

### 3 Mykotoxinproblematik im Getreide – Bedeutung, Vorkommen und Vermeidung

**Rodemann, B. und Bartels, G.**

Gesunde, qualitativ hochwertige Nahrungsmittel sind wichtige Voraussetzungen für einen vorbeugenden Verbraucherschutz und eine hohe Lebensmittelsicherheit. Die Belastung der Nahrung mit Rückständen jeglicher Art ist in letzter Zeit Mittelpunkt heftiger öffentlicher Diskussionen. Zahlreiche Hinweise und Untersuchungen haben gezeigt, dass unter bestimmten Bedingungen durch Pilze gebildete Giftstoffe, sog. Mykotoxine, unsere Ernteprodukte belasten können und es bei deren Verzehr durch Mensch und Tier zu Vergiftungen kommen kann.

Aufgrund ihrer Toxikologie geht von Mykotoxinen eine nicht zu unterschätzende gesundheitliche Gefährdung für Mensch und Tier aus, die irreparable Schädigungen nach sich ziehen kann. Im Extremfall sind tödliche Vergiftungen möglich.

Die FAO schätzt, dass weltweit ca. 25 % der Weltproduktion von Nahrungsmitteln bzw. Futtermitteln mit Mykotoxinen kontaminiert sind.

#### **Was sind Mykotoxine ?**

Mykotoxine sind von Pilzen produzierte Stoffe des Sekundärstoffwechsels mit unterschiedlich ausgewiesener Human- und Tiertoxizität. Die chemische Struktur ist unterschiedlich und ebenso ihre Wirkung. Bisher sind über 400 dieser Verbindungen bekannt, wobei allerdings nur ein kleiner Teil aufgrund ihres Vorkommens in Nahrungs- und Futtermitteln von Bedeutung ist. Neben den Pilzgattungen *Aspergillus* und *Penicillium* ist es vor allem die phytopathogene Gattung *Fusarium*, die zu den Toxinbildnern zählt.

Gerade Getreide kann sowohl im Bestand auf dem Feld als auch im Lager von einer Reihe von Pilzen befallen werden, die in der Lage sind, Mykotoxine zu bilden. Hierzu zählen u. a. Fusarien, *Penicillium*, *Aspergillus* und der Mutterkornpilz *Claviceps purpurea*. Sie können erregerspezifische Mykotoxine wie Trichothecene, Ergoalkaloide, Fumonisine, Zearalenon und Ochratoxin A produzieren. Die mykotoxinbildenden Pilze wachsen nicht nur an der Oberfläche, sondern sie dringen auch tief in Pflanzen, Ernteprodukte oder Lebensmittel ein und produzieren dort die schädlichen Stoffwechselmetaboliten. Diese können frei ins Gewebe abgegeben oder in die Zellen eingelagert bzw. bei Verzehr freigesetzt werden. Als

ideales Nährsubstrat für die Schaderreger gelten Stoffe mit Kohlenhydraten, pflanzlichen und tierischen Ölen, organisch und anorganisch gebundenem Stickstoff und Stoffe mit ausreichendem Wassergehalt.

**Abb. 1:** Vorkommen wichtiger *Fusarium*-Arten an verschiedenen Organen des Getreides und ihre Fähigkeit zur Toxinbildung (nach Chelkowski, 1989)

Species	Pflanzenteil	Mykotoxine
<i>F. nivale</i> = <i>Microdochium nivale</i>	Halmbasis, Blatt, Ähre	<u>Kein Toxinbildner</u>
<i>F. graminearum</i>	Halmbasis, Blatt, Ähre	Trichothecene (DON, NIV), Zearalenon
<i>F. culmorum</i>	Halmbasis, Blatt, Ähre	Trichothecene (DON), Zearalenon
<i>F. poae</i>	Blatt, Ähre	Butenolid, Fusarin C, Trichothecene (NIV, DAS)
<i>F. avenaceum</i>	Blatt, Ähre	Moniliformin, Fusarin
<i>F. crookwellense</i>	Blatt, Ähre	Trichothecene (NIV), Zearalenon,
<i>F. sporotrichioides</i>	Blatt, Ähre	Trichothecene (T-2, HT-2)

Auf dem Feld sind es vorwiegend Vertreter der Gattung *Fusarium*, die das Krankheitsbild „partielle Taubährigkeit“ an Getreide, vornehmlich an Weizen, hervorrufen (s. Abb. 1). Diese *Fusarien* führen nicht nur zu Ertrags- und Qualitätsverlusten, sondern sie bilden unter gewissen Bedingungen Mykotoxine, die sehr stabil und hitzebeständig sind und weder beim Kochen noch Backen zerstört werden.

Das am häufigsten vorkommende und nachgewiesene Toxin im Getreide ist das Deoxynivalenol (DON) aus der Substanzklasse der Trichothecene einschließlich seiner Derivate, zu denen auch das Nivalenol gehört. Sie wirken immunsuppressiv und lösen Übelkeit, Erbrechen und Darmbluten aus. Weitere bekannte Mykotoxine sind die erst Anfang der 80er Jahre entdeckten Fumonisine, die kanzerogen sind, sowie das Moniliformin, das in den 70er Jahren entdeckt wurde und Herzschwäche hervorruft. Ein zu den Toxinen gezähltes weiteres Stoffwechselprodukt ist das Zearalenon, welches dem Hormon Östrogen ähnelt und zu Früh- und Missgeburten führen kann.

## Wege der Nahrungsmittelkontamination

Mykotoxine können auf folgenden Wegen in Nahrungsmittel gelangen:

### - Primärkontamination

Lebensmittelrohstoffe sind von Toxinbildnern befallen, durch die Verarbeitung kommt es zu einer Zerkleinerung und Verteilung im Endprodukt, so dass Schädigungen kaum sichtbar sind. Beim Getreide wird unterschieden zwischen Mykotoxinen, die bereits vor der Ernte auf dem Feld gebildet werden (durch „Feld-Pilze“ wie *Fusarium*) und denen, die nach der Ernte aufgrund unsachgemäßer Lagerung im Erntegut entstehen (durch „Lager-Pilze“ wie *Aspergillus* und *Penicillium*).

