

## **Minimierungsstrategien für Mykotoxine bei Anbau, Ernte und Verarbeitung**

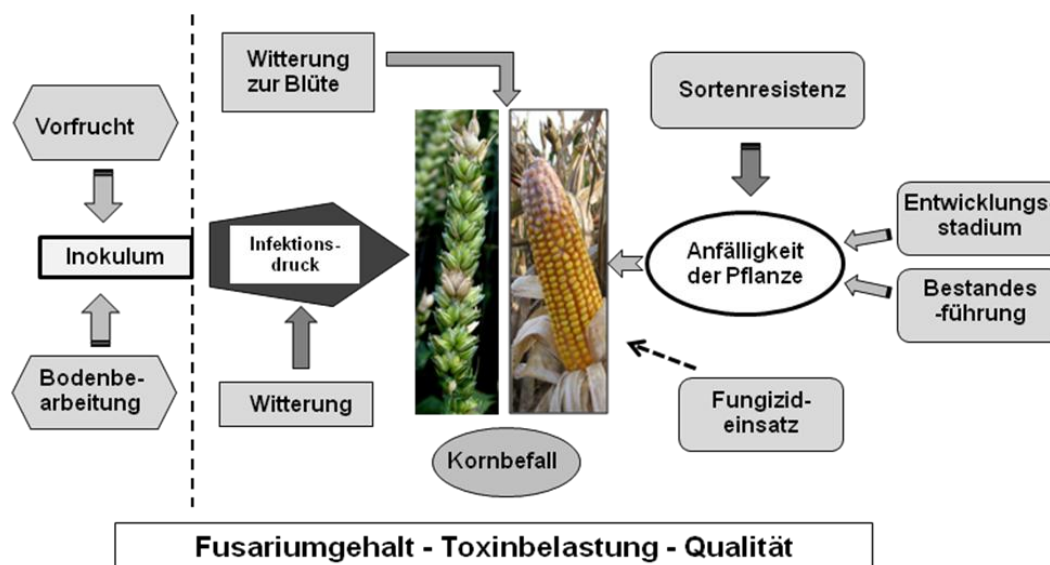
E. Oldenburg und B. Rodemann  
Julius Kühn-Institut, Braunschweig  
C. Schwake-Anduschus und K. Münzing  
Max Rubner-Institut, Detmold

### **Einleitung**

Ein Befall von Kulturpflanzen mit pilzlichen Schaderregern kann bereits während des Aufwuchses im Feld zur Bildung von Mykotoxinen im infizierten Gewebe führen und die Qualität von Ernteprodukten beeinträchtigen. Im Getreide- und Maisanbau sind Pilze der Gattung *Fusarium* aufgrund der häufig gebildeten Fusariumtoxine, insbesondere Deoxynivalenol (DON), Zearalenon und Fumonisine, von großer Bedeutung (Placinta et al. 1999, Logrieco et al. 2002). Da diese Toxine aufgrund ihrer Toxikologie die Gesundheit und Leistungsfähigkeit von Tier und Mensch beeinträchtigen können (Bennett und Klich 2003), wurden in der EU für diese Stoffe Richtwerte für den Futtermittelbereich (Empfehlung der Kommission 2006/576/EG) sowie Höchstmengen für den Lebensmittelbereich (Verordnungen der Kommission 2006/1881/EG und 2007/1126/EG) im Sinne eines vorbeugenden Verbraucherschutzes erlassen.

Um eine nachhaltige Produktion von einwandfreien und gesunden Futter- und Lebensmitteln sicherzustellen, sind Strategien zur Minimierung von Mykotoxinen in allen Bereichen der Futter- und Lebensmittelkette anzuwenden (Empfehlung der Kommission 2006/583/EG).

Während des Anbaus im Feld bestimmen eine Vielzahl von witterungsspezifischen, pflanzenbaulichen und anbautechnischen Faktoren das *Fusarium*-Infektionsrisiko und damit auch das Toxin-Kontaminationsrisiko von Getreide und Mais (Abb.1)



**Abb. 1:** Einfluss und Zusammenwirken verschiedener Faktoren auf den *Fusarium*- Befall von Getreide und Mais (modifiziert nach Bartels und Rodemann, 2003)

Für einen Fusarienbefall der Pflanzen ist zunächst das vom Boden ausgehende Infektionspotential oder Ausgangsinokulum von Bedeutung. Der Infektionsdruck geht insbesondere von Pflanzenresten von Getreide und Mais aus, die mit Fusarien bereits infiziert wurden und damit potentielle Infektionsquellen für die nachfolgenden Kulturpflanzen darstellen. Das Zusammenspiel zwischen Ausgangsinokulum und Witterung entscheidet in der Folge über die Stärke des Infektionsrisikos für die Pflanze. Frühjahrsbedingungen, die die Entwicklung der Schaderreger auf den Pflanzenresten fördern, erhöhen das Befallsrisiko während des Aufwuchses der Pflanzen. Zum Zeitpunkt der Blüte von Weizen gelten Witterungsbedingungen mit Temperaturen  $> 18\text{ °C}$  und täglichen Niederschlägen von mindestens 3-5 mm Regen als besonders infektionsbegünstigend.

Beim Weizen führt die Infektion zunächst zum Befall einzelner Ährchen, die nachfolgend 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 Schadbild der Partiiellen Taubährigkeit.

