktion.

Dabei wird als Präventionsstrategie im eigentlichen Sinne all das bezeichnet, was dazu beiträgt, die Bildung von Mykotoxinen bei Getreide auf dem Halm (vor der Ernte) bzw. im Lager (nach der Ernte) zu verhindern. Zurzeit werden verschiedene Vorbeugungsstrategien angewendet bzw. untersucht.

Einige der derzeit verwendeten Techniken seien nachfolgend als Beispiel genannt:

Vor der Ernte:

- Der Ernte auf dem Halm sind gute ökologische Bedingungen gewährleisten (ausreichende Bewässerung, Zufuhr von Mineralstoffen usw.). Ökologische Bedingungen, die eine Pilzinfektion begünstigen, sind zu vermeiden.
- Vermeidung des Zurückbleibens vergifteter Pflanzenreste, um das Risiko einer Kontaminierung der nächsten Ernte bzw. anderer Pflanzen zu verhindern.
- Behandlung mit Chemikalien, um dem Auftreten von Schimmel vorzubeugen.

Nach der Ernte:

- Häufige Reinigung der Vertriebssysteme für Futtermittel und der Lager.
- Gewährleistung geeigneter Lagerbedingungen hinsichtlich Temperatur und Feuchtigkeit.
- Behandlung mit fungiziden Chemikalien (zum Beispiel mit Propion- und Essigsäure).

Die europäische Forschung

Um einer Kontaminierung vor der Ernte vorzubeugen, konzentrieren sich die derzeitigen Forschungen stark auf alles, was sich auf die potenzielle Fähigkeit der Pflanze bezieht, dem Wirken der Mykotoxine selbst etwas entgegenzusetzen. Zu diesen neuen Strategien, die derzeit untersucht werden, gehören:

- **die genetische Selektion**, die darauf abzielt, die Resistenz der Pflanzen gegenüber einer Schimmelpilzinfektion und Toxinproduktion zu erhöhen;
- die Konzipierung und Produktion *transgener Pflanzen*, die in der Lage sind, einer Schimmelpilzinfektion zu widerstehen, diese zu begrenzen oder die Toxinproduktion einzuschränken;
- die Entwicklung von Saatgut, das *endophyte Bakterien* enthält, die in der Lage sind, toxische Pilze auszuschließen;
- die vorsorgliche Infizierung von Pflanzen mit nicht-toxischen Schimmelpilzstämmen, die toxische Stämme eine Konkurrenz darstellen, da diese bereits deren Platz auf dem Getreide besetzen. Diese Strategie wird auch als **«biologische Bekämpfung»** bezeichnet.

Diese Arbeiten, die im Rahmen von EU-finanzierten Projekten zur Erforschung von Mitteln zur Kontrolle des Pilzwachstums durchgeführt wurden, haben ermutigende Ergebnisse gezeitigt. Allerdings steht eine Validierung dieser Ergebnisse, die im Gewächshaus bzw. auf Versuchsfeldern gewonnen wurden, durch Feldversuche unter Realbedingungen noch aus. Weiterhin laufen Forschungen bezüglich der Kontrolle der Bildung von Mykotoxinen.

Eine andere wichtige Achse der europäischen Forschung ist die Bestimmung von Mitteln zur Kontrolle des Wachstums toxischer Pilze und ihrer Toxine **nach der Ernte**. Die Anwendung verschiedener Antioxidantien, ätherischer Öle, von Mikrobenextrakten und bestimmter Milchsäurebakterien hat ermutigende Ergebnisse gezeitigt.

Das besondere Problem der biologischen Landwirtschaft

Per Definition dürfen biologische Produkte nicht mit chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln behandelt werden. Das einzige Mittel, um eine umfassende Kontaminierung biologischer Produkte zu vermeiden, besteht darin, die Ausbildung von Mykotoxinen zu verhindern. Das

Problem der Weiterverbreitung von Schimmeln und des Vorhandenseins von Mykotoxinen stellt sich hier also in besonderer Schärfe.

