

Zur Bedeutung von Mykotoxinen in der Wildwiederkäuerfütterung

S. Dänicke¹, B. Kästner² und Hana Valenta¹

¹Institut für Tierernährung, Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit, Friedrich-Loeffler-Institut (FLI), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, sven.daenicke@fli.bund.de

²Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Naumburger Str. 98, 07743 Jena

1 Einleitung

Schimmelpilze gehören zum natürlichen Keimbesatz von Futtermitteln. Meist führt nur eine übermäßige Schimmelbildung zum Futtermittelverderb, wobei dieser Verderb durch Nährstoffabbau, aber auch durch Bildung von sekundären Stoffwechselprodukten der Pilze charakterisiert sein kann. Wirken sich diese sekundären Stoffwechselprodukte nachteilig auf Tiergesundheit und Leistung aus, so sind sie als Mykotoxine anzusprechen. Von den mehreren hundert gegenwärtig bekannten Mykotoxinen kommt aber nur einigen eine praktische Bedeutung zu, da sie in Konzentrationen vorkommen können, die toxikologisch bedeutsam sind. Dazu zählen insbesondere die Mykotoxine Deoxynivalenol (DON) und Zearalenon (ZON), die durch verschiedene *Fusarium*-Arten gebildet werden (Tab. 1, Abb. 1).

Pilze der Gattung *Fusarium* werden klassisch den so genannten Feldpilzen zugeordnet, da sie überwiegend auf lebenden Pflanzen wachsen und Toxine (z.B. DON, ZON; Tab. 1) bilden. Demgegenüber sind viele Arten der Gattungen *Penicillium* und *Aspergillus* durch eine saprophytische Lebensweise charakterisiert, d.h., sie wachsen hauptsächlich auf abgestorbenem Pflanzenmaterial. Daher bilden diese Pilze ihre Toxine im Futtermittelager (hauptsächlich Silagen und Konzentratfuttermittel bei unsachgemäßer Lagerung; z.B. Ochratoxin A, Mycophenolsäure, Citrinin; Tab. 1), während die Toxinbildung durch Feldpilze zum Zeitpunkt der Ernte im Wesentlichen abgeschlossen ist. Da ein großer Teil der bereits auf dem Feld gebildeten Mykotoxine den Silierungsprozess unbeschadet übersteht, sind in Silagen neben den Toxinen der Feldpilze auch typische Vertreter der Lagerpilze anzutreffen.

Bei Weidegräsern sind weitere Mykotoxine zu berücksichtigen, die von endophytischen Pilzen aus der Familie der *Clavicipitaceae* mit der Gattung *Epichloe* (anamorph *Neotyphodium*, früher *Acremonium*) gebildet werden, die zum Teil mit denen durch die Gattung *Claviceps spp.* gebildeten Ergot-Alkaloiden identisch sind. Die endophytisch bedingte Toxinbildung erhöht die Resistenz der infizierten Gräser gegenüber herbivoren Insekten, kann sich aber andererseits nachteilig auf die weidenden Rinder oder Schafe auswirken. Als häufig auftretende Toxine von *A. coenophialum* und *A. lolii* sind Ergovalin und Lolitrem B bei infizierten *Lolium*- und *Festuca*-Arten beschrieben worden.

Insgesamt gesehen ist bei der Fütterung stets davon auszugehen, dass sowohl Konzentratfuttermittel als auch Grobfuttermittel zur täglichen Mykotoxinexposition der Wiederkäuer beitragen. Dabei sind die unterschiedlichsten Kombinationen von Mykotoxinen (Tab. 1) denkbar, was die Einschätzung des gesamten toxischen Potentials der täglichen Ration nicht erleichtert, da häufig nur ausgewählte Mykotoxine analysiert werden bzw. analysiert werden können. Hinzu kommt, dass der Kenntnisstand zur toxikologischen Bedeutung einzelner Mykotoxine gerade für den Wiederkäuer noch recht unzureichend und nur durch wenige Studien belegt ist. Dies gilt in besonderer Weise auch für den Wildwiederkäuer, der sich zudem in einigen verdauungsphysiologischen Merkmalen insbesondere vom Rind unterscheidet, was auch Konsequenzen für den ruminalen Toxinmetabolismus und die Toxizität aufgenommener Mykotoxine nach sich ziehen kann (siehe Abschnitt 2).