Beim Mais erfolgt die Primärinfektion der weiblichen Blüte meist über die Narbenfäden an der Kolbenspitze. Danach wächst der Pilz zunächst durch die Spindel in Richtung auf die Kolbenbasis und infiziert nachfolgend die sich entwickelnden Körner (Oldenburg und Ellner, 2010).

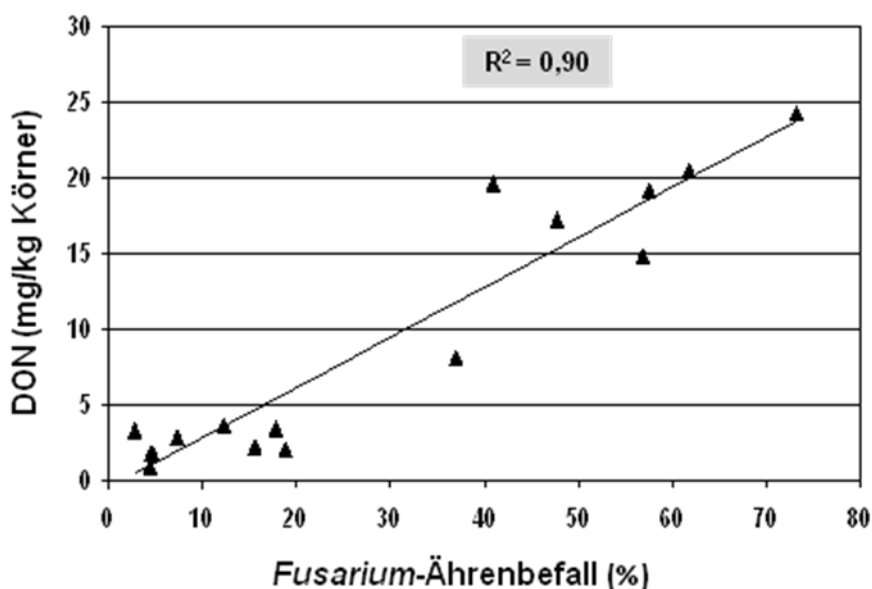
Da in das Witterungsgeschehen nicht steuernd eingegriffen werden kann, kommt pflanzenbaulichen, anbau- und erntetechnischen sowie konservierungs- und lagerungstechnischen Maßnahmen, die risikomindernd wirken und in der Entscheidungskompetenz der Landwirtschaft liegen, eine wesentliche Bedeutung zu. Diese Maßnahmen sollten situationsbedingt und standortgerecht aufeinander abgestimmt werden, um ein Zusammentreffen von mehreren infektions- und kontaminationsbegünstigenden Faktoren so weit wie möglich zu vermeiden.

## Fruchtfolge

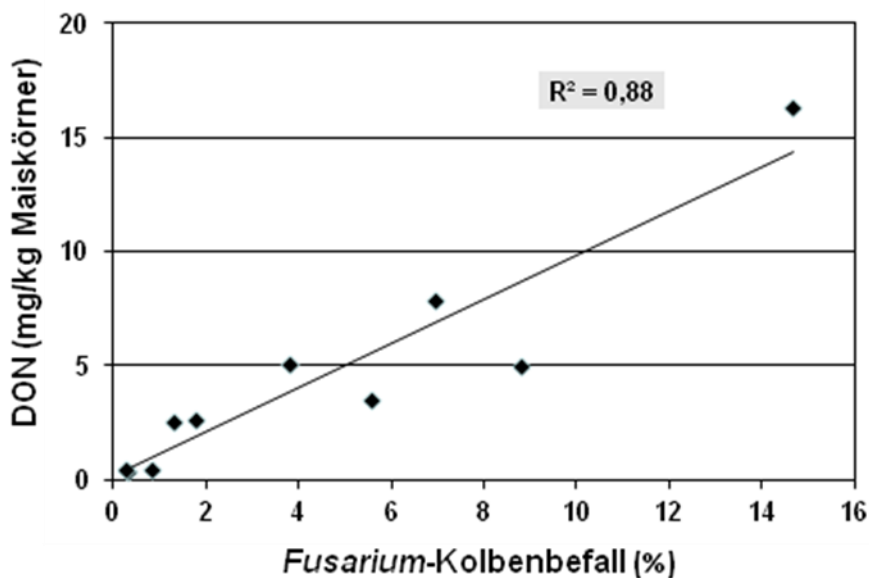
Aufgrund der Bedeutung des *Fusarium*-Inokulumpotentials für das Infektionsrisiko kommt der Fruchtfolgegestaltung eine wichtige Stellung zu. In engen Fruchtfolgen mit hohem Anteil an Getreide und Mais folgen Feldfrüchte unmittelbar aufeinander, die bevorzugt von Fusarien befallen werden. Als besonders infektionsfördernd gilt der Mais als Vorfrucht vor Weizen aufgrund des hohen Infektionsdrucks, der von den Stoppeln ausgehen kann (Bartels und Rodemann, 2003). Risikomindernd wirken daher erweiterte Fruchtfolgen, in denen der Maisanteil reduziert und/oder der Anteil an Sommerungen und Blattfrüchten erhöht ist.