Die europäische Forschung orientiert sich auf ein besseres Verständnis der Bedingungen, unter denen sich Mykotoxine innerhalb der Nahrungsmittelkette bilden, und auf die Entwicklung von Kontrollsystemen zur Vermeidung bzw. ggf. Feststellung des Auftretens von Mykotoxinen in den Produkten. Diese Kontrollsysteme müssen sehr effizient sein, da die biologische Landwirtschaft keinerlei Rückgriff auf eine Behandlung erlaubt, etwa um eine eventuelle, auf unglückliche Umstände zurückzuführende Kontaminierung wieder «wettzumachen».

- **Das Vorhandensein von Mykotoxinen in einer Ernte feststellen**

Da Mykotoxine relativ resistente Moleküle sind, ist es derzeit noch sehr schwierig, eine erheblich infizierte Ernte zu dekontaminieren. Die Feststellung kontaminierter Lagerposten mit dem Ziel, diese aus der Nahrungsmittelkette zu entfernen, stellt im Augenblick die beste Lösung dar, um Lebensmittelsicherheit zu garantieren. Demzufolge ist es von grundlegender Bedeutung, dass die Lebensmittelindustrie über wirksame Kontrollmittel verfügt, die jeder Etappe der Produktion angepasst sind.

Die Feststellung einer Mykotoxin-Kontaminierung in einem Getreidelager stößt auf eine grundlegende Schwierigkeit: Das Lager ist nicht überall gleichmäßig kontaminiert, ganz im Gegenteil, denn der Schimmel bildet sich «nestförmig» aus. Aus diesem Grund suchen die Wissenschaftler nach Methoden, die es ermöglichen, für Analysezwecke **Proben** zu entnehmen, die so **repräsentativ** wie möglich für die gesamte Ernte sind.

Um eine Vorstellung von der Schwierigkeit zu vermitteln, die bereits die Feststellung von Mykotoxinen bereitet, muss man wissen, dass allein das Vorhandensein des mykotoxinbildenden Pilzes noch nicht bedeutet, dass auch sein Mykotoxin vorhanden ist. In der Tat sind die Bedingungen, unter denen Schimmel ihre Mykotoxine bilden, sehr spezifisch. Umgekehrt ist es aber auch so, dass die Abwesenheit von Schimmel nicht bedeutet, dass auch keine Mykotoxine vorhanden sind, da sich diese auch dann auf dem Produkt halten können, wenn der produzierende Schimmel schon lange verschwunden ist.

Zurzeit werden häufig angewendete Nachweistechiken (molekular und immunologisch) hinsichtlich ihrer Eignung für den Mykotoxinnachweis geprüft. Diese Techniken beruhen auf so genannten «Markermolekülen», die leicht nachweisbar sind, weil sie zum Beispiel eingefärbt wurden. Diese Marker verbinden sich mit den Mykotoxinmolekülen. Da aber jede Mykotoxinart ihre besondere Struktur und demnach auch eine spezifische Konfiguration hat, müssen auch jeweils spezifische Marker gefunden werden. Wenn die verwendeten Marker Antikörper sind, wird diese Technik als «immunologisch» bezeichnet. Weiterhin müssen die Nachweistechiken schnell, effektiv und kostengünstig sein, damit sie von den Landwirten und der Lebensmittelindustrie vor Ort anwendbar sind. Die Wissenschaftler hoffen, in Kürze «Nachweiskits» anbieten zu können, die überall dort eingesetzt werden können, wo Bedarf besteht.

- **Kontaminierte Ernten entgiften**

Trotz Durchführung präventiver Maßnahmen lässt es sich manchmal nicht vermeiden, dass Ernten kontaminiert werden. Es ist jedoch möglich, infizierte Produkte durch Dekontaminierung zurückzugewinnen. Manchmal spricht man auch von «Entgiftung». Die Entgiftung besteht darin, die toxischen Wirkungen von Mykotoxinen zu unterdrücken, zu zerstören oder zu reduzieren. Die am häufigste zu diesem Zweck angewendete Technik besteht heute darin, Getreide nach der Ernte zu behandeln. Allerdings sind Mykotoxine widerstandsfähige Moleküle und folglich besonders schwierig abzubauen.

