



April 2009

# Diskussionspapiere

Discussion Papers

## Verbraucherschutz vor dem Schimmelpilzgift Deoxynivalenol in Getreideprodukten

### Aktuelle Situation und Verbesserungsmöglichkeiten

Katharina Raupach und Rainer Marggraf

**FAEN**

Forschungsverbund  
Agrar- und Ernährungswissenschaften  
Niedersachsen

Gefördert durch



Das Niedersächsische  
Ministerium für  
Wissenschaft und Kultur

Department für Agrarökonomie und RURALE ENTWICKLUNG  
Universität Göttingen  
D 37073 Göttingen  
ISSN 1865-2697

Nr. 0904

*Kontaktadressen:*

Dipl.-Ing. agr. Katharina Raupach  
Abteilung Umwelt- und Ressourcenökonomik  
Department für Agrarökonomie und RURale Entwicklung  
Georg-August-Universität Göttingen  
Platz der Göttinger Sieben 5  
D-37073 Göttingen  
E-Mail: [kraupac@uni-goettingen.de](mailto:kraupac@uni-goettingen.de)  
Tel.: +49 (0)551 - 39 4814  
Fax: +49 (0)551 - 39 4812

Prof. Dr. Rainer Marggraf  
Abteilung Umwelt- und Ressourcenökonomik  
Department für Agrarökonomie und RURale Entwicklung  
Georg-August-Universität Göttingen  
Platz der Göttinger Sieben 5  
D-37073 Göttingen  
E-Mail: [rmarggr@uni-goettingen.de](mailto:rmarggr@uni-goettingen.de)  
Tel.: +49 (0)551 - 39 4829  
Fax: +49 (0)551 - 39 4812

## **Danksagung**

Die Arbeit ist entstanden im Rahmen des dritten Forschungsverbundes Agrar- und Ernährungswissenschaften Niedersachsen (FAEN): „Qualitätsgerechte Pflanzenproduktion unter veränderten Rahmenbedingungen: Mykotoxine im Kontext von Produktion, Qualität und Verarbeitung“. Wir danken dem Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur für die finanzielle Förderung des Forschungsvorhabens.

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis .....	III
Abbildungsverzeichnis .....	III
Tabellenverzeichnis .....	III
Zusammenfassung .....	1
1 Einleitung .....	1
2 Risikoanalyse und Möglichkeiten des staatlichen Risikomanagements .....	2
2.1 Risikoanalyse .....	2
2.2 Risikomanagement .....	4
3 Gesetzliche Rahmenbedingungen hinsichtlich Mykotoxinen .....	7
4 Das <i>Fusarium</i> -Mykotoxin DON .....	7
5 TDI-Wert .....	8
5.1 Allgemein .....	8
5.2 Der TDI-Wert für DON .....	8
5.3 Vergleich verschiedener TDI-Werte für DON und Bewertung .....	9
5.4 Wohlfahrtsökonomische Beurteilung .....	10
6 Höchstgehalte .....	12
6.1 Allgemein .....	12
6.2 Zulässige Höchstgehalte für das Mykotoxin DON .....	13
6.3 Beurteilung der Auswahl der Lebensmittel .....	14
6.4 Entwicklung der in Deutschland geltenden Höchstgehalte für DON .....	15
6.5 DON-Aufnahmeraten (Beispielrechnung) .....	15
6.6 Bewertung der DON-Höchstgehalte .....	17
6.7 Überschreitungen des TDI .....	20
7 Zukünftige Entwicklung der Mykotoxinproblematik .....	22
7.1 Anbaubedingungen .....	22
7.2 Klimawandel .....	23
8 Wohlfahrtsökonomische Konsequenzen .....	24
9 Möglichkeiten der Mykotoxinreduzierung .....	25
9.1 Anbautechnische Möglichkeiten .....	25
9.2 Alternative Nutzung belasteter Partien .....	27
9.3 Dekontamination .....	27
10 Zusammenfassung der Ausgangssituation für die Verbesserung des Risikomanagements .....	28
11 Alternative Ansätze im Risikomanagement .....	30
12 Verbraucherinformation als Handlungsoption .....	32
12.1 Schaffung einer Informationsplattform .....	32
12.2 Marktsegmentierung .....	34
13 Abschließende Bemerkungen .....	35
Literatur .....	36

## Abkürzungsverzeichnis

<b>Abkürzung</b>	<b>Bedeutung</b>
ALARA	as low as reasonably achievable
BfR	Bundesinstitut für Risikoabschätzung
bw	Body weight (Körpergewicht)
DI	daily intake
DON	Deoxynivalenol
EV	Entschädigungsforderungen der Verbraucher
MHmVO	Mykotoxin-Höchstmengenverordnung
NOAEL	No Observed Adverse Effect Level
NOEL	No Observed Effect Level
NVS	Nationale Verzehrs Studie
PMTDI	provisional maximum tolerable daily intake
SCF	Scientific Committee on Food
TDI-Wert	tolerable daily intake - Wert
t-TDI-Wert	temporary Tolerable Daily Intake - Wert
UF	Unsicherheitsfaktor
VELS-Studie	Verzehrsstudie zur Ermittlung der Lebensmittelaufnahme von Säuglingen und Kleinkindern für die Abschätzung eines akuten Toxizitätsrisikos durch Rückstände von Pflanzenschutzmitteln
VO	Verordnung

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Risikoanalyse .....	4
Abbildung 2 Beispiele alloktionseffizienter TDI-Werte .....	11
Abbildung 3 Weltweit gültige Grenzwerte für Deoxynivalenol in Weizen (Mehl) und anderem Getreide .....	14
Abbildung 4 DON-Gehalt von Getreide und DON-Aufnahme des durchschnittlichen Kleinkindes (2-4 Jahre) mit dem Getreidekonsum .....	16
Abbildung 5 Negative Allokationseffekte aufgrund der Zunahme der Mykotoxinbelastung..	24
Abbildung 6 Preisanstieg und Wohlfahrtsverluste aufgrund höherer Produktionskosten. ....	34

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Beispiele staatlicher Interventionen zur Verbesserung der Lebensmittelsicherheit...	6
Tabelle 2 Beispiele für zulässige Höchstgehalte für das Mykotoxin DON .....	13
Tabelle 3 Alternative Lösungsansätze zur Regulierung der Lebensmittelsicherheit .....	30

# Zusammenfassung

Dieses Diskussionspapier beschäftigt sich mit der Problematik des Mykotoxins Deoxynivalenol (DON) im Getreide und Möglichkeiten des Managements der daraus entstehenden Risiken. DON in Getreide stellt in hiesigen Breiten derzeit kein akutes Gesundheitsrisiko dar. Gleichwohl können die gesetzlichen Regelungen als unbefriedigend angesehen werden, da sie den Verbraucher nicht adäquat vor chronischen Effekten schützen. Die zulässigen Höchstgehalte (Grenzwerte) lassen DON-Gehalte zu, die zu einer Überschreitung der langfristig toxikologisch unbedenklichen Maße führen können. Derzeit liegt die Aufnahme durch die Mehrzahl der Konsumenten unter diesem Maß, da die tatsächlichen Mykotoxingehalte häufig unter den zulässigen liegen. Durch den zu erwartenden Anstieg der Mykotoxinproblematik, aufgrund des Klimawandels und starken Wettbewerbsdrucks in der Landwirtschaft, ändert sich die Situation. Der Verzehr von Getreideprodukten kann dann zu nennenswerten gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen, verbunden mit negativen Wohlfahrtseffekten. Es kann gezeigt werden, dass sich diese Probleme durch eine adäquate Verbraucheraufklärung verbessern lassen.

## 1 Einleitung

Mykotoxine (Schimmelpilzgifte) werden im Rahmen des Sekundärstoffwechsels bestimmter Feld- und Lagerpilze produziert und wirken bereits in geringer Konzentration toxisch auf Menschen und Tiere. Die völlige Vermeidung einer Mykotoxinkontamination ist nicht möglich (WU, 2006). Der Konsum von Nahrungsmitteln, die mit Mykotoxinen belastet sind, stellt für den Verbraucher ein gesundheitliches Risiko dar. Die Auswirkungen von Mykotoxinen auf die menschliche Gesundheit können sowohl akut als auch chronisch sein. Das Risiko einer akuten Vergiftung durch die bisher bekannten Mykotoxine ist in hiesigen Breiten aktuell als gering einzustufen. Ein besonderer Fokus des Interesses liegt daher auf den chronischen Auswirkungen der langfristigen Aufnahme mit geringen Mykotoxin-Gehalten belasteter Nahrungsmittel (KUIPER-GOODMAN, 2004). Generell sprechen Experten Mykotoxinen im Vergleich zu anderen Lebensmittelrisiken ein eher hohes chronisches Gesundheitsrisiko zu (KUIPER-GOODMAN, 2004).

In Deutschland sind *Fusarium*-Arten die häufigsten Mykotoxinproduzenten im Getreidebau (VERREET & AUMANN, 2002; OERKE ET AL., 2001). BÜTTNER (2006) gibt an, dass Ährenfusariosen durch ihre starke Zunahme mittlerweile das größte Problem weltweit für den Winterweizenanbau darstellen. Der Befall durch die verschiedenen Erreger der Pilzgattung *Fusarium* erfolgt auf dem Feld und betrifft sämtliche Getreidearten, insbesondere Weizen.

Außer dem Vorhandensein des Inokulums (infektiösen Materials eines Erregers) hat bei *Fusarium* die Witterung einen entscheidenden Einfluss auf die Stärke des Infektionspotentials für die Pflanze. Derzeit gelten laut BARTELS und RODEMANN (2003) Witterungsbedingungen mit Temperaturen über 18 - 19°C und tägliche Niederschläge von mehr als fünf Millimeter Regen zum Zeitpunkt der Blüte des Weizens als besonders förderlich für eine Infektion. Ein *Fusarium*-Befall ist besonders gravierend, da er sowohl Ertragsverluste als auch Qualitätsverluste bis hin zur Unbrauchbarkeit des Erntegutes für die menschliche Ernährung verursachen kann (BÜTTNER, 2006). SHEPARD (2006) führt bei einer Aufzählung der fünf landwirtschaftlich wichtigsten Mykotoxine drei Fusarientoxine mit auf, darunter auch Deoxynivalenol (DON), das als *Fusarium*-Leit toxin gilt und mit dessen Problematik sich dieses Diskussionspapier befasst.

Im Folgenden erläutern wir zunächst allgemein, durch welche Maßnahmen sich die Lebensmittelsicherheit verbessern lässt. Dann gehen wir speziell auf DON und das hiermit verbundene Gesundheitsrisiko ein. Anschließend analysieren wir die aktuelle Situation der gesetzlichen Regulierung bei DON und stellen die besondere Problematik dar. Danach werden Möglichkeiten der zukünftigen Entwicklung der Mykotoxinproblematik betrachtet und wohlfahrtsökonomisch bewertet. Mögliche Handlungsoptionen sowie eine abschließende Bewertung folgen.

## **2 Risikoanalyse und Möglichkeiten des staatlichen Risikomanagements**

Es gibt eine Vielzahl von gesundheitlichen Risiken, die von Lebensmitteln ausgehen können, die wiederum verschiedene Ursachen haben können. Eine Ursache können unerwünschte Substanzen, die in Lebensmitteln vorkommen, sein. Dazu zählen u.a. die Kontaminanten, von denen die Mykotoxine eine Untergruppe sind.

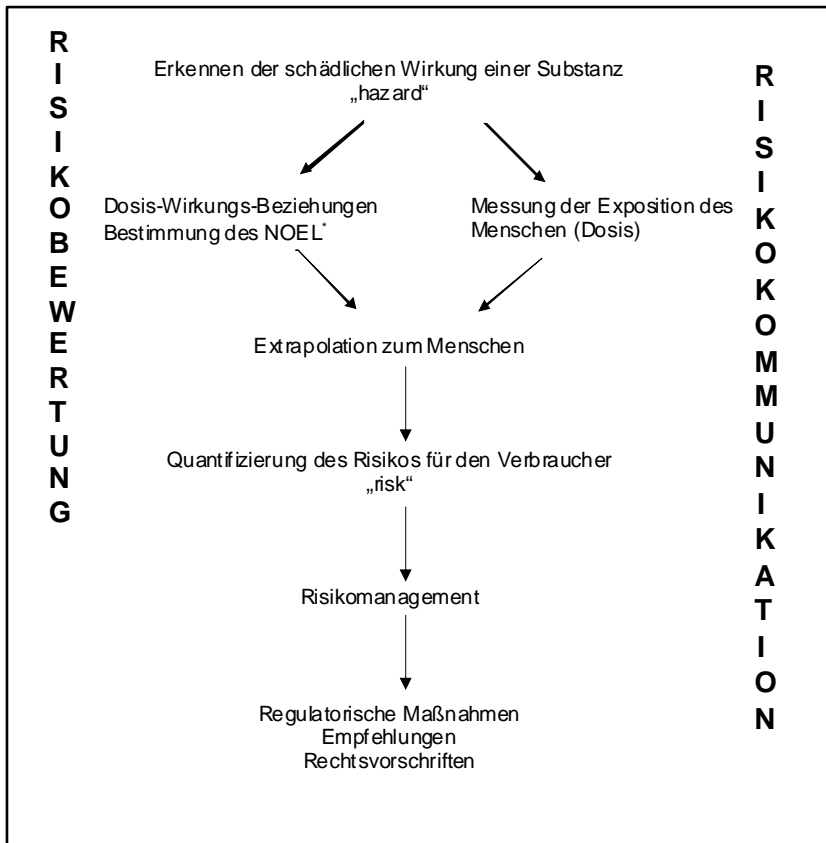
### **2.1 Risikoanalyse**

Generell gilt sowohl in der EU als auch international der Grundsatz der gesundheitlichen Unbedenklichkeit von Lebensmitteln. Für die Gehalte von Kontaminanten in Lebensmitteln ist festgelegt, dass diese so gering wie möglich sein sollen (ALARA: „as low as reasonably achievable“, vgl. Verordnung (EWG) Nr. 315/93, Artikel 2, Codex General Standard for Contaminants and Toxins in Food (CGSCT, Codex Stan 193-1995), siehe SCHNEIDER ET AL., 2004).

Allgemein ist der Umgang mit toxischen Stoffen in Lebensmitteln für die EU in der sogenannten EU-Basisverordnung zum Lebensmittelrecht (VO (EG) Nr. 178/2002) geregelt.

Zur Erreichung eines hohen Maßes an gesundheitlichem Verbraucherschutz ist festgelegt, dass - soweit möglich - bei dem Vorliegen einer Gefahr (z.B. eines Agens in einem Lebensmittel, wie es ein Kontaminant, d.h. ein Mykotoxin darstellen kann), eine Risikoanalyse durchzuführen ist (vgl. hierzu Abb. 1). Diese setzt sich aus den Einzelschritten Risikobewertung, -management und -kommunikation zusammen. Risiko ist laut Definition in der VO (EG) Nr. 178/2002 als Wahrscheinlichkeit und Schwere einer Gesundheitsgefährdung durch eine Gefahr zu verstehen. Ist eine „Gefahr“ identifiziert, findet zunächst eine Risikobewertung statt, die sich aus den Teilbereichen: Gefahrenidentifizierung, Gefahrenbeschreibung, Expositionsabschätzung und Risikobeschreibung zusammensetzt (VO (EG) Nr. 178/2002). Die Risikobewertung wird im Deutschen auch teilweise als Risikoabschätzung bezeichnet, was vermutlich mit der nicht eindeutigen Übersetzbarkeit des englischen „risk assessment“ zusammenhängt. Die Gliederung der Risikobewertung in die vier oben aufgeführten Teilschritte beruht laut SCHNEIDER ET AL. (2004) auf einer international anerkannten Festlegung durch eine Joint FAO/WHO Expert Consultation aus dem Jahr 1995 (vgl. <http://www.who.int/foodsafety/micro/riskanalysis/en/>). Die Risikobeschreibung wird von SCHNEIDER ET AL. (2004) als Risikocharakterisierung bezeichnet, von NAU ET AL. (2003) als Quantifizierung des Risikos. Sie stellt für Risikomanager die Grundlage für die Entscheidung hinsichtlich einer Regulierung dar (SCHNEIDER ET AL., 2004).