## Sortenresistenz

Im Rahmen einer integrierten Bekämpfungsstrategie kommt der Sortenresistenz gegenüber *Fusarium*-Krankheiten und damit auch der Minimierung von Mykotoxinen eine besondere Bedeutung zu. In wissenschaftlichen Untersuchungen wurde sowohl beim Weizen (Abb. 2) als auch beim Mais (Abb. 3) ein enger positiver Zusammenhang zwischen dem Fusariumbefall der betroffenen pflanzlichen Organe und den DON-Gehalten in den Körnern festgestellt. Somit ist die Befallsbonitur bzw. der Befallsgrad des Weizens mit *Fusarium* in der Ähre bzw. des Maises mit *Fusarium* am Kolben ein Gradmesser für die Belastung mit Mykotoxinen.

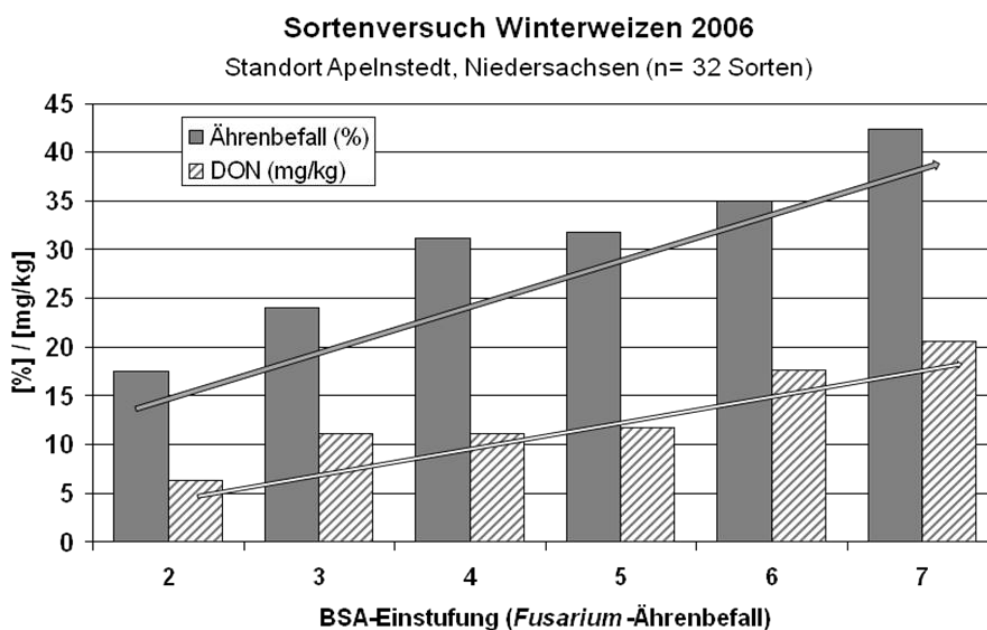


**Abb. 2:** Korrelation zwischen dem *Fusarium*-Ährenbefall (visuelle Befallsbonitur) und dem Deoxynivalenol-Gehalt in Winterweizen-Körnern (Rodemann und Bartels, 2007)



**Abb. 3:** Korrelation zwischen dem *Fusarium*-Kolbenbefall (visuelle Befallsbonitur) und dem Deoxynivalenol-Gehalt in Maiskörnern (Oldenburg und Ellner, 2011)

Vollständig resistente Genotypen sind bisher weder bei Getreide noch beim Mais verfügbar. Umfangreiche Bewertungen der Resistenz von Weizensorten ergaben deutliche Unterschiede in der Anfälligkeit gegenüber Fusarien (Abb. 4) und führten zur Klassifizierung der Sorten in unterschiedliche Befallseinstufungen durch das Bundessortenamt (BSA).



**Abb. 4:** Zusammenhang zwischen der BSA-Sorteneinstufung und dem *Fusarium*-Ährenbefall sowie dem DON-Gehalt in Weizenkörnern (Rodemann und Mielke, 2007)

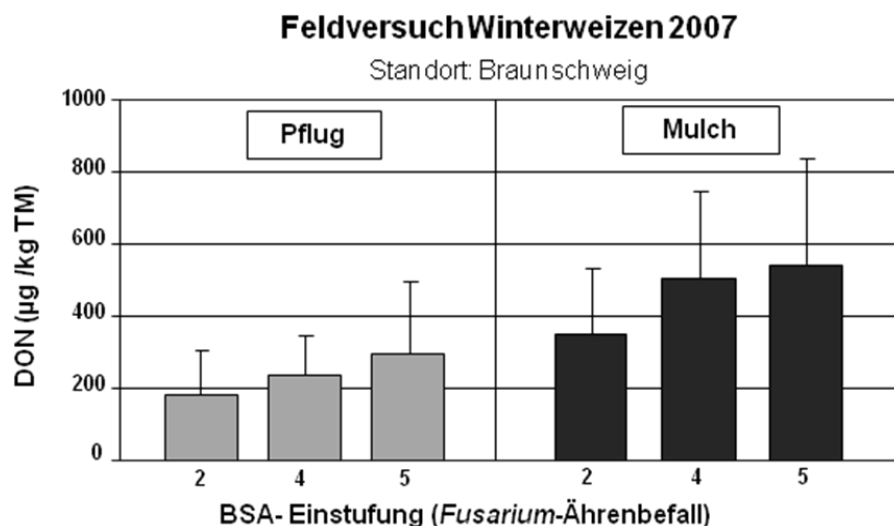
Als mittel bis hoch anfällig gelten Weizensorten der BSA-Einstufung  $\geq 5$ . Als wenig anfällig werden Weizensorten mit BSA-Einstufung 2-3 bewertet, die ca. 20% des derzeit zugelassenen Sortimentes stellen, darunter auch ertragreiche Sorten. Weizensorten mit guter Widerstands-

fähigkeit gegenüber *Fusarium* sollten insbesondere an Standorten mit hoher Niederschlagsneigung zum Zeitpunkt der Getreideblüte, bei Anwendung von konservierender Bodenbearbeitung, bei Mais als Vorfrucht von Getreide sowie bei engen Getreidefruchtfolgen gewählt werden.