Die Klassifizierung der Entgiftungsstrategien erfolgt traditionell gemäß den Verfahren – chemisch, physikalisch oder mikrobiologisch -, auf denen sie basieren.

Zu den als «**chemisch**» bezeichneten Methoden gehören alle chemischen Behandlungen, die darauf abzielen, die Mykotoxine zu zerstören bzw. zu deaktivieren. Allerdings haben die Wissenschaftler gegenüber bestimmten Behandlungsmethoden, zum Beispiel mit Ammoniak, immer mehr Vorbehalte entwickelt, da diese, obwohl sie gut gegen Mykotoxine wirken, selbst eine potenzielle Gefährdung für die Gesundheit darstellen.

Zu den als «**physikalisch**» bezeichneten Methoden gehören die Reinigung und der Abbau der mykotoxinhaltigen Substanzen durch Temperatur, Sonne oder auch Mikrowellen. Das Ziel dieser Methoden besteht darin, die

chemische Struktur der Toxine zu verändern, da es diese Struktur ist, die die Toxizität des Moleküls begründet.

Neue Methoden, die derzeit im Rahmen europäischer Projekte untersucht werden, haben sich als vielversprechend erwiesen. So wäre beispielsweise aufzuführen, dass es den Wissenschaftlern gelungen ist, Moleküle mit einer chemischen Affinität gegenüber einer bestimmten Kategorie von Mykotoxinen zu identifizieren. Diese ausgewählten Moleküle verbinden sich innerhalb der Produkte, die für die Ernährung von Mensch und Tier vorgesehen sind, mit den Mykotoxinen, was eine Abschwächung ihrer toxischen Wirkung zur Folge hat. Mit dieser Methode, die an Aflatoxinen getestet wurde, wird die Konzentration von Mykotoxinen im Blut und ihre Weiterleitung zu den Zielorganen vermindert. Zu den Schwierigkeiten der Methode gehört, kein Molekül zu wählen, das die Toxizität der Mykotoxine verstärkt, was bei bestimmten Silikaten festgestellt wurde.

Die «**mikrobiologischen**» Methoden. Europäische Wissenschaftler haben das mykotoxinabbauende Potenzial zahlreicher Bakterien- und Hefestämme, also mikroskopisch kleiner, lebender Organismen, getestet. Da die Ergebnisse nicht sehr ermutigend waren, ist es nach Ansicht der Wissenschaftler nicht sehr sinnvoll, in dieser Richtung weiterzuforschen.

Methoden, die auf eine Reduzierung der Toxizität von Mykotoxinen **nach ihrer Absorption** durch den Organismus abzielen, gehören ebenfalls zu den Entgiftungsstrategien. Zurzeit versucht die europäische Forschung, Substanzen zu finden (Vitamine, Proteine, Enzyme, Nahrungsmittelfette, Antioxidanzien usw.), die, wenn sie potenziell kontaminierten Lebensmitteln zugesetzt werden, deren Toxizität reduzieren. Diese «Lebensmittelzusätze» entfalten ihre Wirkung, indem sie sich mit den Mykotoxinmolekülen verbinden und somit deren Bioverfügbarkeit reduzieren.

Schließlich zielen die derzeit auf dem Gebiet der Entgiftung aktuellen Projekte auf eine Neuuntersuchung aller verfügbaren Techniken ab, um deren tatsächliche Wirksamkeit zu messen. Denn es ist in der Tat so, dass Methoden, die im Laborexperiment oder auf dem Versuchsfeld wirksam erschienen, unter Realbedingungen versagen.

Für eine strategische und globale Herangehensweise im Kampf gegen die Mykotoxine: die Anwendung der HACCP-Methode (Hazard Analysis Critical Control Point)

Die HACCP-Methode ist in der Landwirtschaft und im Ernährungssektor bekannt, dort gut eingeführt und dient dem Ziel einer risikolosen Lebensmittelproduktion. Allerdings wird sie in den ersten Etappen der landwirtschaftlichen Produktion noch wenig angewendet. Da die Effektivität von HACCP nachgewiesen wurde, unterstützt die Europäische Kommission Projekte, die eine Anwendung dieser Kontrollmethode auf das Problem der Mykotoxine zum Ziel haben.