### - Sekundärkontamination

Fertige Lebensmittel oder Rohstoffe verschimmeln, wobei Mykotoxine gebildet werden. Diese Entwicklung ist häufig optisch erkennbar.

### - Carry over

Die Rückstandsbildung von Mykotoxinen und deren Metaboliten in Lebensmitteln tierischen Ursprungs (carry over) hängt von ihren toxikinetischen Eigenschaften bzw. der Bioverfügbarkeit ab und ist infolge der strukturellen Vielfalt dieser Substanzen differenziert zu beurteilen. Während bspw. für *Fusarium*-toxine durch deren rasche Metabolisierung und Ausscheidung nicht von einer nennenswerten Rückstandsbildung ausgegangen werden muss, kann es beim Ochratoxin A durch die Bindung an Serum-Albumin zu einer gewissen Rückstandsbildung kommen.

## Verbraucherschutz durch Festsetzung von Höchstmengen

Die Festsetzung von Höchstmengen an Mykotoxinen sowie deren Einhaltung ist wesentlicher Bestandteil eines vorbeugenden Verbraucherschutzes. Bislang wurden jedoch noch keine einheitlichen Höchstmengen im Getreide innerhalb der EG festgesetzt. Auf nationaler Ebene wurde dagegen eine Änderung der Mykotoxin-höchstmengenverordnung und der Diätverordnung am 19.12. 2003 vom Bundesrat verabschiedet. Hiernach werden in Speisegetreide, Getreideerzeugnissen und Teigwaren die Höchstmengen für Deoxynivalenol (DON) auf 500 µg/kg und für Zearalenon (ZEA) auf 50 µg/kg festgesetzt. Dabei ist unter Speisegetreide Getreide nach einer Schwarz- und Weißreinigung zu verstehen, es kann direkt verzehrt werden oder als Grundlage für die Herstellung von Lebensmitteln dienen.

**Tab. 1: Nationale Mykotoxin-Höchstmenge für verschiedene Toxine [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ ];  
Quelle: BAGKF, Detmold**

<b>Ochratoxin A</b>	löslicher Kaffee	6
	Röstkaffee	3
	Trockenobst, ausgenommen aus Weintrauben	2
Deoxynivalenol	Speisegetreide, Getreideerzeugnisse und Teigwaren ausgenommen Hartweizen/Hartweizenerzeugnisse	500
	Brot, Kleingebäck und feine Backwaren	350
<b>Fumonisine (B1 + B2)</b>	Mais und Maiserzeugnisse, außer Cornflakes	500
	Cornflakes	100
<b>Zearalenon</b>	Speisegetreide, Getreideerzeugnisse und Teigwaren, sowie Brot, Kleingebäck und feine Backwaren	50
<b>Patulin</b>	Apfelsaft, Apfelmus, Apfelkompott	25

**Tab. 2: Nationale Mykotoxinhöchstmenge in Säuglings- und Kleinkindernahrung [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ ]; Quelle: BAGKF, Detmold**

<b>Ochratoxin A</b>	in Beikost	0,03
	in Säuglingsanfangsnahrung und Folgenahrung	0,01
<b>Fumonisine (FB1 + FB2)</b>	in Mais und Maiserzeugnissen zur Herstellung von diätetischen Lebensmitteln für Säuglinge und Kleinkinder	100
<b>Zearalenon</b>	in Speisegetreide, Getreideerzeugnissen und Teigwaren zur Herstellung von diätetischen Lebensmitteln für Säuglinge und Kleinkinder	20
<b>Deoxynivalenol</b>	in Speisegetreide, Getreideerzeugnissen und Teigwaren zur Herstellung von diätetischen Lebensmitteln für Säuglinge und Kleinkinder	100
<b>Patulin</b>	in Apfelsaft, Apfelmus, Apfelkompott zur Herstellung von diätetischen Lebensmitteln für Säuglinge und Kleinkinder	10

In Brot und anderen Backwaren mit einem Getreidgehalt von mehr als 33 % wird für DON ein Höchstwert von 350  $\mu\text{g}/\text{kg}$  Getreide festgesetzt. Die Konzentration von Fumonisin B1 und B2 in Mais und Maiserzeugnissen darf danach 500  $\mu\text{g}/\text{kg}$  und in Cornflakes 100  $\mu\text{g}/\text{kg}$  nicht übersteigen (Tabellen 1 und 2).

### Mykotoxinbelastung in einzelnen Getreidekulturen

Die Ergebnisse bundesweiter DON-Untersuchungen der Bundesanstalt für Getreide-, Kartoffel- und Fettforschung, BAGKF, Detmold in 2002 ergaben die nachstehenden Ergebnisse (Tab.3).

**Tab. 3: DON-Belastung von Getreideproben der Jahre 2001 und 2002 (Ergebnisse der BEE durch die BAGKF , Detmold)**

	W-Weizen		Triticale		Roggen	
	2001	2002	2001	2002	2001	2002
<b>Anzahl Proben</b>	253	261	258	478	189	196
<b>unbelastet [%]</b>	34,8	15,7	20,5	12,4	41,6	24,5
<b>&gt; 500 µg /kg [%]</b>	15,8	13	10,2	8	1,1	4,1
<b>Mittelwert [µg/kg]</b>	272	238,5	169,9	210,7	56	153
<b>Median [µg/kg]</b>	69	136,9	58,2	110,6	< 10	39