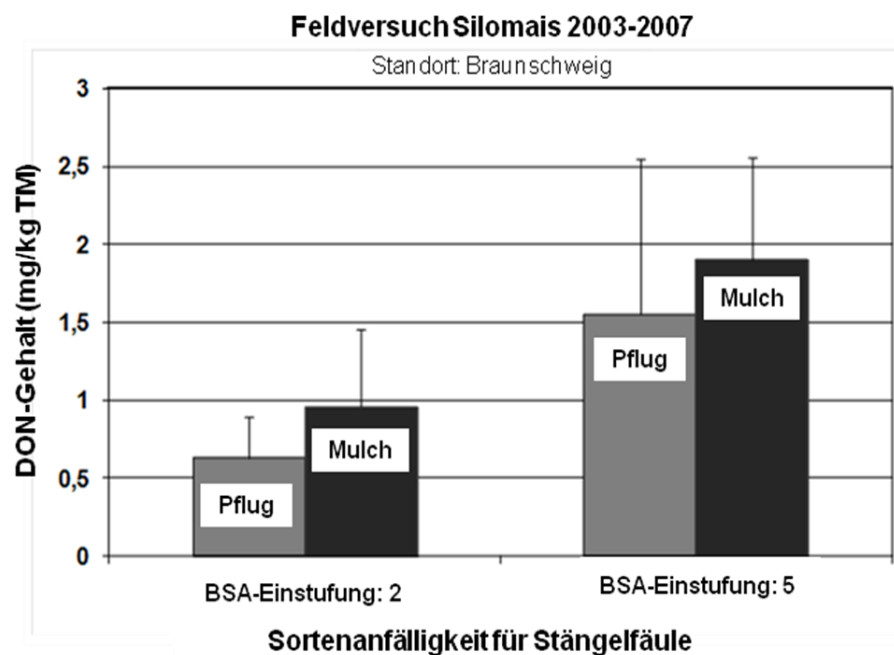
Beim Mais wurden bisher nur Sortencharakterisierungen bezüglich der Anfälligkeit gegenüber der Stängelfäule, die auch von Fusarien verursacht wird, vom Bundessortenamt vorgenommen. Ein Zusammenhang zwischen der *Fusarium*-Stängelfäule und der Kolbenfusariose besteht jedoch aufgrund der unterschiedlichen Infektionswege nicht. Daher wären Sortenbewertungen bezüglich der Kolbenfusariose-Anfälligkeit im Hinblick auf eine erweiterte Einschätzung des Mykotoxinrisikos beim Mais wünschenswert.

### **Bodenbearbeitung**

Die Überdauerung der Erreger erfolgt in der vegetationsfreien Zeit an Ernterückständen auf der Bodenoberfläche. Während des Aufwuchses der Folgefrucht stellen verbliebene Ernterückstände der Vorfrucht eine ständige potentielle Infektionsquelle dar. Je mehr infektiöses Pflanzenmaterial auf der Oberfläche verbleibt, desto höher ist die Infektionsgefahr. Deshalb geht von konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren ein potentiell höheres Risiko aus als von wendender Bodenbearbeitung (Weinert et al., 2008, Oldenburg et al., 2008). Die Beseitigung von Ernterückständen von der Bodenoberfläche gelingt am sichersten durch eine saubere Pflugfurche. Jedoch kann auch nach der Pflugbearbeitung in Folgejahren unverrottetes Pflanzenmaterial wieder an die Bodenoberfläche gelangen und das Infektionsgeschehen erneut in Gang setzen. Deshalb wird rotteförderndes Häckseln und gleichmäßiges Verteilen von Mais- und Getreiderückständen generell vor wendender und nicht wendender Bodenbearbeitung empfohlen. Bei Anwendung von konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren sollte auf ein gleichmäßiges Einarbeiten von Mais- und Getreideresten in die Krume geachtet werden, um Verrottungsvorgänge zu beschleunigen. Mit der Wahl von Weizen- (Oldenburg et al., 2007) als auch Maissorten mit geringer Anfälligkeit gegenüber *Fusarium* kann der erhöhten Infektionsgefahr bei Anwendung von konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren effizient entgegengewirkt werden (Abb. 5 und 6). Auf eine Direktsaat sollte bei engen Getreide-Fruchtfolgen incl. Mais grundsätzlich verzichtet werden.