HACCP (Hazard Analysis Critical Control Point) ist ein logischer Plan, der alle Kontrollen erfasst, die durchzuführen sind, um Problemen der Lebensmittelsicherheit vorzubeugen. Dieser Plan wird dem jeweiligen Risiko, das man vermeiden möchte, speziell angepasst. Er legt regelmäßige und systematische Kontrollen für die ganze Lebensmittel-Produktionskette fest. Weiterhin sieht er korrektive Maßnahmen vor, die zu ergreifen sind, wenn aufgrund einer Kontrolle ein Risiko festgestellt wurde oder wenn eine Kontrolle fehlerhaft verlief. HACCP ist also vor allem Risikovorwegnahme.

Zu den Voraussetzungen einer Anpassung der HACCP-Methode an das zu vermeidende Risiko gehört die gründliche Kenntnis der Eigenschaften der zu kontrollierenden Produkte sowie der verschiedenen industriellen Verfahren, denen diese unterworfen sind.

HACCP zielt darauf ab, drei Risikotypen vorzubeugen: biologischen Risiken (zum Beispiel dem Vorhandensein pathogener Mikroorganismen), chemischen Risiken (Vorhandensein von Pestizidrückständen im Produkt) und physikalischen Risiken (Vorhandensein von Stoffen im Produkt, die sich dort nicht befinden dürften: Glas- oder Metallteile usw.).

Die HACCP-Methode beruht auf sieben Prinzipien:

1. **Durchführung einer Risikoanalyse:** Erstellung einer Liste der verschiedenen Stadien des Produkt-Herstellungsprozesses, in denen signifikante Risiken auftreten können, und Beschreibung adäquater Maßnahmen zu deren Vorbeugung.

2. **Festlegung der kritischen Kontrollpunkte (PCC):** Kritische Kontrollpunkte sind Momente im Produktionsprozess, bei denen das Fehlen von Überwachung zu einem Gesundheitsrisiko führen kann.
3. **Begründung kritischer Grenzwerte:** Kritische Grenzwerte sind quantitative Parameter, die messbar und jedem PCC zuordenbar sind. Im Fall der Mykotoxine geht es sich zum Beispiel darum, Limits für eine sichere Lagerung von Getreide zu definieren, zum Beispiel hinsichtlich Temperatur und Feuchtigkeitsgehalt. Die ermittelten Parameter enthalten immer eine Sicherheitsmarge.
4. **Entwicklung PCC-tauglicher Kontrollverfahren:** Kontrollen müssen genau und schnell sein, insbesondere innerhalb der Getreideversorgungskette, die im Allgemeinen auf dem Prinzip der «kleinen Lose» basiert. Aufgrund dieser zeitlichen Anforderungen ist es hier im Moment unmöglich, den Mykotoxingehalt zu kontrollieren: Diese Analysen müssen, bis einfache und schnell in der Praxis anwendbare Diagnosekits zur Verfügung stehen, noch im Labor durchgeführt werden und sind im Verhältnis zum Timing der Produktionskette zu zeitaufwändig.
5. **Einplanung korrekativer Maßnahmen:** Jedem PCC sind korrektive Maßnahmen für den Fall beizuzuordnen, dass durch die Kontrollen ein Risiko festgestellt wurde. So müssen zum Beispiel bei einem Funktionsausfall der Instrumente zur Kontrolle von Temperatur oder auch Luftfeuchtigkeit in den Getreidelagern Maßnahmen geplant sein, mit denen negative Konsequenzen derartiger Störfälle vermieden werden können (Reparatur, Ersatzgerät usw.), und die suspekten Produkte müssen isoliert werden, bis Analysen zum Ausschluss einer eventuellen mykotoxischen Kontamination durchgeführt wurden. Auch hier würde es sich als sehr nützlich erweisen, wenn der Industrie Schnelldiagnosekits zur Verfügung stehen würden.
6. **Entwicklung von Verifizierungsverfahren:** In Ergänzung zum HACCP-Plan sind weitere Prüfungen notwendig, die gewährleisten sollen, dass die geeigneten Kontrollen durchgeführt werden. Auch in dieser Phase ist ein Rückgriff auf die Mykotoxinanalyse notwendig. Wird ein Mykotoxingehalt festgestellt, der über dem zulässigen Grenzwert liegt, sind Sofortmaßnahmen einzuleiten, mit denen festgestellt werden kann, wo die Kontrolle versagt hat. Das kann zur Festlegung anderer PCCs bzw. zu einer Änderung der kritischen Limits für die vorhandenen PCCs führen.
7. **Erstellung einer Dokumentation und Berichterstattung (record keeping):** Für den Erfolg eines HACCP-Plans ist eine vollständige Dokumentation zum Thema mit allen Informationen über die Mykotoxine, ihre Risiken, die Bedingungen ihrer Bildung usw. unabdingbar. Informationen über Kontrollverfahren und korrektive Maßnahmen müssen detailliert und für das Personal vor Ort, das für diese Kontrollen zuständig ist, klar und leicht verständlich verfasst sein.