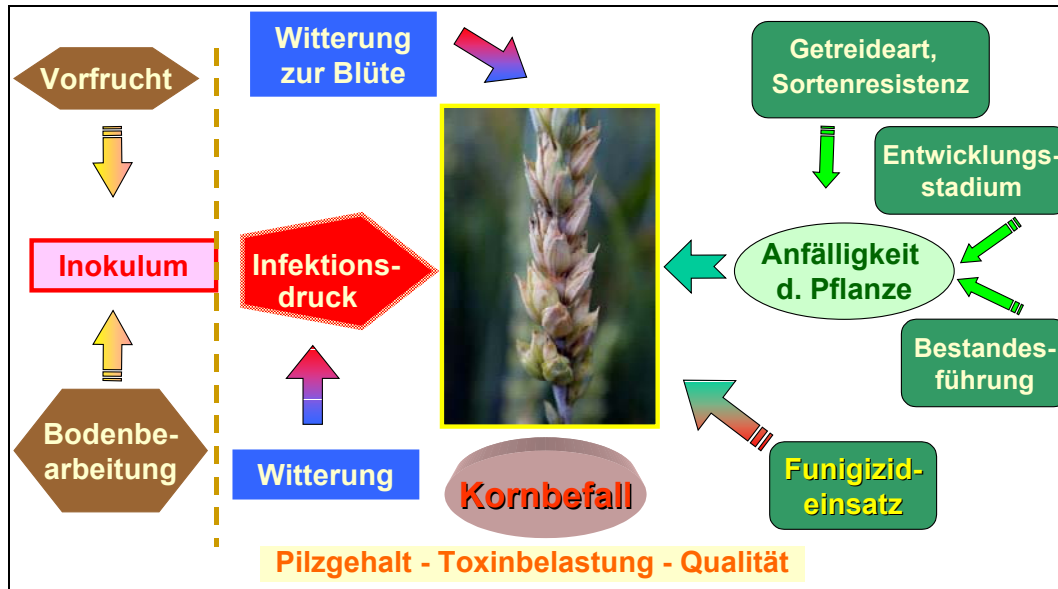
Wie die Ergebnisse in Tab. 3 zeigen, liegt bei Weizen der Anteil der Proben mit DON-Gehalten > 500 mg/kg in den Jahren 2001 und 2002 zwischen 13 % und 16 %, bei Triticale und Roggen deutlich niedriger. Die Medianwerte verdeutlichen jedoch, dass der überwiegende Teil der Proben in allen drei Getreidearten sehr geringe Doxynivalenolwerte aufwies.

### Einfluss- und Risikofaktoren

#### *Fusariumbefall am Weizen*

Der Befall des Weizens mit Fusarien und damit die Belastung des Erntegutes mit Mykotoxinen ist von Jahres-, Witterungs-, Standort- und Sorteneinflüssen sowie anbautechnischen Maßnahmen abhängig und kann unter bestimmten Konstellationen immer wieder auftreten. Aufgrund einer z. Zt. noch unzureichenden Prognosemöglichkeit zum Auftreten der Erreger und nicht ausreichender Wirkung von Pflanzenschutzmitteln ist eine gezielte Bekämpfung der Erreger nur bedingt möglich. Es müssen daher vorrangig vorbeugende Maßnahmen ergriffen werden, um die Schadenswahrscheinlichkeit zu vermindern (vergl. Kap. 4 und 5). Die Zusammenhänge zwischen den Einflussfaktoren zeigt die Abb. 2.

**Abbildung 2:** Zusammenwirken verschiedener Einflussfaktoren hinsichtlich des Auftretens der Partiellen Taubährrigkeit. (Weinert, pers. Mitt., 1995, Rodemann und Bartels, 2002)



Für einen Befall ist zunächst das Infektionspotential oder das Ausgangsinokulum ausschlaggebend. Dieses Inokulum wird vorwiegend von der Vorfrucht und deren Ernterückständen, sowie indirekt durch die Art der Bodenbearbeitung beeinflusst. So können Vorfrüchte wie Weizen und insbesondere Mais Ernterückstände hinterlassen, auf denen Fusarien sich ansiedeln und überdauern können.

Verbleiben derartige mit den Erregern kontaminierte Ernterückstände auf der Bodenoberfläche, stellen sie enorme Infektionsquellen für den Befall des Weizens im nächsten Jahr dar.

Das Zusammenspiel zwischen Inokulum und Witterung entscheidet über die Stärke des Infektionspotentials für die Pflanze. Dabei gelten Witterungsbedingungen mit Temperaturen  $> 18 - 19 \text{ }^{\circ}\text{C}$  und täglichen Niederschlägen von mehr als 5 mm zum Zeitpunkt der Blüte des Weizens als besonders infektionsfördernd. Neben den beschriebenen Bedingungen ist es für die Entwicklung des Schaderregers wichtig, dass bei vorhandenem Inokulum bereits im Frühjahr Niederschläge fallen, welche die Pilzentwicklung, d.h. Fruchtkörper- oder Konidienbildung, auf der Oberfläche der Erntereste induzieren.

Die Blüteninfektion führt zunächst zum Befall einzelner Ährchen, die in der weiteren Pflanzenentwicklung dann ausbleichen. Je nach Infektionszeitpunkt und

Infektionsintensität wächst der Pilz bis zur Spindel und in die unterhalb der Infektionsstelle liegenden Kornanlagen. So entsteht dann das typische Bild der Partiiellen Taubährrigkeit.

### *Fruchtfolgegestaltung*

Die Fruchtfolge, das zeitliche und räumliche Nacheinander einzelner Kulturarten, kann das Auftreten von Fusarien stark beeinflussen. Aufgrund der Bedeutung des Inokulumpotentials kommt der Fruchtfolgegestaltung und hier insbesondere der Vorfrucht eine zentrale Stellung für das Befallsgeschehen zu.