**Abb. 5:** Einfluss der *Fusarium*-Anfälligkeit von Weizensorten und der Bodenbearbeitung auf den Deoxynivalenol-Gehalt von Weizenkörnern (Oldenburg, 2009)



**Abb. 6:** Einfluss der Stängelfäule-Anfälligkeit von Maissorten und der Bodenbearbeitung auf den Deoxynivalenol-Gehalt von Silomais (Oldenburg et al., 2009)

### Chemischer Pflanzenschutz

Da chemische Pflanzenschutzmaßnahmen nicht voll wirksam sind, sollten Pflanzenschutzstrategien im Rahmen integrierter Konzepte nachhaltig sowie unter Berücksichtigung von standortspezifischen Risikofaktoren und wetterspezifischen Prognosemodellen angewandt und auf das notwendige Maß entsprechend der Richtlinie 2009/128/EG begrenzt werden. Im Getreideanbau sind in Deutschland Fungizide gegen Ährenfusarium zugelassen. Wichtig ist die zeitnahe Applikation der Pflanzenschutzmittel zum Infektionszeitpunkt in der Blüte, um

Befallsreduzierungen von 60-70% zu erreichen (Bartels und Rodemann, 2003). Im Maisanbau sind fungizide Beizmittel zur Bekämpfung von samenbürtigem *Fusarium*-Befall sowie Auflaufkrankheiten und Insektizide gegen den Maiszünsler zugelassen, der mit seinen Fraßschäden Eintrittspforten für Fusarien in pflanzliches Gewebe eröffnet und somit infektionsfördernd wirkt.

### **Ernte, Trocknung, Lagerung**

Die Ernte sollte im Getreide- und Maisanbau zum optimalen nutzungsspezifischen Reifezeitpunkt durchgeführt werden, da Ernteverzögerungen zu einem Fortschreiten des Befalls sowie der Mykotoxinanreicherung führen können.

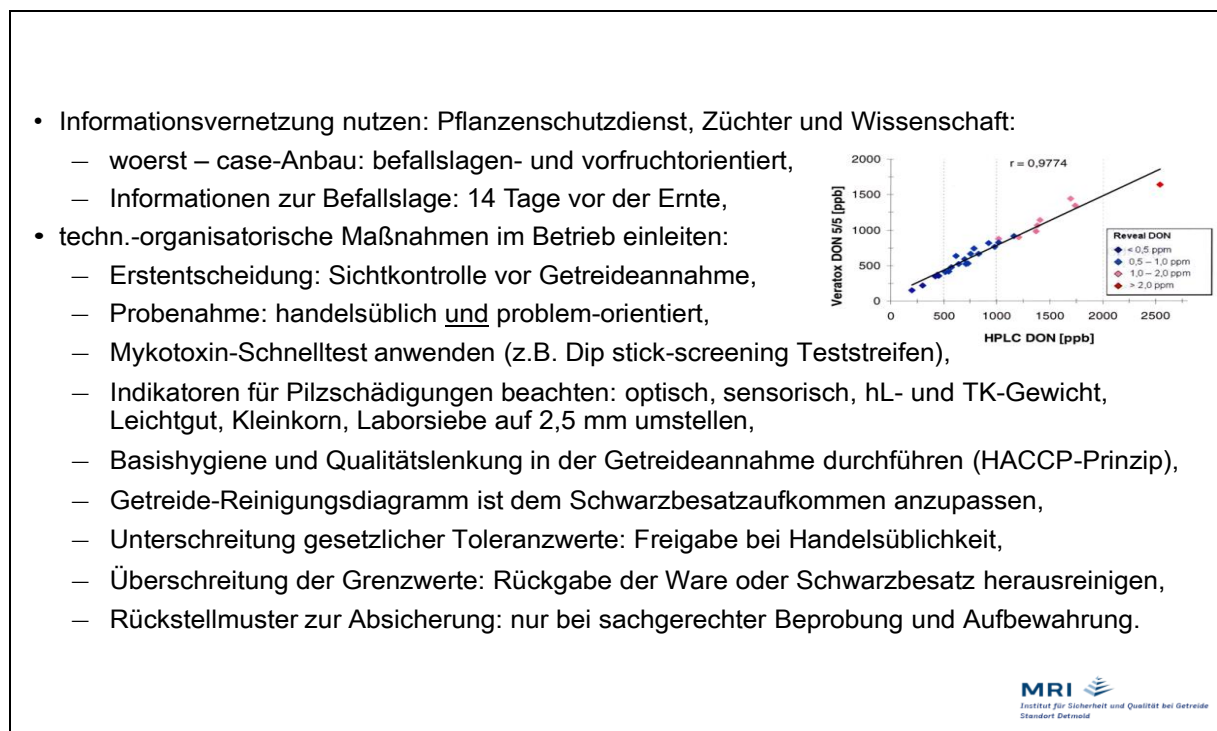
Nach der Getreideernte müssen eventuell notwendige Trocknungsmaßnahmen ohne Zeitverzögerung erfolgen, um Feuchtegehalte des Erntegutes unter 14% sicherzustellen. Zur Vermeidung einer Rückbefeuchtung des Erntegutes sollte während der Lagerung mittels Kühlung und Belüftung die relative Luftfeuchtigkeit  $< 75\%$  und Temperaturen unter  $20^{\circ}\text{C}$  gehalten werden.

Bei der Feuchtkonservierung von Mais zur Erzeugung von Maissilagen oder Corn-Cob-Mix ist auf eine konsequente Minimierung des Lufteinflusses bei der Silobefüllung, der Silage-Lagerung sowie der Futter-Entnahme zu achten. Dies wird insbesondere sichergestellt durch eine optimale Verdichtung des Erntegutes bei der Silofüllung, eine luftdichte Abdeckung der Silos sowie eine zügige Silage-Entnahme bei Verfütterung.