Für eine leistungsfähige europäische Forschung in engem Kontakt und im Dienst der Marktteilnehmer und der europäischen Verbraucher

Forschungen auf dem Gebiet der Mykotoxine dienen dem allgemeinen Ziel einer gesunden, nachhaltigen und wettbewerbsfähigen europäischen Landwirtschaft. Diese Fragen betreffen nicht nur Wissenschaftler. Das hat die Kommission dazu angeregt, dem Technologie- und wissenschaftlichen Kenntnistransfer hin zu den Marktteilnehmern besonderes Augenmerk zu widmen. Weiterhin ist die adäquate Information der Konsumenten und Verantwortlichen zu stärken, da diese ebenfalls wichtige Teilnehmer der europäischen Wirtschaft sind.

Die Information der Verbraucher

Zu den ständigen Anliegen der Europäischen Kommission gehört die Verbesserung der Information der Verbraucher. Demzufolge sind Risiken, die von Mykotoxinen ausgehen können, als auch vorhandene Mittel zu deren Prävention, breiten Schichten bekannt zu machen. Dies kann jedoch nur im Rahmen einer Partnerschaft mit den Verbraucherverbänden und unter der Beteiligung aller Akteure, die zur Kette Landwirtschaft-Ernährungssektor gehören, von der Produktion bis zum Vertrieb, auf effektive Weise geschehen.

Die Rolle der Marktteilnehmer

Zur besseren Kontrolle der Produktion und Gewährleistung einer höheren Produktsicherheit ist es von fundamentaler Wichtigkeit, der Lebensmittelindustrie neue Kenntnisse über Vorkommen, Analyse und Kontrolle von Mykotoxinen zu vermitteln.

Um die Marktteilnehmer in die Lage zu versetzen, sich laufend und vollständig über Mykotoxine zu informieren, unterstützt die Kommission die Einrichtung eines multidisziplinären europäischen Netzwerks, in dem Wissenschaftler verschiedener Fachrichtungen zusammengeführt werden. Diese Wissenschaftler haben den Auftrag, eine Website mit Informationen zu speisen, die jedweder am Thema interessierten Person offen steht (www.mycotoxins.org). Die Information der Teilnehmer zielt ebenfalls darauf ab, dass sich diese über die Notwendigkeit einer Einführung adäquater

Überwachungssysteme bewusst werden. Schließlich kann jede Einzelperson bzw. jede interessierte Einrichtung über die Website von seinem bzw. ihrem nationalen Kontakt Informationen abrufen bzw. direkt mit den Wissenschaftlerteams kommunizieren, die an den sie interessierenden Themen arbeiten. Diese Website ist also ebenfalls ein Ort des Dialogs, wo sich die Wissenschaftler über die Bedürfnisse der Marktteilnehmer und die Probleme, mit denen diese konfrontiert sind, informieren können.