Fruchtfolgen mit hohem Anteil an Getreide und insbesondere Mais, die als Vorfrüchte vor Weizen stehen, können ein hohes Infektionspotential auf den Stoppel- und Ernterrückständen hinterlassen. Damit steigen die Möglichkeiten der Vermehrung und Überdauerung des Pilzes in der vegetationsfreien Zeit erheblich an. Wie Abbildung 3 zeigt, übt gerade der Mais als Vorfrucht zu Weizen einen stark infektionsfördernden Einfluss aus, in dessen Folge der Mykotoxingehalt im Weizen ansteigt. So hat Mais als Vorfrucht zu Weizen ein mehrfach höheres Gefährdungsrisiko als beispielsweise Gerste oder Zuckerrüben.

Nun geht die Gefahr des Pilzbefalls mit nachfolgender Mykotoxinbelastung nicht in erster Linie von der Kultur aus, sondern viel stärker von den Ernterrückständen, die diese Kulturen hinterlassen. Die Forderung, den Anteil der problematischen Kulturen in der Fruchtfolge zu reduzieren, ist aus phytopathologischer und Pflanzenschutzsicht nur verständlich. Allerdings werden heute Fruchtfolgen stärker aus ökonomischen Sachzwängen als pflanzenbaulichen und Pflanzenschutzgesichtspunkten begründet. Wenn dann aber die Pflanzenrückstände auf der Bodenoberfläche das eigentliche Problem sind, so müssen weitere Kriterien bei der vorbeugenden Bekämpfung Berücksichtigung finden, wie z. B. durch die Bodenbearbeitung.

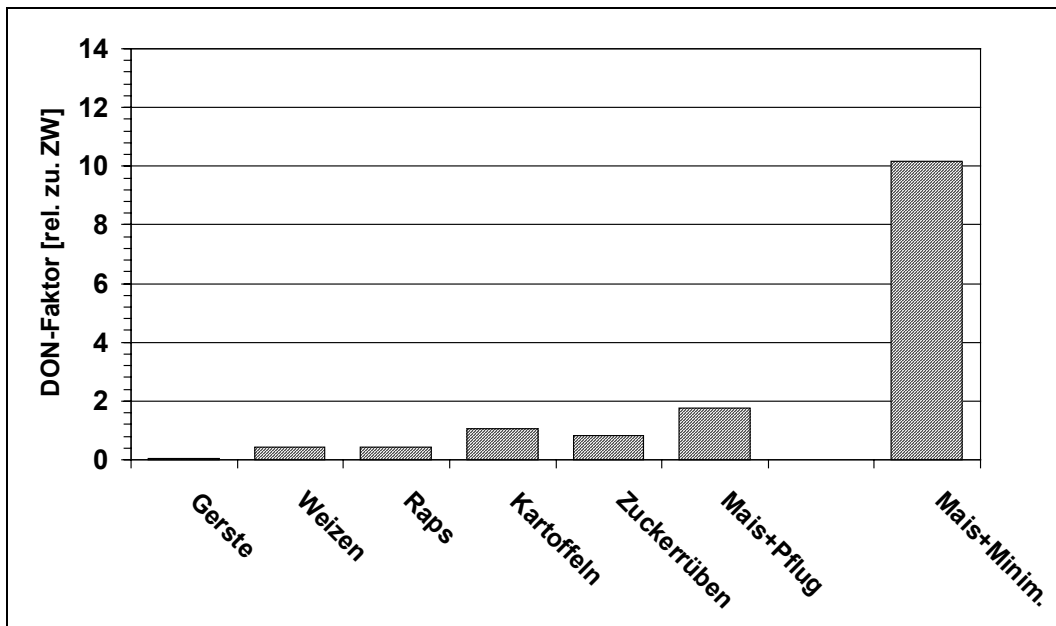
### *Bodenbearbeitung*

In der vegetationsfreien Zeit überdauern die Pilze hauptsächlich auf abgestorbenen, noch nicht verrotteten Ernterrückständen (Halme, Stroh, StoppeIn). Größere Mengen von Ernterrückständen insbesondere von Mais an der Bodenoberfläche fördern die Schaderregerentwicklung und erhöhen das Risiko eines Befalls für die Folgefrucht deutlich.

Die Beseitigung der Rückstände von der Oberfläche gelingt am sichersten durch eine saubere Pflugfurche. Dann ist der Infektionsdruck für die Folgefrucht zu-

nächst beseitigt. Unter ungünstigen Bedingungen, wie z.B. anaeroben Verhältnissen, kann eine vollständige Verrottung des Infektionsmaterials nur bedingt erfolgen. Somit kann u. U. im Folgejahr infektiöses Material wieder hochgepflügt werden. Da auf diesem Material ausreichend lebensfähige Fusarien vorhanden sind, ist unter günstigen Bedingungen mit einem erhöhten Befallsrisiko zu rechnen.

**Abbildung 2:** Einfluss verschiedener Vorfrüchte und der Bodenbearbeitung auf den Deoxynivalenol-Gehalt im Winterweizen im Mittel der Jahre 1993 bis 1999 (Beck & Lepschy, 2000).



Konservierende Bodenbearbeitung zeichnet sich aus durch eine schonende Lockerung, um Bodenschadverdichtungen vorzubeugen und durch Ernterückstände nahe bzw. auf der Oberfläche zum Schutz vor Verschlammung und Bodenerosion (Wind, Wasser). Diese Reststoffe bilden damit eine erhöhte Infektionsgefahr für die Folgefrucht. Zur Vorsorge sind daher alle Anstrengungen zu unternehmen, das Material möglichst klein zu häckseln und gleichmäßig über die Fläche zu verteilen, um die Rotte zu fördern. Werden die so aufbereiteten Ernterückstände mit moderner Bodenbearbeitungstechnik gleichmäßig in die Krume eingearbeitet, wird der mikrobielle Abbau beschleunigt und das Infektionspotenzial vermindert. Auch bei wendender Bodenbearbeitung ist vor der Pflugarbeit eine gute Zerkleinerung, exakte Verteilung und Einarbeitung erforderlich, um den Infektionsdruck

für das zweite Jahr zu reduzieren.