Risikomanagement bezeichnet den Prozess der Abwägung von Alternativen im Umgang mit dem Risiko (VO (EG) Nr. 178/2002). Hierbei werden die Ergebnisse der Risikobewertung berücksichtigt, das Risikomanagement ist aber von der Risikobewertung zu trennen. Ferner gibt es die Risikokommunikation, d.h. den kommunikativen Austausch zwischen allen (potentiell) Betroffenen (VO (EG) Nr. 178/2002). Die einzelnen – zu einer Risikoanalyse gehörenden Schritte – zeigt Abbildung 1.



\*NOEL= No Observed Effect Level

**Abbildung 1 Risikoanalyse (Quelle: leicht verändert nach NAU ET AL., 2003)**

## **2.2 Risikomanagement**

Erbringt die Risikobewertung das Ergebnis, dass ein Risiko für den Verbraucher vorliegt, muss dieses Risiko gesteuert, d.h. gemanagt werden. Auf das Risikomanagement soll an dieser Stelle zunächst kurz allgemein und dann speziell hinsichtlich Lebensmittelrisiken bzw. Mykotoxinen eingegangen werden.

Als Risikomanagement versteht der WBGU (1999) „die Summe der von Personen oder Organisationen eingeleiteten Maßnahmen zur Reduzierung, Steuerung und Regulierung von Risiken“. Es soll dafür Sorge tragen, „dass Systeme keine Zustände einnehmen, die nicht der gesellschaftlichen Risikopräferenz entsprechen“ (WBGU 1999).

Laut RENN ET AL. (2007) umfasst Risikomanagement neben der Auswahl, Bewertung und Umsetzung von Maßnahmen, die das Risiko auf ein tolerierbares Maß zurückstufen, zusätzlich die Kontrolle und Überwachung dieser Maßnahmen, sowie die Früherkennung von Risiken.



Verschiedene Möglichkeiten der staatlichen Intervention, zur Verbesserung der Lebensmittelsicherheit (d.h. staatliche Risikomanagementmaßnahmen), hat UNNEVEHR (2003) vergleichend aufgeführt (Tabelle 1). Unterscheiden lassen sich Produkt-Standards, Prozess-Standards, sowie die Bereitstellung von Informationen. Alle Maßnahmen haben das Ziel, mehr Lebensmittelsicherheit für den Konsumenten zu erreichen.

Produktstandards erfordern es, die Produktqualität zu überwachen, gewöhnlich durch Probennahme und Testen der Proben (UNNEVEHR, 2003). Diese gibt es für Mykotoxinen in Form der zulässigen Höchstgehalte laut VO (EG) 1881/2006 bzw. VO (EG) Nr. 1126/2007.

Prozessstandards hingegen legen fest, dass bestimmte Prozeduren bei der Produktion eingehalten werden müssen (UNNEVEHR, 2003). Prozessstandards zu Mykotoxinen wurden von der EU bisher in Form einer Empfehlung entwickelt (Empfehlung 2006/583/EG der Kommission vom 17. August 2006 zur Prävention und Reduzierung von Fusarientoxinen in Getreide und Getreideprodukten). Die dabei im Anhang festgelegten Grundsätze sollten die Mitgliedstaaten laut Kommission berücksichtigen, wenn sie „Maßnahmen zur Überwachung und Kontrolle der Kontamination mit Fusarientoxinen in Getreide erlassen“ (Empfehlung 2006/583/EG der Kommission).

Nach UNNEVEHR (2003) kann die Informationsbereitstellung zwingend oder freiwillig sein (vgl. Tabelle 1): Freiwillig kann z.B. die Angabe über eine Zertifizierung durch Dritte sein. Freiwillige Informationen richten sich an die Entscheidungsfreiheit der Unternehmen und Konsumenten. Behörden können Standards für die Zertifizierung festlegen oder einen Einfluss auf die Aufklärung von Konsumenten hinsichtlich Lebensmittelsicherheit nehmen. Zusätzliche Information kann Produzenten oder Konsumenten dazu bringen, nach Möglichkeiten zu suchen, mehr Lebensmittelsicherheit zu erreichen. Sie kann auch dazu führen, dass Konsumenten sichere Lebensmittel ausfindig machen und mehr dafür bezahlen. CHO und HOOKER (2009) führen weiterhin die Möglichkeit auf, verschiedene Standards miteinander zu kombinieren.

**Tabelle 1 Beispiele staatlicher Interventionen zur Verbesserung der Lebensmittelsicherheit (Quelle: UNNEVEHR, 2003)**

<b>Type of intervention</b>	<b>Examples</b>	<b>Implications for costs and benefits</b>
Product standards	Somatic cell counts in milk. Pesticide residue tolerances for crops.	Benefits arise from direct reduction in hazard. Costs arise from necessary changes in industry practice to meet standard.
Process standards	Codes of hygienic practice for butcher shops. Withdrawal time requirements before slaughter for antibiotic use in food animals.	Benefits arise from reduction in hazard that results from the process. Costs arise from changes in industry practice to implement process.
Information provision	Mandatory disclosure of the use of irradiation. Mandatory labelling regarding safe food handling and preparation.	Benefits arise from changes in producer or consumer behaviour that reduce hazards. Costs arise from changes in either producer or consumer practices.

Sowohl die Anwendung von Prozess- als auch von Produktstandards führt dazu, dass Unternehmen ihre Praktiken ändern müssen, was in der Regel mit Kosten für das jeweilige Unternehmen verbunden ist (UNNEVEHR, 2003). Bei einem Vergleich der Produkt-Standards und Prozess-Standards scheinen Ökonomen von der Überlegenheit der Produktstandards hinsichtlich der Kostenminimierung überzeugt zu sein, da diese eine flexible Anpassung der Unternehmen und so weniger Störungen in der Wirtschaft bedeuten (CHO & HOOKER, 2009). Lebensmittelsicherheitsmaßnahmen sind wegen einer Art Marktversagen erforderlich (UNNEVEHR, 2003). Unvollständige Information hindert Konsumenten daran, für erwünschte Level an Sicherheit zu zahlen, und / oder hindert Produzenten an der Versorgung mit verbesserter Sicherheit (UNNEVEHR, 2003). UNNEVEHR (2003) geht davon aus, dass gut informierte Konsumenten sichere Lebensmittel nachfragen. Allerdings können die Verbraucher die Lebensmittelsicherheit nicht immer selbst ermitteln, daher sind Regulierungsmaßnahmen durch den Staat notwendig (UNNEVEHR, 2003). „Gesundheitlich unbedenklich“ ist laut HANF (1999) eine Risiko-Vertrauenseigenschaft, die von dem Konsumenten selbst nicht feststellbar ist. Der Staat überprüft die Einhaltung dieser Eigenschaft in der Regel aus Kostengründen nur stichprobenweise (HANF, 1999). Die Nachfrage nach Sicherheit variiert mit dem Level des Risikos. Ferner beeinflusst die Art des Risikos die Wahrnehmung durch die Konsumenten, wobei natürlich vorkommende, vertraute und freiwillig eingegangene Risiken generell weniger gravierend wahrgenommen werden (UNNEVEHR, 2003).

### **3 Gesetzliche Rahmenbedingungen hinsichtlich Mykotoxinen**

Mykotoxine sind, wie bereits oben dargestellt, ein Faktor, eine mögliche „Gefahr“, die dazu führen kann, dass Lebensmittel nicht sicher, d.h. nicht gesundheitlich unbedenklich sind. Zur Reduzierung des Risikos durch Mykotoxine gibt es eine Vielzahl von Gesetzen, die direkt oder indirekt zu dem Schutz des Verbrauchers vor einer gesundheitlich bedenklichen Belastung durch Mykotoxine beitragen.

Grundlage ist die Verordnung (EWG) Nr. 315/93 des Rates vom 8. Februar 1993 zur Festlegung von gemeinschaftlichen Verfahren zur Kontrolle von Kontaminanten in Lebensmitteln. Eine Kernaussage dieser Verordnung ist, dass kein Lebensmittel in den Verkehr gebracht werden darf, „das einen Kontaminanten in einer gesundheitlich und insbesondere toxikologisch nicht vertretbaren Menge enthält. Die Kontaminanten sind ferner auf so niedrige Werte zu begrenzen, wie sie durch gute Praxis [...] sinnvoll erreicht werden können.“

Ebenso ist für den Umgang mit Mykotoxinen und das Setzen von Grenzwerten die oben bereits erwähnte EU-Basisverordnung zum Lebensmittelrecht (VO (EG) Nr. 178/2002) wichtig. Diese Verordnung regelt generelle Prinzipien und Erfordernisse von Nahrungsmittelgesetzen (VERSTRAETE, 2006) und stellt somit auch für den Umgang mit der Mykotoxinproblematik die Basis dar. Konkret sind für Mykotoxine zulässige Höchstgehalte in den VO (EG) 1881/2006 bzw. VO (EG) Nr. 1126/2007 festgelegt, auf die im Folgenden näher eingegangen wird.

### **4 Das *Fusarium*-Mykotoxin DON**

Wie bereits einleitend dargestellt, gibt es eine Vielzahl von Mykotoxinen. Deoxynivalenol (DON) gilt dabei als Leittoxin der von der Pilzgattung *Fusarium* produzierten Mykotoxine. DON zeichnet sich dadurch aus, dass es wasserlöslich und chemisch sehr stabil ist (CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION, 2002). Es kommt vorwiegend in Getreide und Getreideprodukten (wie Mehl, Brot und Nudeln) vor (CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION, 2002). Kennzeichnend sind die Schwankungen in der Lebensmittelbelastung von Jahr zu Jahr, wobei die Belastung besonders in nassen Jahren hoch ist (CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION, 2002). Carry over in tierische Produkte stellt kein Problem dar (CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION, 2002). Allerdings lässt sich mit Deoxynivalenol befallenes Getreide nicht als Futter verwenden, da es von den Tieren verweigert wird, bzw. unerwünschte Effekte (reduziertes Wachstum und geringere Gewichtszunahme) auftreten.

Im speziellen kann DON folgende gesundheitliche Auswirkungen verursachen: Es kann immunsuppressiv wirken (BARTELS & RODEMANN, 2003), sowie bei der Aufnahme geringer Dosen Appetitlosigkeit und Gewichtsverluste hervorrufen (BENNETT & KLICH, 2003). Im Akutfall verursacht es Erbrechen und Übelkeit (BARTELS & RODEMANN, 2003).

## **5 TDI-Wert**

### **5.1 Allgemein**

Für einen wirksamen Gesundheitsschutz ist es essentiell, zu wissen, welche Dosis eines potentiell schädlichen Stoffes vorkommen darf, ohne dass Schäden auftreten. Diese Dosis gibt der TDI (tolerable daily intake)-Wert an: Er stellt die Dosis dar, die sicher täglich und lebenslang konsumiert werden kann, ohne dass merkliche negative Gesundheitseffekte auftreten (KUIPER-GOODMAN, 2004). Der TDI basiert auf dem Körpergewicht, d.h. es wird die Menge des Kontaminanten je kg Körpergewicht (body weight, bw) angegeben. Die Institution, die derartige Werte ermittelt, ist für die EU das wissenschaftliche Gremium für Kontaminanten (CONTAM-Panel). Bis vor wenigen Jahren hat dieses für die EU das Scientific Committee on Food (SCF) durchgeführt, das daher auch die Bewertung von DON vorgenommen hat. Auf internationaler Ebene nimmt das Joint FAO/WHO Expert Committee for Food Additives and Contaminants (JECFA) die gesundheitliche Bewertung von Mykotoxinen vor.

### **5.2 Der TDI-Wert für DON**

Die Bewertung der Toxizität von DON erfolgte durch das SCF ausgehend von toxikologischen Studien an Tieren. Aufgrund des in einer Langzeitstudie beobachteten "No Observed Adverse Effect Levels" (NOAEL) von 0,1 mg/kg Körpergewicht bei Mäusen und unter Verwendung eines Sicherheitsfaktors von 100 leitete das SCF (1999) für den Menschen eine temporäre bzw. provisorische tolerierbare Tagesaufnahme (TDI) von 1 µg je kg Körpergewicht (bw) ab. 2002 wurde dieser Wert in derselben Höhe, d.h. 1 µg/kg bw/day als TDI festgelegt (SCF, 2002). Der Sicherheitsfaktor setzt sich aus zwei einzelnen Faktoren zusammen: Bei der Extrapolation der Werte von Tierversuchen auf den Menschen wird ein Unsicherheitsfaktor (UF) appliziert (PIETERS ET AL., 2002). Gewöhnlich beträgt dieser Faktor 10 bei der Übertragung von Nagetieren auf den Menschen (PIETERS ET AL., 2002). Ein weiterer Faktor von 10 wird hinzugezogen, um die Unterschiede in der Empfindlichkeit der verschiedenen Menschen abzudecken (PIETERS ET AL., 2002). Dieser Faktor wird auch „Intraspeziesfaktor“ genannt und häufig u.a. mit dem Schutz von Kindern begründet (SCHNEIDER ET AL., 2002).

### **5.3 Vergleich verschiedener TDI-Werte für DON und Bewertung**

Mehrere Autoren und Institutionen haben sich mit der Höhe eines TDI-Wertes für DON befasst:

Zunächst sei an dieser Stelle noch einmal das Scientific Committee on Food der EU aufgeführt, da dessen toxikologische Risikobewertung die Basis für die im Folgenden dargestellten Höchstgehalte ist. Bei unsicherer Datenlage werden temporary Tolerable Daily Intake – Werte (t-TDI-Werte) bestimmt. Die Festlegung dieses vorläufigen TDI für DON in der Höhe von 1 µg/kg bw/day (Körpergewicht/Tag) erfolgte 1999 (SCF, 1999), die Bestätigung 2002 (s.o.). Als Problem des TDI-Wertes wird nach wie vor die limitierte Datenlage angesehen (SCF, 1999, 2002).

Das Komitee (Joint FAO/WHO Expert committee on Food Additives, JECFA) ermittelte eine provisorische maximale tolerierbare Tagesaufnahme (PMTDI) von 1 µg/kg je kg Körpergewicht auf der Basis des NOEL of 100 µg/kg je kg Körpergewicht und Tag und eines Sicherheitsfaktors von 100 (CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION, 2002). Das Komitee (JECFA) kam zu dem Schluss, dass eine Aufnahme von diesem Level nicht in Effekten von DON auf das Immunsystem, Wachstum oder Reproduktion resultiert (CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION, 2002). Ferner wird angegeben, dass die verfügbaren Daten es nicht ermöglichen, ein Level anzugeben, unter dem keine akuten Effekte auftreten (CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION, 2002).