Schließlich unterstützt die Kommission Maßnahmen zur Abstimmung der europäischen Forschung. In diesem Sinne ist **COST Action 835** ein Programm zu ihrer institutionellen Abstimmung. Diese Abstimmung soll u. a. eine kohärentere Forschung gewährleisten, bei der Vermeidung von Redundanzen helfen und einen schnelleren Forschungsfortschritt durch Austausch der erzielten Ergebnisse zwischen den Wissenschaftlerteams fördern. Die institutionelle Dimension zielt darauf ab, der bestehenden Koordinierung über das ursprüngliche Programm hinaus Nachhaltigkeit zu garantieren.

Die Rolle der öffentlichen Akteure

Da es zurzeit noch unmöglich ist, alle Mykotoxine aus Lebensmitteln zu entfernen, ist zu garantieren, dass die von ihnen ausgehenden Risiken auf ein akzeptables Niveau abgesenkt werden. Hier sind die Fachleute in Landwirtschaft und Lebensmittelindustrie gefordert, die das Risikoniveau so gering wie möglich zu halten haben, d. h. einen Gehalt an Mykotoxinen in den Produkten gewährleisten müssen, der so niedrig wie möglich ist und innerhalb der Grenzen liegt, die technologisch und praktisch machbar sind. Im Gegenzug dazu sind nur Einrichtungen der öffentlichen Hand berechtigt, realistische Grenzwerte hinsichtlich eines hinnehmbaren Mykotoxingehalts in den Produkten festzulegen und einzufordern. Dieses hat selbstverständlich auf der Grundlage von Analysen zu geschehen, die ihnen die Wissenschaftler liefern. Aus diesem Grund unterstützt die Kommission Initiativen, die die wissenschaftliche Information der Regierenden erleichtert.

Danksagung

Der Autor bedankt sich bei Herrn Dr. Pierre Galtier (INRA – Toulouse) für die freundliche Durchsicht des Manuskripts sowie bei der Europäischen Kommission für die Projektfinanzierung (Nr. QLK1-2000-00040) im Rahmen des Programms *5th Framework Programme under the Quality of Life and Management of Living Resources, Key Action 1*.



Referenzliste der EU-finanzierten Projekte:

FAIR – CT96 - 1120

MOULDETECT

Projektkoordinator: Dr. Marian Kane

Immunodiagnosics, National Diagnostics Centre,

National University of Ireland, Galway, Ireland

Tel: 00 353 91 586559

Fax: 00 353 91 586570

Email: marian.kane@ucg.ie

QLK1 – 1999- 00986

Safe organic vegetables and vegetable products by reducing risk factors and sources of fungal contaminants throughout the production chain: the carrot – *Alternaria* model:

WWW.seedcentre.nl

Projektkoordinator: Dr. R. W. van den Bulk

Plant research international BV

Droevendaalsesteeg 1 - P.O. Box 16

6700 AA Wageningen, The Netherlands

Tel: +31 317 476958

Fax: +31 317 418094

Email: R.W.vandenbulk@plant.wag-ur.nl

Prevention Cluster : Hazard analysis and control of food contaminants:

QLK1- CT- 1999-00433

Prevention of Ochratoxine A in Cereals

Monica Olsen (Koordinatorin)

E-mail: mool@slv.se

National Food Administration, Sweden

QLK1- CT- 1999- 00996

Prevention of Fusarium Mycotoxins entering the human and animal food chain

Koordinator: Naresh Magan

Cranfield University, United Kingdom

Email: N.Magan@Cranfield.ac.uk

QLK1- CT- 1999- 001380

Detection of toxigenic fungi

Koordinator: Dr. Giuseppina Mulè

CNR, Bari.

E-mail g.mule@area.area.ba.cnr.it

QLKI-CT-2000-01248

European Mycotoxin Awareness Network (EMAN) :

www.mycotoxins.org

Projektkoordinatorer: A. Chrevatidis, A.Eggington, M. Piacentini,

P. Wilson and P. Patel

Leatherhead Food Research Association,

Randalls Road, Leatherhead, Surrey KT22 7RY, UK

Tel: +44 (0)1372 822324

Fax: +44 (0)1372 822229

E-mail: eman@lfra.co.uk ou achrevatidis@lfra.co.uk