### **Vor der Getreideverarbeitung**

Nach Anbau und Ernte folgen weitere Behandlungen, um das Getreide in den Status der Lager-, Vermarktungs- und Verarbeitungsfähigkeit zu überführen. Dazu zählen auch die Maßnahmen zur Minimierung von Mykotoxinen.

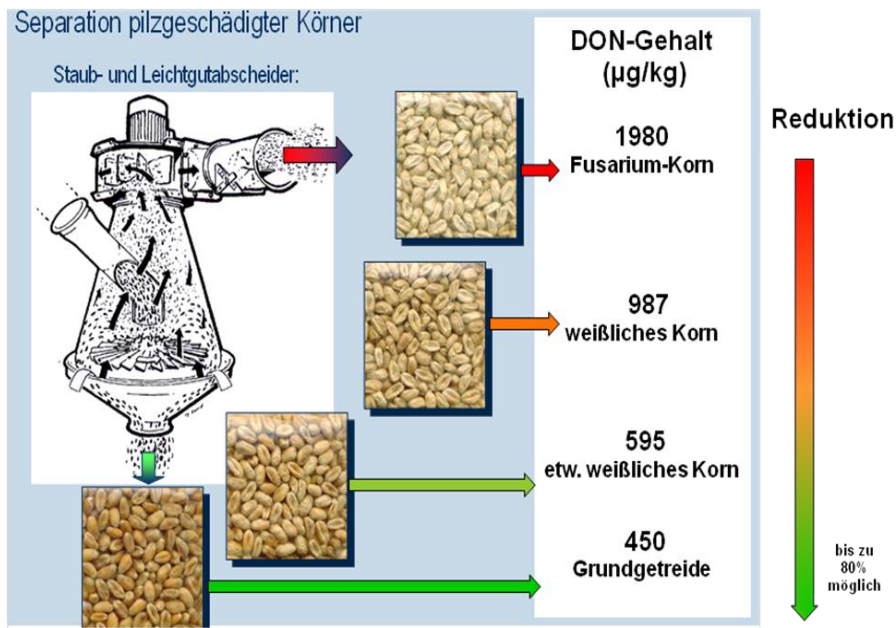
Im Bereich der futter- und lebensmittelverantwortlichen Unternehmen beginnen die Minimierungsstrategien mit der Festlegung der Rohstoffanforderungen, der Rohstoffbewertung und der hierauf basierenden betrieblichen Maßnahmen und Entscheidungsprozesse für den Kauf und die Qualitätslenkung (Abb. 7). Die Schwierigkeit für die Betriebe liegt darin, Problempartien rechtzeitig zu erkennen und nur solche Ware zu akzeptieren, die mit dem vorhandenen Reinigungsdiagramm in den Zustand der gesundheitlichen Unbedenklichkeit gebracht werden können. Dazu muss in der Getreideannahme gutes, technisch-organisatorisches Potenzial und vor allem Erfahrungswissen vorhanden sein.



**Abb. 7:** Handlungsempfehlungen zur Mykotoxinminimierung: Wahrscheinlichkeiten und Schadensumfang prüfen, problemorientiert handeln

Insbesondere die mechanische Reinigung des Getreides ist ein wichtiger Schritt zur Dekontamination des Getreides von Mykotoxinen (Münzing, 2010). Mittels Staub- und Leichtgutabscheider werden z. B. pilz- und fusarienbelastete Körner aufgrund ihrer gegenüber gesunden Körnern geringeren Dichte effektiv abgetrennt (Abb. 8). So finden sich im Reinigungsabgang in dem sogenannten Schwarzbesatz unerwünschte Stoffe, die bis zu 80 % der Mykotoxine aufweisen können. Durch die Abreinigung enthält das Grundgetreide nur noch 20 % der unerwünschten Stoffe.