Detailliert haben auch PIETERS ET AL. (2002) die Ermittlung des TDI-Wertes dargestellt. Dafür wurde eine Vielzahl tierexperimenteller Studien zur Toxizität von DON bewertet (PIETERS ET AL., 2002). Unter Berücksichtigung der Qualität der Studien und der toxikologischen Endpunkte wurde nur ein Teil der Studien, die einen NOAEL entwickelten, für die Ermittlung des TDI genutzt (PIETERS ET AL., 2002). Der ermittelte TDI-Wert hat eine Höhe von 1,1 µg/kg bw / day. Ein Vergleich dieses TDI-Wertes mit denen weiterer Autoren und Institutionen (SCF und Nordic Council of Ministers) zeigte PIETERS ET AL. (2002), dass ihr Wert mit den anderen im Einklang steht.

Aus toxikologischer Sicht handelt es sich bei der Risikobewertung von DON um eine präventive Gefährdungsminimierung (vgl. NEUBERT, 2004). Dabei wird relativ grob ein Bereich abgeschätzt, „unterhalb dessen eine Gesundheitsgefährdung weitgehend ausgeschlossen, bzw. als ‚akzeptabel‘ angesehen wird“ (NEUBERT, 2004). Dementsprechend hat die präventive Gefährdungsminimierung einen „politisch-administrativen Charakter“, was den gesundheitspolitischen Wert des Verfahrens jedoch nicht mindert (NEUBERT, 2004). Allerdings handelt es sich nicht um für den Menschen wissenschaftlich abgesicherte Angaben

(NEUBERT, 2004). Das Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA, 2001) hat eine Vielzahl von Beobachtungen zusammengetragen, bei denen Menschen Getreide, in dem u.a. DON nachgewiesen wurde, zu sich nahmen. Über akute Krankheitsfälle nach dem Konsum von belastetem Getreide wird berichtet (JECFA, 2001). Allerdings erlaubt die Datenlage keine Ableitung eines No Observed Effect Levels (NOEL) (JECFA, 2001).

Die hohe Einigkeit der verschiedenen Institutionen hinsichtlich der Höhe des TDI spricht trotz der limitierten Datenlage und den Einschränkungen aus toxikologischer Sicht dafür, dass ein TDI-Wert für DON in der Höhe von 1 µg/kg bw/day gerechtfertigt ist.

#### **5.4 Wohlfahrtsökonomische Beurteilung**

Der TDI-Wert stellt eine Sicherheitsschwelle dar. Wird er überschritten, dann wird die Möglichkeit, dass es zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen kommt, als zu groß angesehen. Aus ökonomischer Sicht sollte eine solche Wahrscheinlichkeitsschwelle dort festgelegt werden, wo volkswirtschaftlicher Grenznutzen und Grenzkosten des Verzehrs von mykotoxinbelasteten Lebensmitteln übereinstimmen. Was genau unter volkswirtschaftlichen Grenzkosten und Grenznutzen zu verstehen ist, hängt davon ab, ob man den Verbrauchern ein Recht auf gesundheitlich unbedenkliche Lebensmittel zuspricht oder nicht. Gesetzliche Regelungen und gesellschaftlicher Konsens unterstellen die erstgenannte Position. In diesem Fall entspricht der volkswirtschaftliche Grenznutzen den minimalen Entschädigungsforderungen der Verbraucher für eine Erhöhung des Gesundheitsrisikos und die volkswirtschaftlichen Kosten den (zusätzlichen) Kosten der Lebensmittelunternehmer bei einer Reduzierung des Gesundheitsrisikos. Diese Zuschreibung impliziert weiter die Äquivalenz der Wohlfahrtseffekte eines optimal gesetzten Schwellenwertes mit den Wohlfahrtseffekten einer Marktlösung, die sich nach Aufklärung der Verbraucher über das Gesundheitsrisiko ergibt.

Wie (in Deutschland) bei solchen Normsetzungen üblich, basiert der TDI-Wert nicht auf wohlfahrtsökonomischen Überlegungen, sondern auf Expertenmeinungen darüber, welche normativen Implikationen mit den Ergebnissen naturwissenschaftlicher Untersuchungen verbunden sind.

Der TDI-Wert wurde nicht unter Beachtung wohlfahrtsökonomischer Gesichtspunkte festgelegt: Es ging hierbei lediglich um den Nutzenaspekt der gesundheitlichen Beeinträchtigungen. Die zu erwartenden Kosten der Lebensmittelunternehmen wurden nicht berücksichtigt. Der TDI-Wert liegt bei  $1 \mu\text{g}/\text{kg}$  Körpergewicht. In zwei Fällen ist dieser TDI alloka­tionseffizient (Abbildung 2):

1. Wenn die Entschädigungsforderungen der Verbraucher (EV) bei einer mit einer Erhöhung dieses Wertes verbundenen Vergrößerung des Gesundheitsrisikos gegen Unendlich gehen (Abbildung 2, Fall 1).
2. Wenn die Erhöhung der DON-Belastung über diesen Wert keine positiven Auswirkungen auf die Gewinne der Lebensmittelunternehmen (G) hat (Abbildung 2, Fall 2).

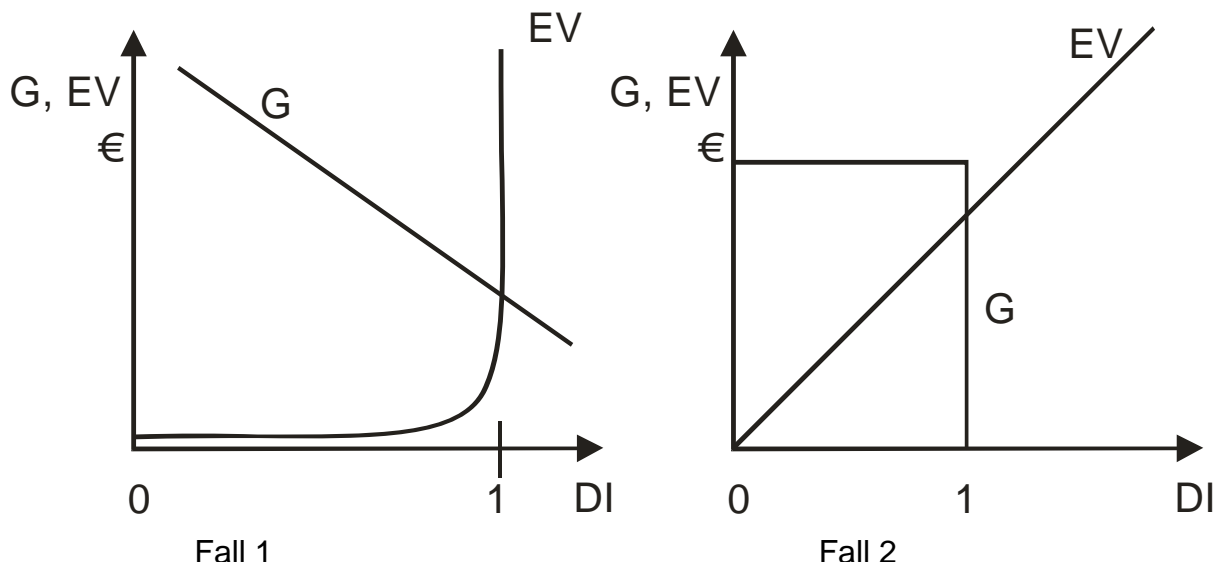


Abbildung 2 Beispiele alloka­tionseffizienter TDI-Werte

## 6 Höchstgehalte

### 6.1 Allgemein

„Höchstgehalte“ (Grenzwerte) sind die maximal zulässigen Konzentrationen von Kontaminanten in Lebensmitteln (SCHNEIDER ET AL., 2004). Das Festlegen von Grenzwerten ist laut NEUBERT (2004) das Ziel der präventiven Gefährdungsminimierung: „Die Absicht der präventiven Gefährdungsminimierung ist nicht das Erkennen einer Inzidenz bei definierter Exposition des Menschen, sondern die Festlegung eines Bereiches der Exposition („Grenzwerte“), von dem angenommen wird, dass er niedrig genug ist, damit auch beim Menschen keine unerwünschten Wirkungen mehr auftreten“ (NEUBERT, 2004). D.h. das Ziel der Festlegung von Höchstgehalten ist der Schutz der öffentlichen Gesundheit. Grenzwerte (Höchstgehalte) haben somit eine zentrale Rolle im Risikomanagement.

Die maximal zulässigen Höchstgehalte für bestimmte Lebensmittel-Mykotoxin-Kombinationen basieren auf den wissenschaftlichen Stellungnahmen des SCF (TDI-Wert), sowie auf ermittelten und bewerteten Aufnahmeraten (VERSTRAETE, 2006). Innerhalb der EU werden diese Standards durch EU-Verordnungen festgelegt (SCHNEIDER ET AL., 2004).

Für die zulässigen Höchstgehalte von Mykotoxinen gilt derzeit die Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 der Kommission vom 19. Dezember 2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln. In dieser Verordnung ist u.a. festgelegt: „Zum Schutz der öffentlichen Gesundheit ist es unerlässlich, den Gehalt an Kontaminanten auf toxikologisch vertretbare Werte zu begrenzen.“ Ferner heißt es: „Die Höchstgehalte sind so niedrig festzulegen, wie dies durch eine gute Landwirtschafts-, Fischerei- und Herstellungspraxis vernünftigerweise erreichbar ist, unter Berücksichtigung des mit dem Lebensmittelverzehr verbundenen Risikos. Bei Kontaminanten, die als genotoxische Karzinogene einzustufen sind oder bei denen die derzeitige Exposition der Bevölkerung oder gefährdeter Bevölkerungsgruppen annähernd die tolerierbare Aufnahme erreicht oder diese übersteigt, sind die Höchstgehalte so niedrig festzulegen, wie in vernünftiger Weise erreichbar („as low as reasonably achievable“, ALARA). Durch eine solche Vorgehensweise wird gewährleistet, dass die Lebensmittelunternehmer zum Schutz der öffentlichen Gesundheit Maßnahmen ergreifen, um Kontaminationen soweit als möglich zu reduzieren bzw. ganz zu vermeiden.“ Der Begriff „Lebensmittelunternehmer“ umfasst laut Verordnung (EG) Nr. 178/2002 auch Landwirte. Die Verordnung (EG) No. 1881/2006 gilt seit dem 01.03.2007. In ihr werden im Anhang unter Abschnitt 2 Höchstmengen für Mykotoxine, u.a. DON, festgelegt (Beispiele in Tabelle 2). Ferner gilt die Verordnung (EG) Nr. 1126/2007 der Kommission vom 28. September 2007 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 zur



Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln hinsichtlich Fusarientoxinen in Mais und Maiserzeugnissen. In dieser werden die Höchstgehalte für bestimmte Mykotoxine in Mais erhöht.

Ergänzend gilt für einige nicht in der EU-Verordnung aufgeführte Erzeugnisse weiterhin die deutsche Mykotoxin-Höchstmengen-Verordnung (MHmVO, 2004).

## **6.2 Zulässige Höchstgehalte für das Mykotoxin DON**

Beispiele für zulässige DON-Höchstgehalte, laut der in Deutschland gültigen VO (EG) 1881 / 2006, sind in Tabelle 2 dargestellt.

**Tabelle 2 Beispiele für zulässige Höchstgehalte für das Mykotoxin DON (Quelle: Auswahl aus VO (EG) 1881/2006, VO (EG) Nr. 1126/2007))**

<b>Produkte</b>	<b>Höchstgehalt(µg/kg)</b>
Unverarbeitetes Getreide außer Hartweizen, Hafer und Mais	1250
Unverarbeiteter Hartweizen, Hafer und Mais	1750
Zum unmittelbaren menschlichen Verzehr bestimmtes Getreide, Getreidemehl	750
Teigwaren (trocken)	750
Brot (einschließlich Kleingebäck), feine Backwaren, Kekse, Getreide-Snacks und Frühstückscerealien	500

Der Handel mit Lebensmitteln und Agrarprodukten wird immer internationaler (VERBRAUCHERZENTRALE BUNDESVERBAND, 2005). Innerhalb der EU gelten für alle Mitgliedsstaaten die in EU Verordnungen festgelegten Höchstgehalte, so dass hier ein freier Warenverkehr gewährleistet ist. Für den internationalen Handel sind auch die Grenzwerte anderer außereuropäischer Handelspartner von Interesse. Diese hat die FAO zusammengetragen (Abbildung 3, FAO, 2004).

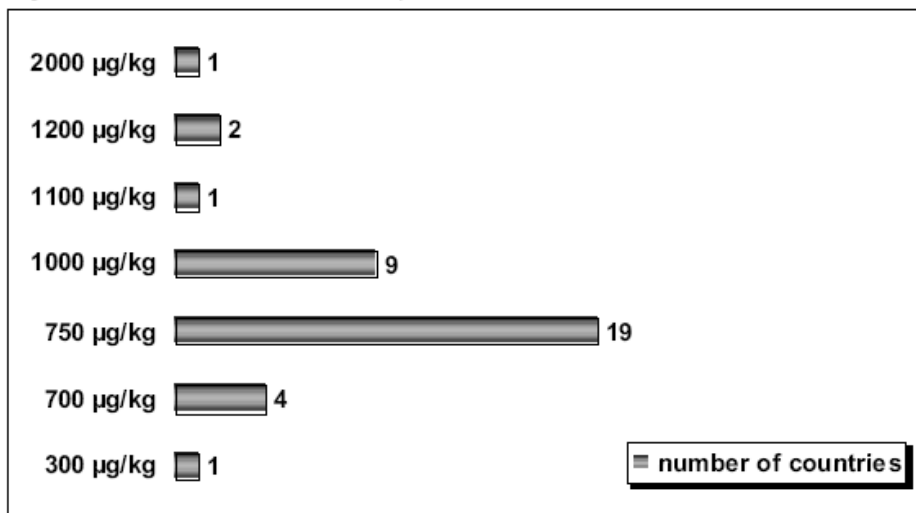


Abbildung 3 Weltweit gültige Grenzwerte für Deoxynivalenol in Weizen (Mehl) und anderem Getreide (Quelle: FAO, 2004)

Detailliert hat BEER (2005) folgende Grenzwerte für Nicht-EU-Länder aufgeführt, allerdings ohne Hinweis darauf, ob es sich hierbei um den Grenzwert für Rohgetreide oder gereinigtes Getreide handelt.

- Schweiz: 1000 µg/kg Weizen
- Russland: 1000 µg/kg Weizen
- Kanada: 2000 µg/kg Weizen
- USA: 2000 µg/kg Weizen

Diese überschreiten den gemeinsamen Grenzwert der EU-Länder, die in Abbildung 3 in der Kategorie „750 µg/kg“ erfasst wurden.

„Für Standards mit einem weiten (internationalen) Geltungsbereich ist auch von Bedeutung, ob regionale/nationale Unterschiede in den Verzehrsgewohnheiten und in der Belastung bestimmter Lebensmittel hinreichend bei der Datenerhebung berücksichtigt wurden.“ (SCHNEIDER, 2004).