Direktsaat ist als das potenziell risikoreichste Verfahren im Hinblick auf einen Fusarienbefall anzusehen, da die Rückstände komplett an der Oberfläche verbleiben und keine Einarbeitung stattfindet – sie ist deshalb in der Abfolge Mais / Getreide zu vermeiden.

### *Sortenwahl*

Im Rahmen eines integrierten Bekämpfungsansatzes kommt der Sortenresistenz zur Vermeidung von Mykotoxinen besondere Bedeutung zu. Der Anbau wenig anfälliger Sorten gegenüber Fusarien stellt z. Zt. einen wichtigen Baustein dar. So kann bei weniger anfälligen Sorten durch die genetischen Grundlagen und die sortenspezifische Pflanzenmorphologie eine Besiedlung durch die Pathogene eingeschränkt und eine epidemiologische Ausbreitung begrenzt werden. Insbesondere bei langstrohigen Sorten ist das Risiko eines Befalls mit Fusarien aufgrund des längeren Infektionsweges vom Boden bis zur Ähre geringer, da der Pilz mehr Zeit benötigt, um bis in die Ähre zu gelangen.

Die Abb. 3 zeigt deutliche Zusammenhänge zwischen der Halmlänge der Sorte und der Einstufung des Fusariumährenbefalls. So sind die Sorten mit den Fusarium-Ausprägungsstufen von 6 und höher als kurzstrohig bzw. mittellang bekannt (Einstufung der Halmlänge bis maximal 5), Sorten mit Halmlängeneinstufung größer denn 5 zeigen recht geringe Anfälligkeitseinstufungen.

Darüber hinaus belegen Ergebnisse aus Resistenzprüfungen mit naturidentischer Inokulation, dass bei den geprüften Winterweizensorten ein enger Zusammenhang ( $r = 0,86 - 0,95$ ) zwischen dem sichtbaren Ährenbefall mit Fusarien und der DON-Belastung im Erntegut besteht.

Die Untersuchungen zeigen ebenfalls, dass es sowohl bei frühen, mittleren und späten Sorten Befallsunterschiede bzw. unterschiedliche Anfälligkeiten und auch Variationen in der DON-Belastung des Erntegutes gibt. Obwohl keine der geprüften Sorten eine ausgeprägte Resistenz aufweist, sollten künftig Sorten mit Befallseinstufungen größer 5 nicht mehr zum Anbau kommen.

### *Einsatz von Fungiziden*

Ziel aller acker- und pflanzenbaulichen Produktionsmaßnahmen muss es sein, Pflanzenbestände so zu erstellen, dass Infektionen mit mykotoxinbildenden Pilzen, hier in erster Linie der Gattung *Fusarium*, nicht möglich sind. Das gelingt jedoch nicht in allen Jahren und unter allen Bedingungen. Daher ist in Risikoan-

baugebieten und bei infektionsfördernden Bedingungen auf den Einsatz von Fungiziden nicht zu verzichten.

Zur Bekämpfung von Fusariosen stehen mehrere im Weizen zugelassene Fungizide zur Verfügung. Der Wirkungsgrad der Fungizide hinsichtlich der Befalls- und DON-Reduktion liegt bei etwa 50 – 60 % (Mielke et. al, 2000). Es sind die jeweils zugelassenen vollen Aufwandmengen zu applizieren, da sonst Wirkungsminde- rungen eintreten. Der Einsatz muss sehr gezielt in einem engen Zeitraum kurz vor bis kurz nach der Infektion (+/- 3 Tage) erfolgen. Es fehlen bis heute für den Warndienst geeignete Prognoseverfahren zum Auftreten der Pilze und zum Ein- satzzeitpunkt der Fungizide.

Trotz dieser Problematik sollten zur Bekämpfung von Fusarien zugelassene wirk- same Fungizide zum Zeitpunkt der Blüte (BBCH 61-69) eingesetzt werden.

**Abbildung 3:** Zusammenhang zwischen Ährenbefall und Halmlänge zugelassener und für den Anbau relevanter Sorten (Stand 2002, Quelle: Bundessortenamt, Beschreibende Sortenliste 2003, Teil 1; Ährenbefall: 2 = gering, 8 = sehr hoch; Halmlänge: 2 = kurz, 8 = sehr lang)

Fus.- Ähren- befall	Halmlänge					
	2	3	4	5	6	7
2					Petrus (A); Centrum (B)	
3			Enorm (E)*	SW Maxi (E)*; Sokrates (A); History (B); Campari (B)**; Hybred (B)**	Vergas (B); Arminius (A); Ökostar (A); Empire (E)**	Bussard (E);
4		Cubus (A)*; Capnor (C)**	Tommi (A)*; Amply (C)*; Dekan (B); Mandub (C)**	Compliment (A); Flair (B)	Batis (A); Magnus (A); Qualibo (E)**	Ludwig (A); Zentos (E)
5	Punch (B)*, Ranger (B)	Cardos (A); Biscay (C)	Elvis (A)*; Trend (B); Certo (C); Limes (B)**	Altos (E); Toronto (A); Terrier (B); Manhattan (K)*; Winnetou (C)*;	Aristos (A), Astron (A); Aron (E); Asketis (A); Creativ (E)**	Tiger (A)
6	Merkur (C)**	Excellenz (A)*; Kornett (A); Maverick (A)	Korund (A); Akteur (E)**; Koch (C)**	Kontrast (A), Drifter (B); Novalis (B), Redford (B)	*Neuzulassungen 2002	
7		Ritmo (B);	Topper (E)*; Opus (B)**		**Neuzulassungen 2003	

Werden diese Fungizide zu früh oder zu spät bzw. für diese Indikation nicht zugelassene Fungizide eingesetzt, wird die Schaderregerausbreitung nicht gehemmt und die damit verbundener Toxinbildung kaum unterbunden.