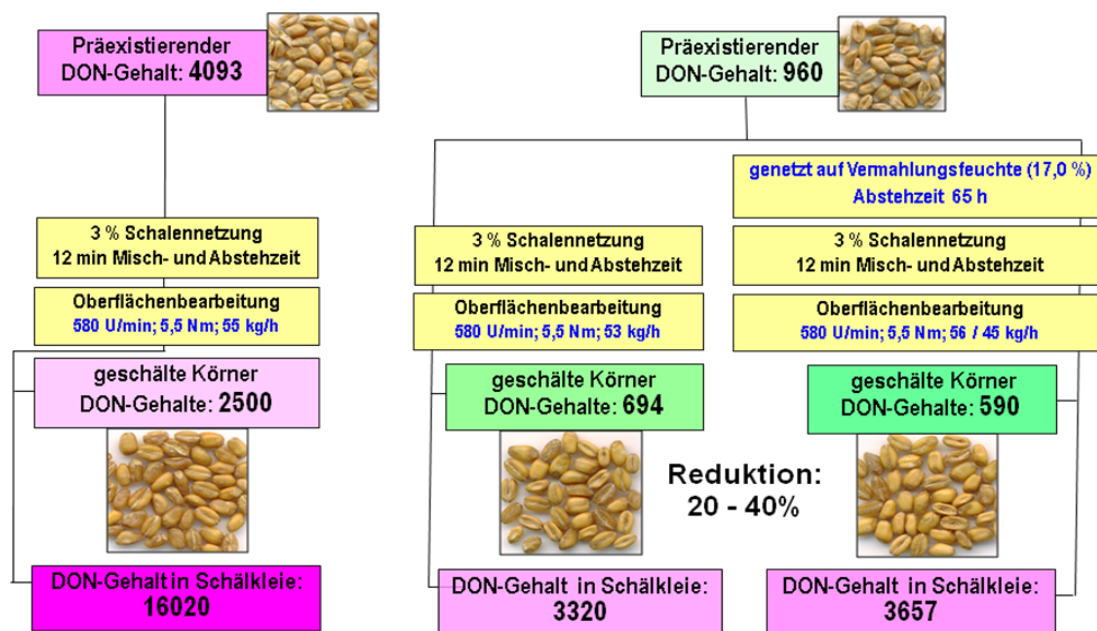


**Abb.8:** Mechanische Reinigung des Rohgetreides (Quelle: Münzing, MRI)

Neben der Leichtgutabtrennung setzen Handel und Mühlen verbreitet Auslesesysteme ein, die zusätzlich verfärbte Körner (z.B. Mutterkorn) auf Grund ihrer Kontraste oder Farbe aus-sortieren. Leichtgutausleser, Rundkorn- und Langkorn-Trieure und Luftabscheidesysteme sorgen dann für eine weitere Reduzierung von unerwünschten Stoffen. Da bei hoch belasteten Problempartien die Reinigungsabgänge übermäßig hohe Gehalte an Mykotoxinen aufweisen, sollten diese nicht der Futtermittelherstellung zugeführt werden. Aber auch für die Zweckbestimmung Lebensmittel können Körner, deren Erscheinungsbilder einwandfrei sind, oft noch Gehalte an Mykotoxinen aufweisen.

### Während der Verarbeitung zu Mahlprodukten

Weitere Ansätze für die Qualitätssicherung in Verarbeitungsbetrieben ergeben sich aus dem Verteilungsprofil der Mykotoxine innerhalb des Getreidekornes. So sind beispielsweise *Fusarium*-Toxine in Getreidekörnern in höheren Konzentrationen in den äußeren Schichten zu finden als im Korninnern. Aus diesem Grund kann z.B. bei Hafer durch das Entspelzen eine Abreicherung der T-2/HT-2-Gehalte um über 90 % erreicht werden (Schwake-Anduschus et al., 2010). Durch eine Abtrennung der Schale bei Weizen und Roggen können ebenfalls Reduktionen von Deoxynivalenol (DON)-Gehalten von 20 bis zu 40 % erzielt werden, je nach Partie und Ausgangswert an DON (Abb. 9). Zusätzlich können durch Scheuern und Schälen (sogenanntes Peelen) Mykotoxin-Gehalte weiter reduziert werden (Münzing und Schwake-Anduschus, 2010).



**Abb. 9:** Schälung des Grundgetreides (Quelle: Münzing, MRI)

Die Minderung der Mykotoxinrisiken für Brotgetreide führt jedoch gleichzeitig zur Mykotoxinanreicherung in der Kleie. So sind in der Schälkleie höhere Toxin-Gehalte zu finden als in den entsprechenden Einzelkörnern. Kleie sollte somit vor der Verwendung als Speise- oder Futtermittel auf die angegebenen Mykotoxin-Höchstmengen (Verordnung der Kommission 2006/1881/EG) bzw. Mykotoxin-Richtwerte (Empfehlung der Kommission 2006/576/EG) und Orientierungswerte (im Rahmen des § 3 des Futtermittelgesetzbuches) geprüft werden. Dem Markt stehen schnelle, einfache und auch kostenüberschaubare Systeme zur quantitativen Mykotoxinbestimmung zur Verfügung, die auch von ungeschultem Personal sicher angewendet werden können (Schwake-Anduschus und Zimmer, 2011). Gegebenenfalls ist belastete Kleie nur noch als Rohstoff für die Energiegewinnung (Verbrennung, Biogas) geeignet oder ordnungsgemäß zu entsorgen (z.B. kommunale Müllverbrennung).

Da die Getreidekörner während des Mahlprozesses in einzelne Fraktionen zerlegt werden, erhält man spezielle Mahlpassagen mit sehr unterschiedlicher Mykotoxinbelastung (Franzmann et al., 2011). Hieraus ergeben sich weitere Lenkungsinstrumente zur Reduzierung des Mykotoxingehaltes der Mehle. Orientierende Mahlversuche mit Weizen und Roggen zeigen, dass nach dem Separieren der Mahlfraktionen durch Dichteunterschiede die feineren und helleren Schrot- und Grießpassagen geringere Mykotoxin-Gehalte aufweisen, als die gröberen und mineralstoffreichen dunkleren Produkte (Kleie und Nachmehle). Auch hier ist je nach Kontaminationsgrad vor einem sorglosen Umgang mit den mykotoxinangereicherten Fraktionen für Futterzecke zu warnen.