### 6.3 Beurteilung der Auswahl der Lebensmittel

Höchstgehalte werden für die Lebensmittel festgelegt, bei denen bekannt ist, dass sie „in relevantem Ausmaß zur Schadstoffaufnahme des Menschen beitragen“ (SCHNEIDER ET AL., 2004). Dementsprechend gelten für DON Höchstgehalte für Getreide und Getreideprodukte. Diese Vorgehensweise wird durch eine aktuelle Studie bestätigt: Im Wesentlichen scheinen Getreideprodukte die DON-Belastung auszumachen: Für Großbritannien ermittelten TURNER ET AL. (2008) einen klaren Zusammenhang zwischen der Getreideaufnahme von Erwachsenen und dem DON-Gehalt im Urin. Je höher die Gesamtmenge aufgenommener Getreideprodukte

(Nudeln, Weißbrot, Vollkornmehlbrot, anderes Brot, ballaststoffreicher Frühstückscerealien, Obstkuchen, Brötchen und Gebäck) war, desto höher lag auch der DON-Gehalt des Urins (TURNER ET AL., 2008). Diese Produktgruppen, besonders die drei Brotgruppen, waren stark Weizen-dominiert (TURNER ET AL., 2008). Insbesondere bei Brot aus Vollkornmehl, aber auch bei dem Konsum ballaststoffreicher Frühstückscerealien, zeigte sich eine signifikant höhere Belastung des Urins von Konsumenten dieser Produkte verglichen mit dem Urin von Personen, die diese Produkte nicht verzehrten (TURNER ET AL., 2008). Dennoch trug der Weißbrot-Konsum am stärksten zum DON im Urin bei, aufgrund der hohen Häufigkeit und hohen Mengen des Konsums (TURNER ET AL., 2008). Auffällig ist laut der Studie von TURNER ET AL. (2008) die starke Schwankung im Konsum von Getreideprodukten, so dass sich die Frage stellt, inwiefern auch „Vielverzehrer“ einer Produktgruppe durch Grenzwerte adäquat geschützt sind.

#### **6.4 Entwicklung der in Deutschland geltenden Höchstgehalte für DON**

Erstmals wurden in der am 13.02.2004 in Kraft gesetzten novellierten Mykotoxinhöchstmengenverordnung differenzierte Grenzwerte für DON festgelegt: Brot, Kleingebäck und feine Backwaren durften danach höchstens 350 µg/kg DON und andere Getreideerzeugnisse maximal 500 µg/kg DON enthalten (BEER, 2005). EU weit wurden erstmals in der VO (EG) 856/2005 als Ergänzung der EU-Verordnung 466/2001 Höchstmengen für die Fusarientoxine DON und Zearalenon festgelegt (EISGRUBER & BÜLTE, 2006). Die dort festgelegten Grenzwerte lagen bei 750 µg/kg für Getreide und Getreideerzeugnisse zum Direktverzehr, bzw. bei 500 µg/kg für Brot und Backwaren.

#### **6.5 DON-Aufnahmeraten (Beispielrechnung)**

Anhand der zulässigen Höchstgehalte (Tabelle 2) und der Lebensmittelaufnahme eines durchschnittlichen Kleinkindes kann gezeigt werden, inwieweit es im Rahmen der zulässigen Höchstgehalte zu Überschreitungen der tolerierbaren Tagesaufnahme kommen kann. Verwendet werden Verzehrdaten für zwei- bis vierjährige Kinder für die Abschätzung der Aufnahmemenge. Diese wurden im Rahmen der VELS-Studie (Verzehrsstudie zur Ermittlung der Lebensmittelaufnahme von Säuglingen und Kleinkindern für die Abschätzung eines akuten Toxizitätsrisikos durch Rückstände von Pflanzenschutzmitteln, BfR, 2005), durchgeführt von der Universität Paderborn im Auftrag des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL), in den Jahren 2001/2002 ermittelt.

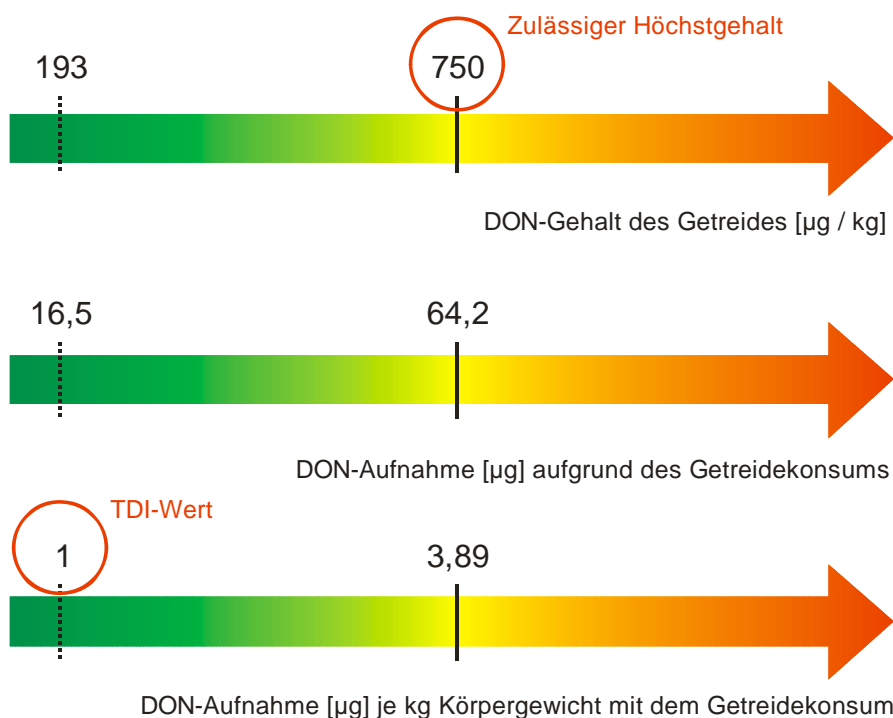
Die DON-Aufnahme des durchschnittlichen Kleinkindes beträgt bei maximaler zulässiger Belastung:

- Durchschnittliches Körpergewicht: 16,5 kg (Kind zwischen zwei und vier Jahren)<sup>1</sup>
- Durchschnittliche Getreide-Verzehrmenge (g / Tag): 85,6 g<sup>1</sup>
- Zulässiger DON-Höchstgehalt für Getreide: 750 µg/kg (VO (EG) 1881 / 2006)
- TDI für DON: 1 µg / kg Körpergewicht

⇒ In 1000 g sind 750 µg DON zulässig, d.h. in 85,6 g dürfen 64,2 µg DON enthalten sein.

⇒ Bei einem Körpergewicht von 16,5 kg ist die Aufnahme von ≈ 3,89 µg je kg Körpergewicht durch das Kleinkind möglich, was eine deutliche Überschreitung des TDI von 1 µg / kg Körpergewicht bedeutet.

Dementsprechend dürfte der Höchstgehalt, um das durchschnittliche Kleinkind wirksam zu schützen, auch nur etwa ein Viertel so hoch sein: D.h. das Kleinkind dürfte 16,5 µg DON mit den 85,6 g Getreide aufnehmen, um den TDI nicht zu überschreiten. Um diesen Wert zu erreichen, dürfen in einem kg Getreidelebensmittel etwa 193 µg DON enthalten sein. Diese Werte sind in der folgenden Abbildung 4 dargestellt.



**Abbildung 4 DON-Gehalt von Getreide und DON-Aufnahme des durchschnittlichen Kleinkindes (2-4 Jahre) mit dem Getreidekonsum (insgesamt und je kg Körpergewicht) bei Ausschöpfung der Grenzwerte (durchgezogene Linie: |) im Vergleich zu den Werten bei der Einhaltung des TDI-Wertes (gestrichelte Linie: | )**

<sup>1</sup> Werte lt. VELS-Studie (2001-2002), (BfR, 2005): (Verzehrsstudie zur Ermittlung der Lebensmittelaufnahme von Säuglingen und Kleinkindern für die Abschätzung eines akuten Toxizitätsrisikos durch Rückstände von Pflanzenschutzmitteln). Wert für Getreide, abzüglich Reis.

Im „grünen Bereich“ der Pfeile in Abbildung 4 liegt die DON-Aufnahme, bei der der TDI-Wert eingehalten wird. Die DON-Aufnahmemenge bei Ausschöpfung der Grenzwerte ist hier im gelben Bereich dargestellt, da der TDI-Wert deutlich überschritten wird, Gesundheitsschäden aber schwer quantifizierbar sind. Sollten die Mykotoxin-Gehalte weiter steigen, ist von dem Auftreten von Gesundheitseffekten auszugehen (roter Bereich).

Zu beachten ist dabei, dass hier von Durchschnittswerten ausgegangen wird. Ein Kind, das Vielverzehrer von Getreideprodukten ist, könnte den TDI-Wert deutlich weiter überschreiten. Eine Unterschreitung der gesetzlich zulässigen Höchstgehalte durch die Praxis führt andererseits zu einer Minderung der tatsächlichen Aufnahmemenge.

Eine Strategie zur Risikominimierung ist das politische Festlegen von Grenzwerten. Diese stellen Vorgaben für die Erzeugung, Lagerung, Verarbeitung dar. Die Einhaltung dieser Vorgaben wird mittels Kontrollen überprüft. Gewöhnlich ist bei dieser Vorgehensweise mit keiner gesundheitlichen Beeinträchtigung bei einem durchschnittlichen Verzehr der betroffenen Lebensmittel zu rechnen, und die kritische Diskussion bezieht sich auf die Lebensmittelkontrollen sowie die festgelegten Vorgaben. Im Fall von DON ist das anders: hier steht Kritik an der Tatsache, dass bei Einhaltung der Höchstgehalte eine Vielzahl der Verbraucher den TDI überschreiten kann, an.

## **6.6 Bewertung der DON-Höchstgehalte**

Aus toxikologischer Sicht sollten die Höchstgehalte für DON die politisch gesetzten weit unterschreiten. Hierzu finden sich Anhaltspunkte bei PIETERS ET AL. (2002), die auf der Basis des von ihnen ermittelten provisorischen TDI (1,1 µg DON/kg bw) einen Grenzwert ermittelten. Hierfür teilten sie den TDI-Wert durch die geschätzte Weizenaufnahme (g Weizen/kg Körpergewicht, anhand niederländischer Verzehrstudien) (PIETERS ET AL., 2002). Es wurde angenommen, dass das Zutun anderer Getreide (inklusive Bier) zur Gesamt-DON-Aufnahme zu vernachlässigen sei (PIETERS ET AL., 2002). Für die „Concentration Limits“ nahmen PIETERS ET AL. (2002) Kinder zwischen 1 und 4 Jahre als empfindlichste Risikogruppe an, weil diese bezogen auf das Körpergewicht hohe Weizenmengen konsumieren und empfindlich hinsichtlich des Effektes der Wachstumsreduktion sind. Für die sichere Maximalkonzentration erhoben PIETERS ET AL. (2002) den Anspruch, dass auch Kinder mit relativ hohem Weizenkonsum (95.tes Perzentil) den TDI-Wert nicht überschreiten. Als Getreideverzehrmenge wurde anhand einer nationalen (in NL) Verzehrstudie 4,5-8,5 g/kg Körpergewicht ermittelt. Damit ergibt sich als Höchstgehalt:

$$1,1/8,5 = 0,129 \mu\text{g/g Weizen} = 129\mu\text{g/kg Weizen (PIETERS ET AL., 2002)}.$$

Dieser Wert deckt sich relativ gut mit den oben ermittelten 193 µg je kg Getreide, um ein durchschnittliches Kleinkind mit durchschnittlichem Getreideverzehr zu schützen, da bei dem niederländischen Wert von einem Kleinkind mit hohem Getreideverzehr ausgegangen wurde. Auch SCHNEIDER ET AL. (2004) betonen generell die Wichtigkeit der „Erfassung von Verzehrdaten für Gruppen mit speziellen Verzehrsgewohnheiten (z.B. hoher Verzehr einzelner, stärker belasteter Lebensmitteln, „high end user“) und für Risikogruppen mit höherer Empfindlichkeit“ als „notwendige Voraussetzung, um auch diese Bevölkerungsgruppen adäquat schützen zu können“

Das BfR (Bundesinstitut für Risikoabschätzung) vertritt die Auffassung, dass nur eine Minimierung des DON-Gehaltes in Lebensmitteln auf 100 µg/kg die Belastung der Verbraucher und dabei insbesondere von Kindern unterhalb der tolerierbaren täglichen Aufnahmemenge sicherstellt (BfR, 2006). Insbesondere die DON-Gehalte von Brot, Brötchen und Teigwaren sollten auf Werte unterhalb von 100 µg/kg abgesenkt werden (BfR, 2006). Das BfR hält ferner ein Programm zur Absenkung der Höchstmengen auf europäischer Ebene für sinnvoll.

International schlägt die CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION (2002) als Diskussionsgrundlage für maximal zulässige Höchstgehalt für den Codex Alimentarius für Rohgetreide 2000 µg/kg vor. Ein Höchstgehalt für Rohgetreide liefert klare Bedingungen und Transparenz für den internationalen Handel (CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION, 2002). Für alle Produkte, die aus Getreide gewonnen werden, schlägt diese Kommission 500 µg/kg Produkt vor (für Baby/Kindernahrung 100 µg/kg). Dabei soll ein Vermischen mit höher belasteten Partien nicht erlaubt sein. Die CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION (2002) betont, dass für einen ausreichenden Gesundheitsschutz der Durchschnittsgehalt von DON in allen Getreideprodukten, die während einer längeren Periode verzehrt werden, signifikant unterhalb 500 µg liegen muss. Die Maximum Level sollen auf dem ALARA Prinzip basieren. Auffällig ist, dass die CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION (2002) mit ihrem Vorschlag unter den in der EU geltenden Höchstgehalten bleibt, die wiederum im internationalen Vergleich eher niedrig angesiedelt sind (vgl. Abbildung 3). Dieses ist erstaunlich vor dem Hintergrund, dass die Verbraucherzentrale (Bundesverband) die Codex-Standards bemängelt, da sie diese oft für Kompromisse hält. Ferner gibt die Verbraucherzentrale an, dass die Codex-Standards deutsche oder europäische Standards häufig unterschreiten (VERBRAUCHERZENTRALE BUNDESVERBAND, 2005).

CURTUI ET AL. (2006) haben im Rahmen eines Verbundforschungsprojektes zum Vorkommen und zur Aufnahme von Fusarientoxinen durch den deutschen Verbraucher festgestellt, dass es

schon bei den geringeren zulässigen DON-Gehalten der deutschen Mykotoxinhöchstmengenverordnung zu deutlichen TDI-Wert-Überschreitungen durch Kinder kommen kann. Sie schlussfolgerten: „Eine Erhöhung der Höchstmengen für DON kann daher aus der Sicht des Verbraucherschutzes nicht gerechtfertigt werden“ (CURTUI ET AL., 2006). Sie hielten angesichts der tatsächlichen Belastungssituation eine Erhöhung nicht für notwendig, aber eine Absenkung derzeit für kaum realisierbar (CURTUI ET AL., 2006). Lösungsmöglichkeiten sehen CURTUI ET AL. (2006) in dem Versuch, über Information der Hersteller oder Konsumenten, die Belastungssituation für Kinder zu reduzieren.

SCHNEIDER ET AL. (2004) geben an, dass die Vorgehensweise der Grenzwertsetzung bei DON zeigt, „dass bei weit verbreitetem Vorkommen von Kontaminanten nur Höchstgehalte praktisch umsetzbar erscheinen, die oberhalb des Niveaus liegen, die aus toxikologischer Sicht zu fordern sind“.

So zeigt sich deutlich, dass bei der Entwicklung von DON-Grenzwerten ökonomische und nicht toxikologische Aspekte Priorität hatten.

BEER (2005) hingegen gibt an, dass die Projektgruppe „Krankheiten im Getreide“ der Deutschen Phytomedizinischen Gesellschaft e. V. die ersten deutschen Grenzwerte im Hinblick auf den Vergleich zu Grenzwerten anderer Ländern als problematisch ansieht, u.a. da in Deutschland deutlich niedrigere DON-Gehalte als in anderen Ländern zulässig waren. Die Höchstwerte laut EU-Verordnung 466/2001 (die in der EU-Verordnung 1881/2006 beibehalten wurden), liegen - wie oben bereits dargestellt - deutlich höher als die kritisierten Werte der deutschen MHmVO von 2004.