Fungizide sollten standort- und situationsbezogen bei befallsfördernder Witterung und in Verbindung mit vorhandenen Risikofaktoren (Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Sortenwahl) eingesetzt werden.

Inwieweit bestimmte Wirkstoffgruppen zu einer Förderung der Mykotoxinbildung beitragen, kann derzeit nicht abschließend beurteilt werden.

### ***Mutterkornproblematik im Roggen***

In den zurückliegenden Jahren ist ein deutlicher Anstieg des Befalls insbesondere des Roggens mit dem Mutterkorn (*Claviceps purpurea* (Fries)) zu verzeichnen (s. Tab. 4). Dies führte neben Ertragseinbußen zu deutlichen Mykotoxinbelastungen des Erntegutes. In der Praxis konnte der Schaderreger bislang nicht ausreichend bekämpft werden.

Da bereits Grenzwerte mit 0,05% Gewichtsanteil Mutterkorn für Nahrungsmittel und 0,1% Gewichtsanteil Mutterkorn für Futtermittel existieren, müssen gezielte Vermeidungsstrategien auf die Reduktion des Mutterkornbefalls und des Erntegutbesatzes abzielen.

Durch pflanzenbauliche Maßnahmen, wie den Anbau widerstandsfähiger Roggensorten, kann der Befall reduziert werden. Die meisten Hybridroggensorten sind im Durchschnitt der Jahre zwar ertragreicher als Populationsroggen, werden dafür aber bis zu viermal stärker durch den Erreger des Mutterkorns befallen.

Es bestehen Beziehungen zwischen dem Pollengehalt, der Antherenfläche und der Anfälligkeit gegenüber dem Erreger. Bei neu entwickelten, geringanfälligen Experimentalhybriden mit eingekreuztem Resistenzgen werden große Antheren mit hohen Pollengehalten ausgebildet. Denn normalerweise sind Antherenflächen von Populationsroggen im Vergleich zu Hybriden um 10 %, die Pollengehalte um 20 % erhöht. Die Anfälligkeit gegenüber *C. purpurea* nimmt um die Hälfte ab.

Einen weiteren integrierten Bekämpfungsansatz stellt die Zumischung von Populationsroggen (ca. 10%) zu den Hybridroggensorten dar. Aufgrund des hohen Pollenschüttungsvermögens der Populationssorten werden eine Befruchtung weitgehend gesichert und das Befallsrisiko reduziert.

Da die Blühphase als das anfällige Stadium der Pflanzen beschrieben wird, gilt es, gleichmäßig entwickelte Bestände ohne Nachschosser mit kurzer Blühphase zu erzeugen. Für den Anbau bedeutet dies, dass bei frühen Aussatterminen die Aus-

saatstärke reduziert werden muss und bei späteren Terminen deutlich angehoben werden sollte (s. Tab. 5). Generell erweisen sich frühe Saattermine als vorteilhafter. Hinsichtlich der Bestandesführung sollte auch berücksichtigt werden, dass durch Einsatz von Wachstumsreglern die Blüte verzögert wird und der Mutterkornbesatz sich um bis zu 50% erhöhen kann. Eine Bekämpfung des Schaderregers ist mit Fungiziden derzeit nicht möglich, da keine Pflanzenschutzmittel mit entsprechender Indikation zugelassen sind. Bekämpfungsversuche zeigen, dass bei einer Applikation von Tankmischungen aus tebuconazol,- metconazol und expoiconazolhaltigen Mitteln zum Zeitpunkt der Vollblüte des Roggens Wirkungsgrade von 60-70% erreicht werden können. Für die Praxis käme allerdings eine Bekämpfung des Mutterkorns mit Fungiziden nur in Frage, wenn hoch wirksame Mittel zur Verfügung ständen, die eine wirtschaftlich vertretbare Anwendung zulassen.

**Tab. 4:** Mutterkornbesatz, aufgliedert nach dem Anteil von Populations- und Hybridsorten in Ernteproben der BEE aus den Jahren 1999 und 2000, erhoben durch die BAGKF, Auszug der Ergebnisse, mündl. Mitt.

Erntejahr	Gewichtsanteil in %		Anteil befallener Partien in %			
	2000	1999	Populationen		Hybridsorten	
			2000	1999	2000	1999
Brandenburg	0,05	0,04	15	12	36	46
Saarland	0,27	0,20	71	38	91	79
Thüringen	0,32	0,09	33	46	74	78
Schleswig-Holst.	0,33	0,32	100	50	65	76
<b>Bundesgebiet</b>	<b>0,13</b>	<b>0,07</b>	<b>33</b>	<b>24</b>	<b>49</b>	<b>56</b>

Quelle: BAGKF, 2003

### Mykotoxinproblematik im Nacherntebereich

Vorrangiges Ziel aller Vermeidungsstrategien muss es sein, unbelastete Produkte zur Einlagerung zu bringen. Dennoch wird dies insbesondere in Befallsjahren nicht immer gelingen. Insofern gilt es, durch geeignete Lagerbedingungen eine weitere Mykotoxinbildung im Lager zu verhindern.

Bei Getreide sollten zunächst durch Reinigungsverfahren und –maßnahmen schaderregerbefallene Körner vor Einlagerung eliminiert werden. Dies kann, sortenbedingt, zu einer deutlichen Reduktion der DON-Gehalte führen, wie Untersuchungen der LWK Hannover zeigten (s. Abb. 4). Gegenüber der Rohware fallen die DON-Gehalte in der gereinigten Ware bis zu über 50 % niedriger aus. Es zeigt sich darüber hinaus, dass bereits durch eine Windsichtung des Rohgetreides

des die Kontamination erheblich reduziert werden kann.