## **Folgerung**

Mit den aufgezeigten Maßnahmen in der pflanzlichen Produktion, bei der Ernte, der Konservierung und Lagerung sowie den technischen Möglichkeiten der Nacherntebehandlung, Ausleseverfahren und Verarbeitungsprozesse stehen vielfältige Handlungsoptionen zur Verfügung, um Mykotoxinkontaminationen in der Futter- und Lebensmittelkette nachhaltig zu minimieren und somit den Schutz des Verbrauchers vor Mykotoxinen zu gewährleisten.

## **Literatur**

- Bartels G. und Rodemann B. (2003): Strategien zur Vermeidung von Mykotoxinen im Getreide. *Gesunde Pflanzen*, 55. Jahrgang, Heft 5, 125-135.
- Bennett J.W. and Klich M. (2003): Mycotoxins. *Clin. Microbiol. Rev.* 16, 497-516.
- Franzmann C., Schröder J., Münzing K., Wolf K., Lindhauer M.G. und Humpf H.U. (2011): Distribution of ergot alkaloids and ricinoleic acid in different milling fractions. *Mycotoxin Research* 27 (1), 13-21.
- Logrieco A., Mule G., Moretti A. and Bottalico A. (2002): Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with maize ear rot in Europe. *Eur. J. Plant Pathol.* 108, 597-609.
- Münzing K. (2010): Verfahren der Risikominimierung und Dekontamination zur Förderung der Sicherheit und Qualität bei Getreide. *Mühle und Mischfutter* 147 (18), 573.
- Münzing K. und Schwake-Anduschus C. (2010): Verfahren der Risikominimierung und Dekontamination zur Förderung der Sicherheit und Qualität bei Brot- und Speisekleie. *ALVA-Mitteilungen* Heft 8, S. 12-15. Mold Meeting, 02.-03.12.2010, Linz, Österreich.
- Oldenburg E., Brunotte J. and Weinert J. (2007): Strategies to reduce DON contamination of wheat with different soil tillage and variety systems. *Mycotoxin Research* 23 (2), 73-77.
- Oldenburg E., Brunotte J. und Weinert (2008): Einfluss verschiedener Bodenbearbeitungsverfahren auf den Gehalt des Fusariumtoxins Deoxynivalenol im Silomais. 56. Deutsche Pflanzenschutztagung in Kiel, 22.-25. September 2008, Mitteilungen aus dem Julius Kühn-Institut 417, 68-69.
- Oldenburg E. (2009): Effect of the growth regulator Cycocel on the deoxynivalenol contamination of wheat. *Conference Abstracts* 31. Mykotoxin-Workshop 15.-17. Juni 2009, Münster, 87.
- Oldenburg E., Brunotte J. and Weinert J. (2009): Influence of soil tillage and plant resistance on the contamination of maize with deoxynivalenol. *Abstracts ISM Conference 2009 "Worldwide Mycotoxin Reduction in Food and Feed Chains"*, 9.-11. September 2009, Tulln, Austria, p 53, [www.ism2009.at](http://www.ism2009.at).
- Oldenburg E. and Ellner F. (2010): Infection process and mycotoxin production in *Fusarium culmorum*-infected maize ears. 11<sup>th</sup> European Fusarium Seminar 'Fusarium – Mycotoxins, Taxonomy, Pathogenicity and Host Resistance', 20.-23. September 2010, Radzikow, Poland, *Book of Abstracts*, 55-56.
- Oldenburg E. und Ellner F. (2011): Prüfmethode zur Bewertung der Kolbenfusariose. *Kurzfassungen der DMK-Pflanzenschutztagung*, 19./20. Juli 2011, Rendsburg, 7-8.
- Placinta C.M., D'Mello J.P.F. and MacDonald A.M.C. (1999): A review of worldwide contamination of cereal grains and animal feed with *Fusarium* mycotoxins. *Anim. Feed Sci. Technol.* 78, 21-37.
- Schwake-Anduschus C., Langenkämper G., Unbehend G., Dietrich R., Märtlbauer E. und Münzing K. (2010): Occurrence of *Fusarium* T-2 and HT-2 toxins in oats from cultivar studies in Germany and degradation of the toxins during grain cleaning treatment and food processing. *Food Additives and Contaminants Part A-Chemistry Analysis Control Exposure & Risk Assessment*, 27 (9), 1253-1260.

- Schwake-Anduschus C. und Zimmer M. (2011): Vergleich zweier Schnellsysteme zur quantitativen Deoxynivalenol-Bestimmung. *Mühle und Mischfutter*. 148 (15), 495-497.
- Rodemann B. und Mielke H. (2007): Anfälligkeit verschiedener Winterweizensorten gegenüber Ährenfusarium (Zulassungsjahre 2001-2006). *Mitt. Biol. Bundesanst. Land- Forstwirtsch.* Heft 410, 66-83.
- Rodemann B. und Bartels G. (2007): Minderung der Mykotoxinbelastung im Erntegut durch Nutzung der Sortenresistenz bei Weizen und Triticale. – Abstracts 29th Mycotoxin-Workshop, 14-16. Mai 2007, Fellbach, Germany, S. 42.
- Weinert J., Oldenburg E. und Brunotte J. (2008): Ein- und mehrjährige Effekte verschiedener Bodenbearbeitungsverfahren in einer Mais-Weizenfruchtfolge auf den Fusarium- und DON- Gehalt im Erntegut des Weizens. 56. Deutsche Pflanzenschutztagung in Kiel, 22.-25. September 2008, *Mitteilungen aus dem Julius Kühn-Institut* 417, 66-67.