Interessant ist auch die Betrachtung der Tierernährung. Hier gilt das Schwein als besonders empfindlich (DÄNICKE ET AL., 2006), bei dem es bereits bei einer DON-Konzentration von 1 mg je kg Futter zu einem Rückgang im Futterverzehr kommt. Dementsprechend liegt der Richtwert für Ergänzungs- und Alleinfuttermittel für Schweine bei 0,9 mg je kg Futtermittel (entsprechend 900 µg, Empfehlung der EU-Kommission (2006/576/EG)). D.h. der rein aus toxikologischen und ökonomischen Überlegungen und ohne Sicherheitsfaktoren ermittelte Richtwert für Schweinefutter liegt unterhalb den Werten für Rohgetreide für menschliche Ernährung, das noch aufbereitet wird. Ferner liegt dieser 900 µg Richtwert nur knapp über den 750 µg je kg, die für Getreide gelten, das unmittelbar für die menschliche Ernährung gedacht ist. Dieses ist besonders interessant vor dem Hintergrund, dass Schweine und Menschen häufig verhältnismäßig ähnlich reagieren. Diese Ähnlichkeit in der Empfindlichkeit spiegelt sich auch in dem niedrigen Unsicherheitsfaktor von zwei (PIETERS

ET AL., 2002) bei der Übertragung von experimentellen Ergebnissen von Schweinen auf den Menschen im Vergleich zum Unsicherheitsfaktor von 10 bei Nagern wider.

Als Zwischenfazit bleibt festzuhalten, dass die tatsächlichen zulässigen Höchstgehalte für DON die aus toxikologischer Sicht sinnvollen deutlich überschreiten. Ebenso, dass Rohgetreide, das für die menschliche Ernährung noch zulässig ist, als Schweinefutter schon nicht mehr genutzt werden würde, da eine geringere Futteraufnahme zu befürchten ist. Dieses ist auch interessant für die Frage nach der alternativen Verwertung von Partien, die für die menschliche Ernährung nicht mehr geeignet sind.

## **6.7 Überschreitungen des TDI**

Untersuchungen zum Vorkommen wichtiger Fusarientoxine sowie deren Aufnahme durch den Verbraucher ergaben, dass die mittlere tägliche Aufnahme des deutschen Verbrauchers für DON unterhalb der tolerierbaren Tagesaufnahme (TDI) von 1 µg/kg liegt. Für Kinder wird dieser TDI jedoch weitgehend ausgeschöpft (geschätzte mittlere Aufnahme 0,83 µg/kg) bzw. im „bad case“ überschritten (CURTUI ET AL., 2006). MIEDANER (2003) gibt an: „Die von der EU empfohlene temporäre tolerierbare Tagesaufnahme (tTDI) für DON wird von einem Erwachsenen (70 kg Körpergewicht) bei einem täglichen Verzehr von 250 bis 350 g Weizenprodukten erreicht<sup>2</sup>, bei Kindern schon deutlich früher“. Auch die Europäische Kommission stellt fest: „Während die ernährungsbedingte Aufnahme von Fusarientoxinen in der Gesamtbevölkerung und bei Erwachsenen häufig unter der tolerierbaren täglichen Aufnahme (TDI) liegt, ist sie für Risikogruppen wie Säuglinge und Kleinkinder in manchen Fällen nahe der TDI oder übersteigt diese. Insbesondere für Deoxynivalenol liegt die ernährungsbedingte Aufnahme bei Kleinkindern und Heranwachsenden nahe an der TDI“ (EUROPÄISCHE KOMMISSION (2006/583/EG), 2006). Für Großbritannien schätzen TURNER ET AL. (2008), dass insgesamt 5% der Erwachsenen in Großbritannien DON oberhalb des TDI aufnehmen.

---

<sup>2</sup> Hier ist es interessant, die Verzehrdaten aus dem 2008 veröffentlichten 2. Teil der nationalen Verzehrsstudie aus Deutschland hinzuzuziehen: „Die Lebensmittelgruppen Brot, Backwaren, Getreide/-erzeugnisse sowie daraus hergestellte Gerichte zählen vom mengenmäßigen Verzehr zu den Bedeutendsten. Bei den Männern sind sie mit mehr als 300 g/Tag tatsächlich die meist verzehrten Gruppen, ...“ (MAX RUBNER INSTITUT, 2008b). Wobei auch das mittlere Körpergewicht der männlichen Teilnehmer laut Nationaler Verzehrsstudie (Teil 1) bei 84,6 kg lag (MAX RUBNER INSTITUT, 2008a). Ferner betonen SCHNEIDER ET AL. (2004), die Wichtigkeit, „auch Gruppen mit speziellen Verzehrsgewohnheiten (z.B. hoher Verzehr einzelner, stärker belasteter Lebensmittel, „high end user“)“ zu berücksichtigen. Männliche Vielverzehrer (95. Perzentil) konsumieren laut NVS (Teil 2) z.B. 370g Brot, andere Getreideprodukte kommen hier noch hinzu (MAX RUBNER INSTITUT, 2008b).



Die Höchstgehalte verbinden den TDI-Wert mit dem Lebensmittelkonsum. Von der Sachlogik her ist zu erwarten, dass folgendes gilt:

Wenn bei allen Getreideprodukten die Höchstgehalte eingehalten werden, dann liegt die Mykotoxinbelastung bei Verbrauchern, deren Konsum an Getreideprodukten den durchschnittlichen Konsum um nicht mehr als x Prozent übersteigt, unterhalb des TDI-Wertes. Diese Erwartung wird jedoch nicht erfüllt. Die Höchstwerte sind allein mit Blick auf die damit verbundenen Kosten der Lebensmittelunternehmen so festgelegt worden, dass bei guter fachlicher Praxis keine Gefahr besteht, dass die tatsächlichen Gehalte in die Nähe der Höchstgehalte kommen. Diese Festlegungspraxis steht in keiner Beziehung zur oben genannten Sachlogik und hat das gänzlich unerwartete Ergebnis zur Folge, dass, wenn bei allen Getreideprodukten die Höchstgehalte an Mykotoxinen erreicht würden, die Belastung eines Verbrauchers mit durchschnittlichem Konsum dieser Produkte über dem TDI-Wert liegen würde.

Allein der Tatsache, dass die Höchstgehalte nicht erreicht werden, ist es zu verdanken, dass der TDI heute nur in wenigen Fällen überschritten wird.

Aus ökonomischer Sicht spricht nichts dagegen, wenn sich informierte Bürger freiwillig einem Risiko aussetzen. Bei Mykotoxinrisiken sind die Bedingungen für eine solche bewusste Entscheidung nicht gegeben. Es kommt zu negativen Gesundheitseffekten, die aufgrund von individuellen Nutzen-Kosten-Überlegungen vermieden worden wären.

Die aggregierte Zahlungsbereitschaft für Weizenprodukte übersteigt daher (in Höhe der volkswirtschaftlichen Krankheitskosten) den volkswirtschaftlichen Grenznutzen dieser Produkte und es werden mehr Weizenprodukte verzehrt als im Allokationsoptimum.

## **7 Zukünftige Entwicklung der Mykotoxinproblematik**

Es gibt Faktoren, die begünstigend auf das Risiko einer Infektion mit *Fusarium* wirken. Dieses sind insbesondere die Anbaubedingungen, die das Vorhandensein von Inokulum beeinflussen, und die Witterung zum Zeitpunkt der Weizenblüte. Beide Faktoren haben sich in jüngster Vergangenheit dahingehend verändert, dass die Gefahr eines *Fusarium*-Befalls gestiegen ist und es ist wahrscheinlich, dass dieser Prozess zunächst anhalten wird.

### **7.1 Anbaubedingungen**

Das Ausgangsinokulum wird vorwiegend von der Vorfrucht und indirekt durch die Art der Bodenbearbeitung beeinflusst (BARTELS & RODEMANN, 2003). Als besonders infektionsbegünstigend gelten Weizen und noch stärker Mais, die mit Fusarien kontaminierte Ernterückstände hinterlassen. Auf die besondere Bedeutung von Mais als Vorfrucht für den *Fusarium*-Befall weisen auch KRAUTHAUSEN ET AL. (2003) hin, insbesondere bei pflugloser Bodenbearbeitung. Verbleiben diese Ernterückstände auf der Bodenoberfläche stellen sie eine gute Infektionsquelle für den Befall der Folgekultur dar. Laut BARTELS und RODEMANN (2003) bestimmen immer stärker kurzfristige wirtschaftliche Überlegungen anstelle pflanzenbaulicher oder phytopathologischer Gesichtspunkte über die Gestaltung von Fruchtfolgen. GRÖBLINGHOFF ET AL. (2003) stellen die Zunahme des Anteils Winterweizen in den letzten Jahren aufgrund seiner ökonomischen Vorzüge heraus. Auch der Anbau von Mais hat in den letzten Jahren zugenommen und dieser Trend wird sich, nach der Einschätzung von GÖMANN ET AL. (2007) fortsetzen, da die Novellierung des Gesetzes für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG, beschlossen am 21.07.2004, gültig ab 01.08.2004) einen hohen ökonomischen Anreiz für den Anbau nachwachsender Rohstoffe geschaffen hat. Dieses gilt laut GÖMANN ET AL. (2007) besonders für Energiemais. Parallel lässt sich eine Zunahme der pfluglosen, „konservierenden“ Bodenbearbeitung beobachten (BRUNOTTE, 2007), die zu mehr Ernterückständen als Ausgangsinokulum führt.

## 7.2 Klimawandel

Hohe Temperaturen und Niederschläge zur Zeit der Weizenblüte begünstigen die Infektionsgefahr für *Fusarium*. Hinsichtlich der vergangenen und künftig erwarteten Entwicklung des Klimas hat der zwischenstaatliche Klimabeirat der Vereinten Nationen (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2007) im Klimabericht 2007 festgestellt:

- “Eleven of the last twelve years (1995-2006) rank among the twelve warmest years in the instrumental record of global surface temperature (since 1850)”
- Für die Zukunft: “Continued GHG emissions at or above current rates would cause further warming”
- “From 1900 to 2005, precipitation increased significantly in eastern parts of North and South America, northern Europe ...”
- Als Regional-scale change wird aufgeführt: “very likely precipitation increases in high latitudes”

Die Deutsche Meteorologische Gesellschaft (DMG, 2007) hat im Vorgriff auf den vierten Sachstandsbericht des IPCC eine Stellungnahme abgegeben und festgestellt:

- „In Deutschland beläuft sich die Klimaerwärmung sogar auf 1,1°C“ (gegenüber den von der IPCC global gemittelten Anstieg der oberflächennahen Lufttemperatur von 0,7°C in den letzten 100 Jahren (1906-2005), mit der schwächsten Erwärmung im Herbst)
- „Seit 1906 beobachten wir eine Niederschlagszunahme um 17 % im Winter; im Sommer fällt 7 % weniger Niederschlag. Betrachten wir nur die letzten 50 Jahre, so fallen die heutigen Sommer sogar um 14% trockener aus. Die Zwischenjahreszeiten zeigen für den Zeitraum 1906-2005 Zunahmen um 14 %.“

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die günstigen Infektionsbedingungen für *Fusarium* - hohe Temperaturen und Niederschläge zur Zeit der Weizenblüte - zugenommen haben und voraussichtlich weiter zunehmen werden. Auch dieses lässt eine Verschärfung der Mykotoxinproblematik erwarten.

## 8 Wohlfahrtsökonomische Konsequenzen

Es ist aufgrund der Veränderung der Rahmenbedingungen mit einer Verschärfung der Mykotoxinproblematik zu rechnen. Die zunehmende Belastung von Getreideprodukten mit Mykotoxinen führt also dazu, dass für immer mehr Menschen der Konsum von Getreideprodukten mit gesundheitlichen Schäden verbunden ist. Die damit einhergehenden Wohlfahrtseffekte verdeutlicht Abbildung 5. In dieser Abbildung werden zwei Konsumentengruppen eines mykotoxinbelasteten Agrarprodukts ( $x$ ) unterschieden: Die Risikogruppe (R) und die Nicht-Risiko-Gruppe (N). Bei der Risikogruppe führt der Anstieg der Mykotoxinbelastung in den Lebensmitteln dazu, dass – bei unveränderten Konsumgewohnheiten – der TDI-Wert überschritten wird und negative Gesundheitseffekte auftreten. Bei der Konsumentengruppe N ist dies nicht der Fall. In Abbildung 5 unterstellen wir ohne Einschränkung der Allgemeingültigkeit unserer Aussagen, dass in der Ausgangslage (aktuelle Mykotoxinbelastung, nur marginale Krankheitsfälle) die aggregierten (kompensierten) Nachfragefunktionen beider Verbrauchergruppen übereinstimmen ( $D^R = D^N$ ).

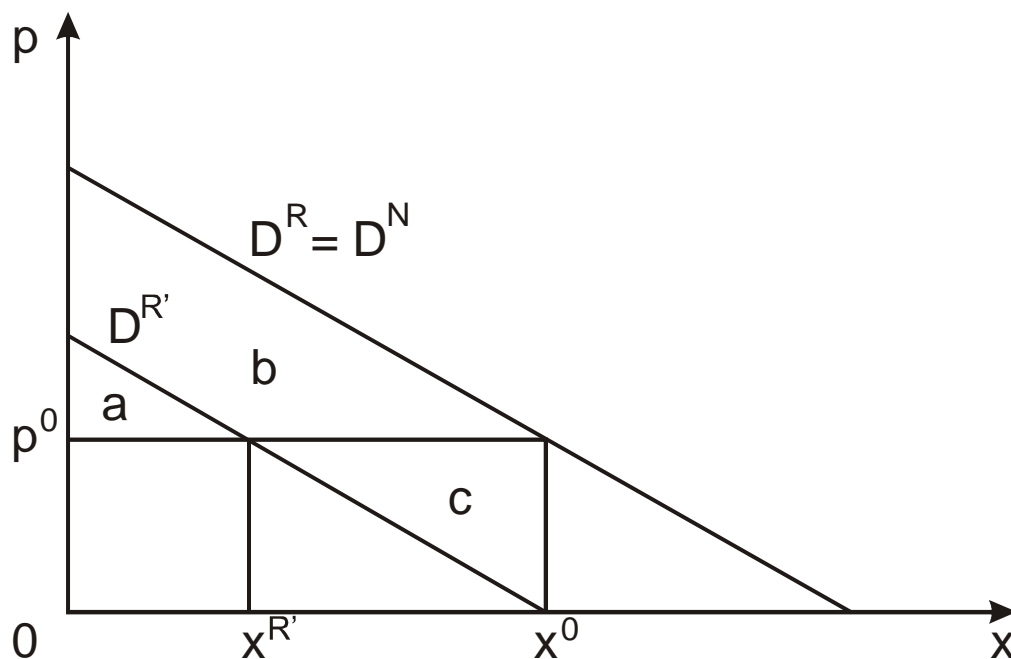


Abbildung 5 Negative Allokationseffekte aufgrund der Zunahme der Mykotoxinbelastung

Bei einem Marktpreis von  $p^0$  fragen beide Gruppen jeweils die Menge  $x^0$  nach. Vernachlässigen wir die geringe Zahl der Gesundheitsschäden, die auch heute schon als Folge des Konsums von  $x$  auftreten, dann sind mit dem Marktergebnis positive Wohlfahrtseffekte von zweimal ( $a + b$ ) verbunden. Nach Erhöhung der Mykotoxinbelastung kommt es durch den

Verzehr von  $x$  in der Gruppe  $R$  zu nennenswerten Krankheitsfällen. Bei fehlender Information über diese Gesundheitsgefährdung ändert sich an der Nachfragefunktion dieser Gruppe nichts. Die Nachfragefunktion  $D^R$  gibt jetzt jedoch nicht mehr den volkswirtschaftlichen Grenznutzen des Konsums von  $x$  für  $R$  an. Um diesen zu bestimmen, müssen wir die Zahlungsbereitschaft der  $R$ -Verbraucher um die volkswirtschaftlichen Kosten der Krankheitsfälle korrigieren. Diese volkswirtschaftlichen Kosten bestehen (im Wesentlichen) in den Entschädigungsforderungen für die mit den Krankheitsfällen verbundenen psychischen und physischen Belastungen. In Abbildung 5 repräsentiert  $D^R$  die entsprechend korrigierte Nachfragekurve. Die Risikogruppe fragt somit unter Allokationsgesichtspunkten zuviel von  $x$  nach. Die Kompensierende Variation dieser Gruppe entspricht nach der Erhöhung der Mykotoxinbelastung nur noch der Fläche  $a$ . Des Weiteren erleidet die Gruppe einen Wohlfahrtsverlust in Höhe von  $c$ .