Neben den im Feld auftretenden Mykotoxinbildnern (Fusarien) können im Lager zusätzlich Schimmelpilze der Gattung *Aspergillus* und *Penicillium* auftreten. Sie vermehren sich bei Wasseraktivitätswerten im Lagergetreide oberhalb von  $a_w > 0,65$  aus den omnipräsenten Sporen und bilden Mykotoxine, wie z. B. Aflatoxine und Ochratoxine. Obgleich die Zusammenhänge zwischen relativer Luftfeuchte, Temperatur im Getreidelager und Wassergehalt im Getreidekorn weitgehend erforscht sind, bestehen in der täglichen Praxis der Getreidelagerung immer wieder Defizite in der strikten Umsetzung und Anwendung dieser Kenntnisse. Die neuere Getreidelagertechnik bedient sich verstärkt der Kühllagerung, um die Qualität der Ware zu erhalten und auch das mögliche Massenwachstum von Schadinsekten und –Milben zu minimieren.

**Tabelle 5: Einfluss von Saatstärke und Wachstumsreglereinsatz auf den Ährenbefall mit *C. purpurea*, den Mutterkornbesatz im Erntegut und den Kornertrag bei künstlicher Sprühinokulation mit Konidien (Engelke, 2002)**

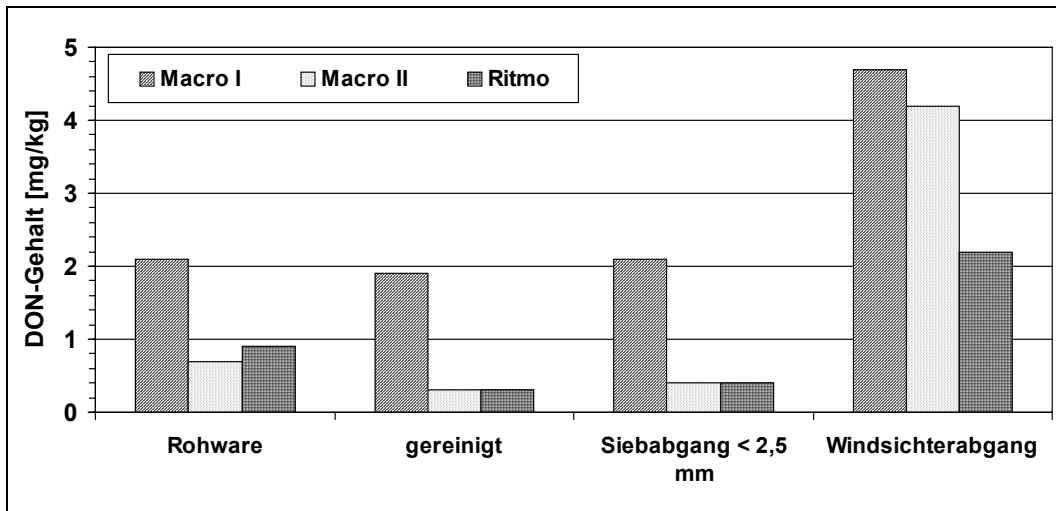
	bef. Ähren (%)		Mutterkornbesatz im Erntegut (%)		Ertrag (dt/ha)	
<b>Saatstärke</b>						
150 Körner/m <sup>2</sup>	21,8	a	0,36	A	59,79	x
250 Körner/ m <sup>2</sup>	18,3	ab	0,36	A	59,71	x
350 Körner/m <sup>2</sup>	17,0	b	0,32	A	61,88	x
<b>Wachstumsregler</b>						
Kontrolle	16,3	a	0,19	A	63,05	y
CCC + Terpal C	17,3	ab	0,32	B	59,33	x
Moddus (BBCH 31)	20,4	ab	0,40	BC	60,34	xy
Moddus (BBCH 39)	22,1	b	0,47	C	59,11	x

Die Buchstaben a-c/ A-C/ x-z kennzeichnen signifikante Unterschiede im Ährenbefall, im Mutterkornbesatz im Erntegut und im Kornertrag.

Bei ständig zunehmenden Lagermengen des Getreides in Schüttlagerpartien von mehreren Tausend Tonnen mit Schütthöhen bis zu zehn Meter und mehr stellen sich logistische Schwierigkeiten ein. Die Kühlkapazitäten, um zügig und durchgehend auf unter zehn Grad zu kühlen, sind nicht immer gegeben; die Schüttung mit Beimischungen von Staub und Spelzen ist nicht immer homogen; lokal ent-

wickeln sich bei ca. 50 % der Lagermenge massenhaft Käfer und Milben, die einen Temperaturanstieg im Getreide verursachen. All dies führt zu Temperaturunterschieden mit ungleichmäßigen Konvektionsströmungen im Getreide, die örtlich ein Überschreiten der Grenze von  $a_w = 0,65$  nach sich ziehen. Dort setzt dann spontan Pilzwachstum ein, das mit Mykotoxinbildung verbunden sein kann.

Abb. 4: Mykotoxin (DON-) Reduktion durch Reinigungsschritte unter dem Einfluss verschiedener Sorten (LWK Hannover, v. Kröcher, pers. Mitt., 2002)



Gerade nach längerer Lagerzeit muss bei Auslagerung die Qualität dieser Ware auch bezüglich des Mykotoxinstatus untersucht werden. Da die spezifische Giftigkeit einiger Pilzgifte sehr groß ist, reichen wenige stark kontaminierte Getreidekörner aus, um eine größere Partie zu verderben. Die repräsentative Probenahme stellt sich bei der Begutachtung obendrein als ein kaum lösbares Problem heraus, zumal die Kontamination keinesfalls gleichmäßig verteilt ist.

### Zusammenfassung und Ausblick

Oberstes Ziel des vorbeugenden Verbraucherschutzes muss es sein, unbelastete und gesunde Nahrungs- und Futtermittel mit hoher Qualität zu produzieren. Bei dieser Zielsetzung kommt der Vermeidung der Mykotoxinbildung von landwirtschaftlichen Erzeugnissen eine hohe Bedeutung zu.