Insgesamt gesehen ist also die gesellschaftliche Wohlfahrt um  $b + c$  gesunken. Dies kann sogar dazu führen, dass auf dem Markt für das mykotoxinbelastete Agrarprodukt  $x$  ein negatives Wohlfahrtsergebnis erreicht wird.

## **9 Möglichkeiten der Mykotoxinreduzierung**

Wenn es zu einer Verschärfung der Mykotoxinproblematik kommt, muss hierauf reagiert werden, damit die Gesundheit der Verbraucher nicht gefährdet wird.

Die Verantwortung für die Einhaltung der zulässigen Höchstgehalte liegt bei den Lebensmittelunternehmern. „Lebensmittelunternehmer“ sind Personen, die für die Einhaltung der Anforderungen des Lebensmittelrechtes in den ihrer Kontrolle unterstehenden Unternehmen zuständig sind. „Lebensmittelunternehmen“ sind alle Unternehmen, „die eine mit der Produktion, der Verarbeitung und dem Vertrieb von Lebensmitteln zusammenhängende Tätigkeit ausführen“ (Verordnung (EG) Nr. 178/2002). Somit ist auch der Landwirt Lebensmittelunternehmer.

### **9.1 Anbautechnische Möglichkeiten**

Im Falle eines erhöhten Infektionsdrucks müssen die Landwirte verstärkt die Anbaubedingungen so gestalten, dass das Risiko eines *Fusarium*-Befalls abnimmt, damit das von ihnen produzierte Getreide den gesetzlichen Vorgaben genügt. Am effektivsten erscheint hierbei nach derzeitigem Stand der Kenntnisse die Beeinflussung folgender Faktoren: Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Sortenwahl sowie der Einsatz von Fungiziden. Weitere landwirtschaftliche Maßnahmen wie z.B. eine optimale Bestandesführung und N-Düngung scheinen von geringerem Einfluss zu sein (VERREET & AUMANN, 2002). Die verstärkte

Ausrichtung des Anbaus aufgrund der Mykotoxinproblematik kann jedoch reduzierte Gewinne oder das Eingehen von Kompromissen in anderen Bereichen wie z.B. dem Bodenschutz zur Folge haben.

So führt eine Änderung der Fruchtfolge, die einen erheblichen Einfluss auf das Infektionspotential mit *Fusarium* haben kann (BARTELS & RODEMANN, 2003; KRAUTHAUSEN ET AL., 2003), zur Abweichung vom betriebswirtschaftlichen Optimum.

Ein verstärkter Einsatz des Pfluges, der über eine Einarbeitung der Ernterückstände das Ausgangsinokulum reduziert (KRAUTHAUSEN ET AL., 2003; BRUNOTTE, 2007), bedeutet das Eingehen von Kompromissen hinsichtlich des Bodenschutzes. Auf die Wichtigkeit des Schutzes der natürlichen Ressource Boden sowie die Verankerung dessen im Bundes-Bodenschutzgesetz weist BRUNOTTE (2007) hin. Zum Bodenschutz kann die „konservierende Bodenbearbeitung“, bei der von dem Wenden durch den Pflug abgesehen wird, beitragen (BRUNOTTE, 2007).

Wenn die Auswahl der Weizensorte ausschließlich aufgrund des hohen Resistenzniveaus erfolgt, so kann das zu Ertragsverlusten führen (BRUNOTTE, 2007): In dem dargestellten Versuch zeigte die resistente Sorte ‚Petrus‘ gegenüber einer mittel und hoch anfälligen Sorte ca. 30 dt/ha weniger Ertrag (BRUNOTTE, 2007), allerdings in Jahren mit geringem Befallsniveau. In Jahren mit starkem Befallsdruck, der aufgrund der Witterungsabhängigkeit zur Zeit der Anbauplanung nicht vorhersehbar ist, kann *Fusarium* jedoch Ertragsverluste und Qualitätsverluste bis hin zur völligen Unbrauchbarkeit des Erntegutes für die menschliche Ernährung verursachen (BÜTTNER, 2006). Hier berichten MCMULLEN ET AL. (1997) z.B., dass im nordöstlichen North Dakota, die durchschnittlichen Weizenenerträge in einem befallsstarken Jahr um 45% im Vergleich zum befallsfreien Jahr sanken. Neue Weizensorten mit hohem Resistenzniveau gegenüber Ährenfusarien könnten in Zukunft „annähernd hohe Erträge wie die konventionellen Sorten“ erbringen (BRUNOTTE, 2007). Das Landesamt für Verbraucherschutz in Brandenburg gibt in dem Sortenratgeber Winterweizen 2008/2009 folgendes an: „Das gegenwärtig im Sortimentsdurchschnitt erreichte Resistenzniveau ist zwar verbessert, aber noch nicht ausreichend, um bei hohem Befallsdruck die geforderten niedrigen Mykotoxinwerte ausschließlich über die Sortenwahl zu gewährleisten.“

Der Einsatz von Azolfungiziden ist nur in einem engen Zeitfenster (+/- 2-4 Tage nach der Infektion) effektiv (BARTELS & RODEMANN, 2003). Er kann den *Fusarium*-Befall und späteren DON-Gehalt reduzieren, zeigte aber unter praktischen Bedingungen lediglich Wirkungsgrade von unter 50% (BARTELS & RODEMANN, 2003).

Für eine wirkungsvolle Reduktion der DON-Belastung, müssen möglichst viele der Risikofaktoren reduziert werden. BRUNOTTE (2007) weist darauf hin, dass sich „bei einer Kumulierung von Risikofaktoren die Toxin-Gehalte multiplikativ“ erhöhen. Dennoch garantiert auch die Beachtung der Vielzahl der Faktoren keine mykotoxinfreie Produktion, sondern nur eine Reduzierung des Problems. Dieses spiegelt auch der hohe prozentuale Anteil DON-positiver Proben, die je nach Produktgruppe zwischen 50 und 91% lagen, wider (CURTUI ET AL., 2006).

## **9.2 Alternative Nutzung belasteter Partien**

Eine massenhafte Entsorgung befallenen Materials ist volkswirtschaftlich und betriebswirtschaftlich nicht sinnvoll, zumal in Jahren starken Befalls große Getreidemengen betroffen sein können (DÄNICKE ET AL., 2006). Eine alternative Einsatzmöglichkeit für mykotoxinbelastetes Getreide besteht in der energetischen Nutzung (DÄNICKE ET AL., 2006). Allerdings weist der OECD (2003) auf einen zukünftig erhöhten Nahrungsmittel-Getreidebedarf aufgrund des kontinuierlichen Bevölkerungswachstums hin.

## **9.3 Dekontamination**

Verschiedene Stufen der Separation und Reinigung können den Mykotoxingehalt im Vorfeld der weiteren Getreideverarbeitung reduzieren (MÜNZING, 2005), anschließend können im Rahmen der Vermahlung, stärker kontaminierte (äußere) Partien des Getreidekorns entfernt werden (DÄNICKE ET AL., 2006). Eine vollständige Dekontamination ist bisher aber anscheinend nicht möglich (DÄNICKE ET AL., 2006). Sie gestaltet sich insbesondere aufgrund der hohen Stabilität von Mykotoxinen als schwierig (ALDRED ET AL., 2004).

## **10 Zusammenfassung der Ausgangssituation für die Verbesserung des Risikomanagements**

Die Prävention der Entstehung von Mykotoxinen durch Vor-Ernte Management in Form Guter Landwirtschaftlicher Praxis ist die beste Methode, um die Kontamination einzuschränken (PARK ET AL., 1999, EUROPÄISCHE KOMMISSION (2006/583/EG), 2006). Allerdings ist eine mykotoxinfreie Getreideproduktion bisher nicht möglich, da wichtige Einflussfaktoren, wie die Witterung nicht beeinflusst werden können (EUROPÄISCHE KOMMISSION (2006/583/EG), 2006). Ferner kann der Landwirt seine Anbauplanung nicht ausschließlich aufgrund der Mykotoxinproblematik gestalten (vgl. BRUNOTTE, 2007, BARTELS & RODEMANN, 2003). Aufgrund entstehender Kosten erscheint eine Ausschöpfung aller anbautechnischen Möglichkeiten in der Praxis nicht durchsetzbar. Auch in der Verarbeitungskette ist eine vollständige Reduzierung von Mykotoxinen nicht möglich. Aufgrund der Rahmenbedingungen (Klimaveränderung, Anbau, Abschnitt 7) erscheint ein weiterer Anstieg der Mykotoxinproblematik realistisch.

Die jüngste Vergangenheit zeigt, dass eine Nichteinhaltbarkeit der Höchstgehalte zu einer dementsprechenden Anpassung der gesetzlichen Regulierungen führen kann: „Nach jüngsten Informationen wurden in den Maisernten 2005 und 2006 im Vergleich zu den Ernten 2003 und 2004 höhere Gehalte vor allem an Zearalenon und Fumonisin sowie in geringerem Umfang auch an Deoxynivalenol festgestellt, was auf die Wetterbedingungen zurückzuführen war. Die vorgesehenen Höchstgehalte für Zearalenon und Fumonisine können somit bei bestimmten Wetterbedingungen für Mais nicht eingehalten werden, selbst wenn so weit wie möglich Präventionsmaßnahmen getroffen werden. Daher müssen die Höchstgehalte geändert werden, um Marktstörungen zu vermeiden und gleichzeitig ein hohes Schutzniveau für die öffentliche Gesundheit aufrechtzuerhalten, indem gewährleistet wird, dass die Exposition des Menschen deutlich unter dem gesundheitsbezogenen Richtwert bleibt“ (Verordnung (EG) Nr. 1126/2007). Eine solche Anhebung gewährleistet, dass auch weiterhin die Lebensmittelunternehmen, ohne dass zusätzliche Anstrengungen nötig werden, Getreideprodukte mit einem Mykotoxingehalt bereitstellen können, der – abgesehen von Ausnahmefällen – unter den Höchstwerten liegt. Vor diesem Hintergrund erscheint eine aus Sicht des gesundheitlichen Verbraucherschutzes sinnvolle Absenkung der zulässigen DON-Höchstgehalte nicht realistisch.

Nach der Analyse der Literatur zu DON stellt sich folgende Frage: Wurde der Grundsatz der gesundheitlichen Unbedenklichkeit eingehalten? Die zulässigen Grenzwerte lassen eine mehrfache Überschreitung des TDI-Wertes durch Kleinkinder zu. Aufgrund dieser



Beobachtung drängt sich die Frage auf, ob ein Lebensmittel mit derartigen DON-Gehalten für Kleinkinder gesundheitlich unbedenklich ist. Wird diese Frage mit „ja“ beantwortet, folgt logisch die Frage nach dem Sinn, der richtigen Höhe und Aussagekraft des TDI-Wertes.

Wird die Frage nach der gesundheitlichen Unbedenklichkeit verneint und wird gleichzeitig von der Richtigkeit der Höhe des TDI-Wertes für DON ausgegangen, ist zu klären, wie alternativ erreicht werden kann, dass insbesondere Kleinkinder, aber auch Erwachsene, sicher Weizenprodukte verzehren können, ohne den TDI-Wert zu überschreiten.

Es ist angesichts der sich tendenziell verschärfenden Situation (Klima und Wettbewerbsdruck) nicht zu erwarten, dass die zulässigen Höchstgehalte in nächster Zukunft gesenkt werden. Damit besteht das Risiko, dass die Zahl der Verbraucher, die bei unveränderten Konsumgewohnheiten eine Mykotoxin-Dosis oberhalb des TDI-Wertes zu sich nehmen, ansteigen wird.

Insofern erscheint aus unserer Sicht eine Verbesserung des Risikomanagements aus Konsumentensicht sinnvoll, die ohne Gesetzesänderung sicherstellt, dass Konsumenten den TDI-Wert unterschreiten können.

## 11 Alternative Ansätze im Risikomanagement

Alternative Herangehensweisen an die Regulierung der Lebensmittelsicherheit entstehen in den OECD-Staaten mit dem Bestreben die Marktleistung zu fördern (UNNEVEHR, 2003). Dazu zählen: Freiwillige Richtlinien oder Standards, Bereitstellung einer Zertifizierung durch Dritte, Bereitstellung von Information durch Labelling, Einführung einer gesetzlichen Haftung für Lebensmittelrisiken, Einführung eines freiwilligen oder verbindlichen Systems für Rückverfolgbarkeit. Detailliert hat UNNEVEHR (2003) diese Ansätze in einer Tabelle mit Beispielen, der jeweiligen Rolle des öffentlichen Sektors und den möglichen Nutzen dargestellt (Tabelle 3).

**Tabelle 3 Alternative Lösungsansätze zur Regulierung der Lebensmittelsicherheit (Quelle: UNNEVEHR, 2003)**

Type of approach	OECD country example	Public sector role	Benefits
Guidelines	UK voluntary guidelines for farms to reduce <i>Salmonella</i> in pigs.  US voluntary good agricultural practices to reduce microbial hazards in fresh fruits and vegetables.	Public sector can develop guidelines or certification that is science-based, directed toward public health, and credible to consumers.	Reduced hazards but only where guidelines or certification adopted; and reduced transactions cost in markets for safety.
Third Party Certification	USDA quality through verification program certifies that fresh produce is produced under HACCP.  Netherlands IKB programs for livestock producers.		
Labelling	US required safe handling labels on fresh meat and poultry products.	Identify where information critical to facilitate consumers' risk avoidance.	Reduces market failure where information previously lacking; Alters hazard incidence in some cases.
Liability	UK "Due Diligence" laws.	Establishes responsibility for food safety.	Improves safety by providing incentives for producers to follow practices that minimise hazards.
Traceability/product tracing	EU Food Law establishes as principle for food safety policy  Japan requires traceability/product tracing in beef sector.	Establish information and marketing channel requirements.	Facilitates tracing problems in case of outbreak; can provide incentives for producers to improve safety.

Für Politiker ist es wichtig, zu entscheiden, welche Rolle der öffentliche Sektor bei der Gestaltung der Lebensmittelsicherheit einnehmen sollte und zwischen öffentlichen und privaten Bemühungen zu unterscheiden (UNNEVEHR, 2003). Der private Sektor ist in OECD-Staaten mit steigenden Anreizen, sichere Lebensmittel mit einem geringst möglichen Gefahren-Level zu produzieren, konfrontiert. Aufgabe des öffentlichen Sektors ist es, zu identifizieren, wo Eingriffe des Staates den Markt für Lebensmittelsicherheit fördern können und die Einführung von Standards für die öffentliche Gesundheit erforderlich ist (UNNEVEHR, 2003).

Richtlinien und Zertifizierungsprogramme (durch die öffentliche Hand oder privater Art) erbringen laut UNNEVEHR (2003) den gleichen Nutzen, wobei die Zertifizierung entweder für die Vermarktung an die Konsumenten oder nur in der Wertschöpfungskette genutzt werden kann. Der öffentliche Sektor sollte wissenschaftsbasierte Programme, die auf den Schutz der öffentlichen Gesundheit abzielen und glaubwürdig für die Konsumenten sind, etablieren.

Die essentielle Rolle von Labeln ist es, den Konsumenten Informationen zu liefern, nicht Lebensmittelsicherheit zu gewährleisten. Generell müssen alle Lebensmittel sicher sein, aber absolute Sicherheit ist rar und die Sicherheit hängt teilweise von der Art des Gebrauchs ab (UNNEVEHR, 2003).

Haftung für Lebensmittelsicherheit ist in den meisten OECD-Staaten wenig verbreitet, was auch mit der Schwierigkeit zusammenhängt, lebensmittelbasierte Krankheiten eindeutig einer spezifischen Quelle zuzuordnen. Dabei soll die Verantwortung für die Lebensmittelsicherheit vom Konsumenten oder Einzelhändler weg verlagert werden (UNNEVEHR, 2003).

Regulatoren zeigen vermehrtes Interesse an Rückverfolgbarkeit (UNNEVEHR, 2003). Die Codex Alimentarius Commission hat verschiedene mögliche Aspekte der Rückverfolgbarkeit aufgeführt (u.a. Produktidentifizierung, woher ein Produkt kam, wohin es geht, Ursprung der Materialien, Verteilung und Ort des Produktes nach der Auslieferung, UNNEVEHR, 2003). Die Rückverfolgung kann die Quelle eines Ausbruchs einer lebensmittelbedingten Erkrankung ausfindig machen und zur Eliminierung (Rückrufe) dieser führen, sie ist somit Teil des reaktiven Risikomanagements. Rückverfolgung kann für ein nachträgliches Monitoring (Identifizierung unerwarteter / neuer Gefahren beim Auftreten von Gesundheitseffekten) genutzt werden. Ferner kann die Rückverfolgbarkeit zur Glaubwürdigkeit von Lebensmittelsicherheit beitragen (UNNEVEHR, 2003).

## 12 Verbraucherinformation als Handlungsoption

### 12.1 Schaffung einer Informationsplattform

Die in Abschnitt 8 aufgeführten negativen Wohlfahrtseffekte aufgrund der Zunahme der Mykotoxinproblematik treten nicht auf, wenn die Verbraucher wissen, ob sie zur Risikogruppe R gehören oder nicht. Verfügen alle Verbraucher über die diesbezüglichen Informationen, so werden die nutzenmaximierenden Mitglieder der Gruppe R bei ihren Nachfrageüberlegungen die Krankheitskosten berücksichtigen. Die aggregierten Zahlungsbereitschaften dieser Gruppe entsprechen dann der Nachfragekurve  $D^R$  und von der R-Gruppe wird die „richtige“ Menge  $x^R$  nachgefragt (Abbildung 5).

Für die Bereitstellung dieser Informationen ist die Schaffung einer Informationsplattform für Mykotoxine sinnvoll. Diese Informationsplattform sollte auf einer relationalen Datenbank basieren, mit einer benutzerfreundlichen Oberfläche ausgestattet und allgemein zugänglich sein (Internet). Bereitstellen könnte eine derartige Informationsplattform z.B. der Staat. Für Risikokommunikation, d.h. die Information der Konsumenten über Risiken ist das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) zuständig. Aber auch NGOs, wie die Verbraucherzentralen könnten den Konsumenten diese Informationen liefern.

Nach Eingabe relevanter Daten liefert die Informationsplattform dem Benutzer die Information, ob er zu der Normalverbraucher-Gruppe N gehört, die aufgrund ihrer Ernährungsweise unterhalb des TDI-Wertes bleibt, oder zur Risikogruppe R. Wichtige individuelle Daten, die der Verbraucher eingeben muss, sind sein Körpergewicht [kg], sowie die Verzehrmenge [g] bestimmter Produkte.

In der Datenbank sollten zwei Datensätze hinterlegt sein: Einerseits die maximal zulässigen Mykotoxinhöchstgehalte der Produkte, andererseits Durchschnittswerte der aktuellen Mykotoxinbelastung der Lebensmittel, die fortlaufend von Bund und Ländern im Rahmen des Lebensmittelmonitorings erfasst werden. Die Aufnahme der Höchstgehalte macht Sinn, da sie dem Verbraucher die Information liefert, ob er aufgrund seiner Verzehrsgewohnheiten im ungünstigen Fall (tatsächliche Belastung = Höchstbelastung) den TDI-Wert überschreitet. Die Aufnahme der tatsächlichen DON-Gehalte in die Informationsplattform macht Sinn, da die Höchstgehalte so festgelegt sind, dass die Mehrzahl der Verbraucher bei einer Ausschöpfung der zulässigen Höchstgehalte zur Risikogruppe R gehören würde.

Aus dem Körpergewicht des Verbrauchers sowie den durchschnittlichen realen Mykotoxingehalten der verschiedenen Produkte, die verzehrt werden, berechnet sich die maximal mögliche Aufnahme des Verbrauchers an diesem Tag. Aufgrund der Berechnungen kann dem Verbraucher die Information geliefert werden:

- Wenn der TDI unterschritten wird: „Sie nehmen mit den angegebenen Produkten nach derzeitigem Kenntnisstand nur toxikologisch unbedenkliche Mengen des Schimmelpilzgiftes DON auf (bzw. der Schimmelpilzgifte XYZ).“ Bei Unterschreitung des TDI auch bei einer maximal zulässigen Belastung der Produkte erscheint außerdem der Zusatz: „Sie nehmen auch dann nur toxikologisch unbedenkliche Mykotoxinmengen auf, wenn die tatsächliche Belastung der maximal zulässigen Höchstbelastung entspricht.“
- Wenn der TDI überschritten wird: „Bei Ihnen besteht aufgrund Ihrer Ernährungsweise das Risiko einer gesundheitlich bedenklichen Aufnahme des Schimmelpilzgiftes DON (bzw. der Schimmelpilzgifte XYZ). Eine Umstellung der Ernährung kann für Sie mehr Gesundheitsschutz bedeuten.“

Dabei muss ferner klargestellt werden, dass eine Gesundheitsgefährdung bei längerfristiger und nicht bei einmaliger TDI-Überschreitung besteht. Stellt ein Verbraucher fest, dass er zur Risikogruppe gehört und eventuell dauerhaft eine höhere Menge bestimmter Mykotoxine aufnimmt, als nach aktuellem Stand der Wissenschaft unbedenklich ist, hat er die Möglichkeit zu reagieren. Logisch und sinnvoll ist in diesem Fall die Einschränkung des Konsums von mit Mykotoxinen belasteten Produkten. Dabei bestehen zwei Möglichkeiten: Entweder kann der Konsument seinen Konsum gefährdeter Produkte, d.h. von Getreideprodukten generell einschränken. Dieses kann sich jedoch als schwierig erweisen, da Getreideprodukten um Grundnahrungsmittel handelt, die nicht einfach zu ersetzen sind. Als Alternative könnte er theoretisch auf geringer belastete Getreideprodukte zurückgreifen. Dieses gestaltet sich derzeit als schwierig, da alle Getreideprodukte (mit Ausnahme von Baby/Kleinkindprodukten) aufgrund der Gesetzeslage Mykotoxine in einem potentiell bedenklichen Ausmaß enthalten dürfen.

## 12.2 Marktsegmentierung

Mit einer Informationsplattform sind noch weitere positive Wohlfahrtseffekte verbunden, und zwar dann, wenn es zu einer Marktsegmentierung kommt. Auf dem einem Markt bieten Anbieter Produkte entsprechend der EU-Verordnung an, auf dem anderen Markt Anbieter, deren Produkte so gering mit Mykotoxinen belastet sind, dass auch die Verbraucher der Risikogruppe sicher sein können, trotz Beibehaltung ihrer Konsumgewohnheiten, den TDI nicht zu überschreiten. Dieses wäre beispielsweise der Fall, wenn der aktuelle Mykotoxingehalt beibehalten wird. Sinnvoll erscheint hier die Erschaffung eines Labels, das diesen reduzierten Mykotoxingehalt kennzeichnet. Wenn sich ein solcher Markt für sichere Agrarprodukte etabliert, dann stellt dies für alle Marktteilnehmer eine Verbesserung dar – andernfalls würden sie auf diesem Markt nicht als Anbieter oder Nachfrager aktiv werden.

Halten die Landwirte die Produktionsbedingungen ein, um Mykotoxine zu vermeiden, ist das mit Kosten verbunden. Diese Kosten werden zu einem Preisanstieg führen ( $p^0$  auf  $p^1$ , Abbildung 6). Die Wohlfahrtsverluste betragen  $2 * (d + e)$ , wenn die Konsumenten nicht wissen, ob sie zur Risikogruppe gehören. Verfügen die Konsumenten über dieses Wissen, reduzieren sich die Wohlfahrtsverluste auf nur  $1 * (d + e)$ , da nur die Konsumenten der Risikogruppe die sichere, aber teurere Produktgruppe kaufen werden, während die Nicht-Risiko-Konsumenten ihre alten Konsumgewohnheiten beibehalten werden.

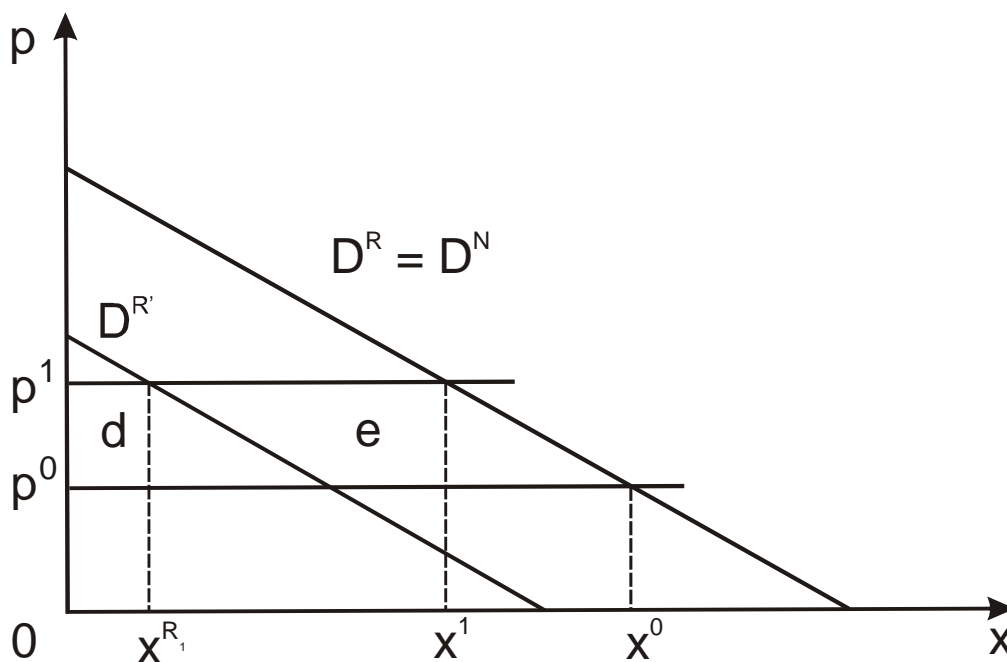


Abbildung 6 Preisanstieg und Wohlfahrtsverluste aufgrund höherer Produktionskosten.

### **13 Abschließende Bemerkungen**

Ein Vorteil der Informationsplattform besteht in einer erhöhten Transparenz, die dazu beitragen kann, das in jüngster Vergangenheit u.a. durch die Lebensmittelskandale reduzierte Vertrauen der Konsumenten in die Lebensmittelsicherheit wiederzugewinnen. Eine erhöhte Transparenz für die Konsumenten ist auch als eine zentrale Forderung der Europäischen Kommission im Weißbuch zur Lebensmittelsicherheit (KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN, 2000) verankert. Dort heißt es in der Zusammenfassung des Punktes Verbraucherinformation: „Gleichzeitig müssen die Verbraucher über neu auftretende Probleme der Lebensmittelsicherheit und über Risiken, die bestimmte Lebensmittel für einzelne Verbrauchergruppen darstellen können, besser informiert werden. Die Verbraucher können mit Recht erwarten, dass Informationen über die Qualität und die Bestandteile von Lebensmitteln hilfreich sind und klar präsentiert werden, so dass man Entscheidungen in Kenntnis der Sachlage fällen kann. [...] Ferner soll den Verbrauchern die Bedeutung einer ausgewogenen Ernährung und deren Auswirkungen auf die Gesundheit vor Augen geführt werden“ (KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN, 2000).

„Schließlich ist ein proaktiverer Ansatz bei der Information über unvermeidbare Risiken für bestimmte Bevölkerungsgruppen erforderlich. Frauen im gebärfähigen Alter, Schwangere, Kleinkinder, ältere und immungeschädigte Menschen sollten aktiver vor den möglichen Risiken bestimmter Lebensmittel gewarnt werden“ (KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN, 2000). Diesem Ansatz würde die Informationsplattform in vollem Umfang gerecht, zumal sie eindeutig erkennen ließe, dass eine ausgewogene und vielfältige Ernährung neben den bereits allgemein bekannten gesundheitlichen Vorteilen auch der einfachste Weg ist, die übermäßige Aufnahme einzelner Mykotoxine zu vermeiden. Gleichzeitig wird dem Verbraucher durch die transparentere Information mehr Eigenverantwortung für seine gesunde Ernährung gegeben (Stichwort Konsumentensouveränität).

Ein offener und proaktiver Umgang mit der Mykotoxinproblematik ist aus unserer Sicht umso wichtiger, da dieses Thema seit einiger Zeit immer wieder auch von populärwissenschaftlichen Medien aufgegriffen wird: So waren Backshops (Titel des Artikels: „Brot kann schimmeln, was kannst du“) ein Thema der Zeitschrift „Ökotest“ im April 2008 (HANSEN, 2008a) und Toastbrote („Schimmel und Schimmelpilzgifte“, „Achtung Schimmel“) das Titelthema der August 2008 – Ausgabe von „Ökotest“ (HANSEN, 2008b).