Nur wenn detaillierte Kenntnisse über die Mykotoxinbildner sowie über die Einflussfaktoren, die die Krankheitserreger beeinflussen, vorliegen, können letztendlich die Risikofaktoren minimiert werden. Mehrere Institute der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA) und andere Arbeitsgruppen

haben sich vorrangig zunächst der Lösung der Mykotoxinproblematik in Getreide angenommen. Zunächst ist festzuhalten, dass eine Mykotoxinbildung sowohl im Vorerntebereich an der lebenden Pflanze als auch nach der Ernte im Lager stattfinden kann. Beim Weizen handelt es sich vorrangig um mykotoxinbildende Pilze der Gattung *Fusarium* und beim Roggen um das Mutterkorn *Claviceps purpurea*. Das z. Z. bedeutendste Mykotoxin ist das Deoxynivalenol (DON).

Die bisherigen Erkenntnisse zur Mykotoxinbildung im Getreide lassen sich wie folgt beschreiben:

- Besonders gefährdet ist Weizen nach der **Vorfrucht** Mais.
- Reduzierte, nicht-wendende **Bodenbearbeitung** kann den Fusariumbefall und nachfolgend die Mykotoxinbildung fördern. Das insbesondere dann, wenn auf der Bodenoberfläche verbleibende Pflanzenreste ein ständig neues Infektionspotential darstellen. Daher sind alle Maßnahmen zu ergreifen, die den Rottevorgang fördern, wie z.B. Häckseln, gleichmäßiges Verteilen und Einmischen der Strohreste nach der Ernte, insbesondere nach Mais. Fehlende rottefördernde Maßnahmen können auch bei Pflugfurche das Befallsrisiko im zweiten Anbaujahr erhöhen.
- **Getreidesorten** mit geringerer Fusarium-Anfälligkeit weisen geringere Mykotoxingehalte im Korn auf. Im derzeitigen Weizensortiment sinkt mit steigender Pflanzenlänge die Fusariumanfälligkeit der Sorten.
- Regen und feuchte **Witterung** während der Blüte des Getreides, vorrangig bei Weizen, begünstigen den Transport der Konidien von *F. culmorum* und *F. graminearum* in die Ähren und bewirken die Freisetzung von Ascosporen aus den Perithezien von *Gibberella zeae*, der Hauptfruchtform von *Fusarium graminearum*, und erhöhen das Infektionsrisiko.
- Eine direkte Bekämpfung der Ährenfusariosen durch den Einsatz von **Fungiziden** zum Zeitpunkt der Blüte bringt Bekämpfungserfolge von etwa 50 % hinsichtlich der Befalls- und DON-Reduktion. Besondere Schwierigkeiten ergeben sich bei der Festlegung des optimalen Einsatzzeitpunktes der Fungizide.
- **Empfehlung:** Durch geeignete Vorfrüchte, Reduzierung des Infektionspotentials durch rottefördernde Maßnahmen sowohl bei wendender als auch nicht wendender Bodenbearbeitung, insbesondere nach Mais, sowie Anbau weniger anfälliger Sorten und den Einsatz von wirksamen Fungiziden auf gefährdeten Ackerflächen kann das Risiko der Mykotoxinbildung deutlich gesenkt werden. Im Nacherntebereich sind durch geeignete Reinigungstechnik befallene Kör-

ner vor der Einlagerung auszusondern. Lagertemperaturen unter 18 °C und Getreidefeuchten um 14 % sind geeignet, eine weitere Mykotoxinbildung im Lager zu unterbinden.

Die Festsetzung von Höchstmengen an Mykotoxinen in Nahrungs- und Futtermitteln trägt sicherlich im Grundsatz dem Vorsorgegedanken nach qualitativ hochwertigen, gesunden und unbelasteten Produkten Rechnung. Dennoch ist ein vollständiger Schutz vor Einflüssen aus der Umwelt nicht möglich. Es gilt, das Restrisiko zu minimieren; dabei ist die tolerierbare Dosis bei Lebenszeitaufnahme zu definieren. Allerdings ist bei genotoxischen/kanzerogenen Stoffen kein Schwellenwert zu tolerieren. Höchstmengen sollten unterschiedliche Interessen berücksichtigen. Sie sollten

- einen umfassenden Verbraucherschutz gewährleisten
- Handelsbarrieren und Wettbewerbsverzerrungen vermeiden
- auch dann erwogen werden, wenn eine schädigende Wirkung toxikologisch nicht völlig bewiesen wurde
- technisch einhaltbar sein
- Neubewertungen, falls erforderlich, sollten jederzeit möglich sein.

Bei aller Bedeutung der Mykotoxine für den Verbraucherschutz können wir derzeit feststellen, dass nennenswerte Probleme bei Getreide und Kartoffeln nur in einzelnen Jahren oder punktuell zu verzeichnen sind. Der überwiegende Teil der Nahrungs- und Futtermittel ist unbelastet und besitzt sehr hohe Qualität.

Dennoch ist es wichtig, Konzepte und Lösungsansätze für die Zukunft zu entwickeln. Dabei wird deutlich, dass bei der Komplexität der Thematik einzelne Bekämpfungsmaßnahmen weder den Pilzbefall der Pflanzen noch die Toxinbelastung des Ernteguts effektiv mindern können.

Nur der Integrierte Pflanzenschutz unter Einbeziehung von pflanzenbaulichen Maßnahmen kann langfristig den Befall weitgehend unterbinden und damit das Gefährdungsrisiko durch die Toxinbildung herabsetzen. Notwendig ist die Entwicklung von Anbauverfahren, Prognosemodellen, Bekämpfungsschwellen sowie wirksameren Präparaten, um eine gezielte Bekämpfung in Gefährdungsgebieten vornehmen zu können. Ein wichtiger Mosaikstein ist die Züchtung neuer, weniger anfälliger Sorten. So kann gewährleistet werden, auch weiterhin gesunde, unbelastete und qualitativ hochwertige Rohstoffe für die Nahrungs- und Futtermittelherstellung zur Verfügung zu haben.