## Literatur

- ALDRED, D., MAGAN, N. und M. OLSEN (2004): The use of HACCP in the control of mycotoxins: the case of cereals. In: Magan, N. und M. Olsen (Editors) (2004): Mycotoxins in food: detection and control. Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, UK, 139-173.
- BARTELS, G. und B. RODEMANN (2003): Strategien zur Vermeidung von Mykotoxinen in Getreide. *Gesunde Pflanzen* 55 (5), 125-135.
- BEER, E. (2005): Arbeitsergebnisse aus der Projektgruppe „Krankheiten im Getreide“ der Deutschen Phytomedizinischen Gesellschaft e. V. *Gesunde Pflanzen* 57, 59–70.
- BENNETT, J.W. und M. KLICH (2003): Mycotoxins. *Clinical Microbiology Reviews*, July 2003, 497-516.
- BfR (2005): BfR entwickelt neues Verzehrmodell für Kinder. Information Nr. 016/2005 des BfR vom 2. Mai 2005. [www.bfr.bund.de/cm/218/bfr\\_entwickelt\\_neues\\_verzehrmodell\\_fuer\\_kinder.pdf](http://www.bfr.bund.de/cm/218/bfr_entwickelt_neues_verzehrmodell_fuer_kinder.pdf), Tag der Einsicht: 27.03.2008.
- BfR (2006): Erste Erfolge bei der Minimierung der Kontamination von Lebensmitteln mit dem Schimmelpilzgift Deoxynivalenol. Kurzprotokoll eines Expertengesprächs vom 26. Januar 2006. [http://www.bfr.bund.de/cd/3862?index=68&index\\_id=7872](http://www.bfr.bund.de/cd/3862?index=68&index_id=7872), Tag der Einsicht 28.01.2008.
- BRUNOTTE, J. (2007): Konservierende Bodenbearbeitung als Beitrag zur Minderung von Bodenschadverdichtungen, Bodenerosion, Run off und Mykotoxinbildung im Getreide. *Landbauforschung Völkenrode. FAL Agricultural Research. Sonderheft 305. FAL Braunschweig.*
- BÜTTNER, P. (2006): Das Artenspektrum der Gattung *Fusarium* an Weizen und Roggen in Bayern in den Jahren 2003 und 2004. *Gesunde Pflanzen* 58, 28–33.
- CHO, B.-H. und N. H. HOOKER (2009): Comparing Food Safety Standards. *Food Control* 20 (1), 40-47.
- CODEX ALIMENTARIUS (1995): Codex general standard for contaminants and toxins in foods. CODEX STAN 193-1995.
- CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION der FAO/WHO, 2002. Codex Committee on Food Additives and Contaminants, 35th Session. Discussion Paper on Deoxynivalenol.
- CURTUI, V., BROCKMEYER, A., DIETRICH, R., KAPPENSTEIN, O., KLAFFKE, H., LEPSCHY, J., MÄRTLBAUER, E., SCHNEIDER, E., SEIDLER, C., THIELERT, G., USLEBER, E., WEBER, R. und J. WOLFF (2006): Analytik und Vorkommen wichtiger Fusarientoxine (Deoxynivalenol, Zearalenon) sowie Aufnahme dieser Toxine durch den deutschen Verbraucher. Abschlussbericht. *Angewandte Wissenschaft Heft 511.*
- DÄNICKE, S., VALENTA, H. und K.-H. UEBERSCHÄR (2006): Fusarien-Toxine. In: Flachowsky, G. (Hrsg.) (2006): Möglichkeiten der Dekontamination von „Unerwünschten Stoffen nach Anlage 5 der Futtermittelverordnung (2006). Sonderheft 294. *Landbauforschung Völkenrode. FAL Agricultural Research*, 169-201.



- DMG (2007): Stellungnahme der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft (DMG) zum Klimawandel 21. März 2007. [www.dmg-ev.de/gesellschaft/stellungnahmen/DMG-KlimastatementKurzf\\_160307.pdf](http://www.dmg-ev.de/gesellschaft/stellungnahmen/DMG-KlimastatementKurzf_160307.pdf), Tag der Einsicht: 11.02.2008.
- EISGRUBER, H. und M. BÜLTE (2006): Mikrobiologische Kriterien und Mykotoxin-Höchstgehalte für Lebensmittel - Rechtsvorschriften, Referenzverfahren und Empfehlungen in der Europäischen Union und der Schweiz. Behr's Verlag, Hamburg. 98 Seiten.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (2006/576/EG): Empfehlung der Kommission vom 17. August 2006 betreffend das Vorhandensein von Deoxynivalenol, Zearalenon, Ochratoxin A, T-2- und HT-2-Toxin sowie von Fumonisin in zur Verfütterung an Tiere bestimmten Erzeugnissen (2006/576/EG).
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (2006/583/EG): Empfehlung der Kommission vom 17. August 2006 zur Prävention und Reduzierung von Fusarientoxinen in Getreide und Getreideprodukten (2006/583/EG).
- FAO (2004): Worldwide regulations for mycotoxins in food and feed in 2003. FAO food and nutrition paper 81. Rome 2004. Verfügbar unter <http://www.fao.org/docrep/007/y5499e/y5499e00.htm>, Tag der Einsicht: 22.11.2007.
- Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG), Ausfertigungsdatum: 21.07.2004, [www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/eeg\\_2004/gesamt.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/eeg_2004/gesamt.pdf), Tag der Einsicht 07.02.2008.
- GÖMANN, H., KREINS, P. und T. BREUER (2007): Deutschland – Energie-Corn-Belt Europas? Agrarwirtschaft 56 (5/6), 263-271.
- GRÖBLINGHOFF, F.-F., DASENHOF, C. und G. STEMANN (2003): Pflanzengesundheit, Qualität und Mykotoxinbelastung von Winterweizen als Brotgetreide und Futtermittel in differenzierten Systemen der Bodenbewirtschaftung. Abschlussbericht.
- HANF, C.-H. (1999): Zur Bedeutung von Vertrauenseigenschaften für den Wettbewerb auf Lebensmittelmärkten. Vortrag auf der 40. Gewisola Tagung, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- HANSEN, H. (2008a): Test Backshops. Brot kann schimmeln, was kannst Du? Ökotest 04 / 2008, 30-38.
- HANSEN, H. (2008b): Test Toastbrot. Achtung Schimmel? Ökotest 08 / 2008, 24-29.
- IPPC (2007): Intergovernmental Panel on Climate Change. Fourth Assessment Report. Climate Change 2007: Synthesis Report. Summary for Policymakers.
- JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, 2001): Safety evaluation of certain mycotoxins in food: prepared by the fifty-sixth meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). WHO Food Additives Series, No. 47/FAO Food and Nutrition Paper 74.
- KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN (2000): Weißbuch zur Lebensmittelsicherheit. Brüssel, 12. Januar 2000. KOM (1999) 719 endg. [ec.europa.eu/dgs/health\\_consumer/library/pub/pub06\\_de.pdf](http://ec.europa.eu/dgs/health_consumer/library/pub/pub06_de.pdf). Tag der Einsicht: 01.02.2008.

- KRAUTHAUSEN, H.-J., WEINERT, J., BAUERMANN, W. und G.A. WOLF (2003): Mehrjährige Erhebungen zum Vorkommen von Ährenfusarien und dem Mykotoxin Deoxynivalenol in Getreide aus Rheinland-Pfalz. *Gesunde Pflanzen*, 55 (5), 136-143.
- KUIPER-GOODMANN (2004): Risk assessment and risk management of mycotoxins in food. In: Magan, N. und M. Olsen (Editors) (2004): *Mycotoxins in food: detection and control*. Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, UK, 367-405.
- LANDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND FLURNEUORDNUNG BRANDENBURG: Sortenratgeber 2008/2009 Winterweizen. Download im pdf-Format unter [www.mluv.brandenburg.de/info/sortenratgeber](http://www.mluv.brandenburg.de/info/sortenratgeber). Tag der Einsicht: 14.04.2009.
- MAX RUBNER INSTITUT (2008a): Nationale Verzehrsstudie II Ergebnisbericht, Teil 1.
- MAX RUBNER INSTITUT (2008b): Nationale Verzehrsstudie II Ergebnisbericht, Teil 2.
- MCMULLEN, M., R. JONES, und D. GALLENBERG (1997): Scab of wheat and barley: A reemerging disease of devastating impact. *Plant Disease* 81, 1340-1348.
- MHmVO (2004): Verordnung über Höchstmengen in Lebensmitteln (Mykotoxin-Höchstmengenverordnung-MHmVO) vom 2. Juni 1999, zuletzt geändert am 09. September 2004.
- MIEDANER, T. (2003): Züchterische Ansätze zur Verminderung des Mykotoxingehaltes im Erntegut von Weizen. *Landinfo* 3/2003, 14-18.
- MÜNZING, K. (2005): Markt- und Gesetzesanforderungen zur Einhaltung von Höchstwerten bei Fusarien- und Mutterkorn-Toxinen. In: DLG Wintertagung 2005. Reduzierung von *Fusarium* und Mutterkorn bei Anbau, Lagerung und Aufbereitung von Weizen. Münster, 12. Januar 2005. Kurzfassungen der Vorträge.
- NAU, H., STEINBERG, P. und M. KIETZMANN (2003): *Lebensmitteltoxikologie. Rückstände und Kontaminanten: Risiken und Verbraucherschutz*. Parey Blackwell Verlag GmbH, Berlin. Wien.
- NEUBERT, D. (2004): Möglichkeiten der Risikoabschätzung und der präventiven Gefährdungsminimierung. In: Marquardt, H. und S. Schäfer (Hrsg.): *Lehrbuch der Toxikologie*. 2. Auflage. Stuttgart: Wiss. Verl.-Ges. 2004.
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) (2003): *Emerging Systemic Risks. Final Report to the OECD Futures Project*. Paris.
- OERKE, E.-C., MEIER, A., LIENEMANN, K., MEYER, G, MUTHOMI, J., SCHADE-SCHÜTZE, A., STEINER, U. und H.-W. DEHNE (2001): Auftreten und Bekämpfung von *Fusarium*-Arten im Rheinland. In: Tagungsband „*Fusarium*-Befall und Mycotoxinbelastung von Getreide – Ursachen, Auswirkungen, Vermeidungsstrategien“, 13. Wissenschaftliche Fachtagung am 7.11.2001, Landwirtschaftliche Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms Universität Bonn.
- PARK, D.L., NJAPAU, H. und E. BOUTRIF (1999): Minimizing risks posed by mycotoxins utilizing the HACCP concept. *Food, Nutrition and Agriculture (FAO)* 23, 49-56.

- PIETERS, M. N., FREIJER, J., BAARS, B. J., FIOLET, D. C. M., KLAVEREN, J. VAN und W. SLOB (2002): Risk assessment of Deoxynivalenol in food: concentration limits, exposure and effects. In: DeVries, J. W., Trucksess, M. W. und L. S. Jackson (Eds.). *Mycotoxins and food safety: Proceedings of an American Chemical Society symposium held in Washington, DC, USA, on 21-23 August 2000*, 2002. Serie: *Advances in Experimental Medicine and Biology*. Kluwer Academic Publishers. Volume 504, 235-248.
- RENN, O., SCHWEIZER, P.-J., DREYER, M. und A. KLINKE (2007): *Risiko. Über den gesellschaftlichen Umgang mit Unsicherheit*. Oekom, München.
- SCF (Scientific Committee on Food) (1999): *Opinion of the Scientific Committee on Food on Fusarium toxins. Part 1: Deoxynivalenol (DON)* (2. December 1999).
- SCF (Scientific Committee on Food) (2002): *Opinion of the Scientific Committee on Food on Fusarium toxins. Part 6: Group evaluation of T-2 toxin, HT-2 toxin, nivalenol and Deoxynivalenol* (adopted on 26 February 2002).
- SCHNEIDER, K., GERDES, H., HASSAUER, M., OLTMANN, J. und J. SCHULZE (2002): Berücksichtigung der Risikogruppe Kind bei der Ableitung gesundheitsbezogener Umweltstandards. [www.apug.de/archiv/pdf/kinderempfindlichkeit.pdf](http://www.apug.de/archiv/pdf/kinderempfindlichkeit.pdf), Tag der Einsicht: 27.03.2008.
- SCHNEIDER, K., SCHUHMACHER-WOLZ, U., OLTMANN, J. und M. CLAUSBERG (2004): *Verfahren zur Standardsetzung für Höchstgehalte für Umweltkontaminanten in Lebensmitteln. Endbericht*. [http://www.bfr.bund.de/cm/208/verfahren\\_zur\\_standardsetzung\\_fuer\\_hoehstgehalte\\_fuer\\_umweltkontaminanten\\_in\\_lebensmitteln.pdf](http://www.bfr.bund.de/cm/208/verfahren_zur_standardsetzung_fuer_hoehstgehalte_fuer_umweltkontaminanten_in_lebensmitteln.pdf), Tag der Einsicht: 03.03.2008.
- SHEPHARD, G.S. (2006): *Mycotoxins in the context of food risks and nutrition issues*. In: Barug, D., Bhatnagar, D. Van Egmond, H.P., Van Der Kamp, J.W., Van Osenbruggen, W.A. und A. Visconti (Editors): *The Mycotoxin Factbook: Food and Feed Topics*. Wageningen Academic Publishers, 2006, 21-36.
- TURNER, P. C., ROTHWELL, J. A., WHITE, K. L.M., GONG, Y.Y., CADE, J. E. und C. P. WILD (2008): *Urinary Deoxynivalenol Is Correlated with Cereal Intake in Individuals from the United Kingdom*. *Environ Health Perspect.* 2008 January; 116 (1), 21–25.
- UNNEVEHR, L. J. (2003): *Costs and benefits of food safety regulation / OECD*. [Prep. by Laurian Unnevehr]. In: *Organisation for Economic Co-operation and Development : OECD papers 2003, 3 (7), 9-51*.
- VERBRAUCHERZENTRALE BUNDESVERBAND (2005): *Verbraucherpolitisches Forum am 27.01.2005 in Berlin. No risk – no trade? – Verbraucherschutz im globalen Lebensmittelmarkt. Thesen und Forderungen des Verbraucherzentrale Bundesverbandes e.V. – vzbvwww.vzbv.de/start/download.php?file=codex\_alimentarius\_hintergrundpapier\_01\_2005.pdf&ordner=mediapics*, Tag der Einsicht: 04.04.2008.
- Verordnung (EG) Nr. 1126/2007 der Kommission vom 28. September 2007 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln hinsichtlich Fusarientoxinen in Mais und Maiserzeugnissen.

- Verordnung (EG) Nr. 178/2002 des europäischen Parlaments und Rates vom 28. Januar 2002 zur Festlegung der allgemeinen Grundsätze und Anforderungen des Lebensmittelrechts, zur Errichtung der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit und zur Festlegung von Verfahren zur Lebensmittelsicherheit.
- Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 der Kommission vom 19. Dezember 2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln.
- Verordnung (EG) Nr. 856/2005 der Kommission vom 6. Juni 2005 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 466/2001 in Bezug auf Fusarientoxine.
- Verordnung (EWG) Nr. 315/93 des Rates vom 8. Februar 1993 zur Festlegung von gemeinschaftlichen Verfahren zur Kontrolle von Kontaminanten in Lebensmitteln.
- VERREET, J-A. und J. AUMANN (2002): Mykotoxinproblematik in der Pflanzenproduktion. In: Beiträge zum ersten Workshop der Arbeitsgruppe Lebensmittelqualität und -sicherheit QUASI der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Schriftenreihe der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Universität Kiel, Heft 94, (2002). Selbstverlag der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- VERSTRAETE, F. (2006): Decision-making process and overview of recent and future European Union legislation on mycotoxins in food and feed. In: Barug, D., Bhatnagar, D., van Egmond, H.P., van der Kamp, J.W., van Osenbruggen, W.A. und A. Visconti (Eds.): The Mycotoxin Factbook, Academic Publishers, The Netherlands, Wageningen, 51-82.
- WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung zu Globalen Umweltveränderungen, 1999): Welt im Wandel: Der gesellschaftliche Umgang mit globalen Umweltrisiken. Jahrgutachten 1998. Springer, Berlin.
- WU, F. (2006). "Economic impact of Aflatoxin and Aflatoxin regulations on global corn and peanut markets." In: Barug, D., Bhatnagar, D., van Egmond, H.P., van der Kamp, J.W., van Osenbruggen, W.A. und A. Visconti (Eds.): The Mycotoxin Factbook, Academic Publishers, The Netherlands, Wageningen, 83-94.