Entsprechend ihrer unterschiedlichen chemischen Strukturen (z.B. Abb. 1) sind auch die Wirkmechanismen und Angriffspunkte der einzelnen Mykotoxine im Organismus recht verschieden. Dies erschwert zusätzlich die Abschätzung des toxischen Potentials eines Futtermittels oder einer Ration, das sich ohnehin schon aus der Anwesenheit einer Reihe von verschiedenen Mykotoxinen ergibt. Dies schließt auch mögliche Wechselwirkungen zwischen Mykotoxinen ein, welche dann summarisch den gesamten Effekt beim Tier bewirken und denen prinzipiell additiver, synergistischer aber auch antagonistischer Charakter zukommen kann.

Tab. 1. Wirkmechanismen und pathophysiologische Effekte von Mykotoxinen sowie deren Bedeutung in der Fütterung (Auswahl, nach verschiedenen Quellen)

| Mykotoxine | Wirkmechanismen und pathophysiologische Effekte | Prädisponierte Futtermittel | Betroffene Tiere ¹ | Relevanz ² |
|-------------------------------------|--|--|-------------------------------|-----------------------|
| Zearalenon (ZON) | Östrogen-ähnlich, Störungen im Reproduktionsgeschehen | Mais, Weizen | Schwein > Wdk. > Huhn | ++ |
| T-2 Toxin | Proteinsynthese-hemmend; immunmodulierend, verzehrsdepressiv, zytotoxisch, dermatotoxisch, hepatotoxisch | Hafer, Gerste, Mais, Weizen | Schwein > Wdk. ~ Huhn | + |
| Deoxynivalenol (DON) | Proteinsynthese-hemmend; immunmodulierend, verzehrsdepressiv | Mais, Weizen | Schwein > Wdk. ~ Huhn | ++ |
| Fumonisine (FB _{1, 2, 3}) | Störungen im Sphingolipid-Stoffwechsel; hauptsächlich in Leber, Lungen (porcines pulmonales Ödemsyndrom) und Gehirn (equine Leukoencephalomalazie) | Mais | Pferd ~ Schwein > Wdk. ~ Huhn | - (?) |
| Aflatoxin B1 | DNA- und Proteinadduktbildung, carcinogen, cytotoxisch, hepatotoxisch | Erdnüsse, Baumwollsaat, Mais, Sonnenblumenkerne, Sojabohnen | Wdk., Schwein, Geflügel | - (weltweit: ++) |
| Lolitrein B | Neurotoxisch | Weidegräser | Wdk., Pferd | -(?) |
| Ochratoxin A (OTA) | Proteinsynthese-hemmend, Förderung der Lipid-Peroxidation; immunmodulierend, Nieren und Leber als primäre Zielorgane | Mais, Roggen, Weizen, Triticale, Gerste; häufig mit Citrinin co-kontaminiert | Schwein > Geflügel > Wdk. | + |
| Citrinin | Verminderung der selektiven Membranpermeabilität, Nieren und Leber als primäre Zielorgane, Polydipsie, Polyurie | Mais, Roggen, Weizen, Triticale, Gerste; Mais- und Grassilagen | Schwein, Wdk. | ? |
| Roquefortin C | Hemmung von P450-Cytochromen; antibiotisch, neurotoxisch | Mais- und Grassilagen | Wdk. | ? |
| Mycophenol-säure | Hemmung der Lymphozytenproliferation, immunsuppressiv, antibiotisch | Mais- und Grassilagen | Wdk. | ? |
| Monacoline | Hemmung der Sterolsynthese | Mais- und Grassilagen | Wdk. | ? |

¹ Nicht aufgeführte Tierarten sind weniger empfindlich oder es liegen nur ungenügende experimentelle Daten zur Toxizität bei landwirtschaftlichen Nutztieren vor

² Relevanz unter praktischen Fütterungsbedingungen der BRD: ++ große Bedeutung, + bedeutungsvoll, - geringe Bedeutung, ? – Bedeutung noch nicht hinreichend geklärt

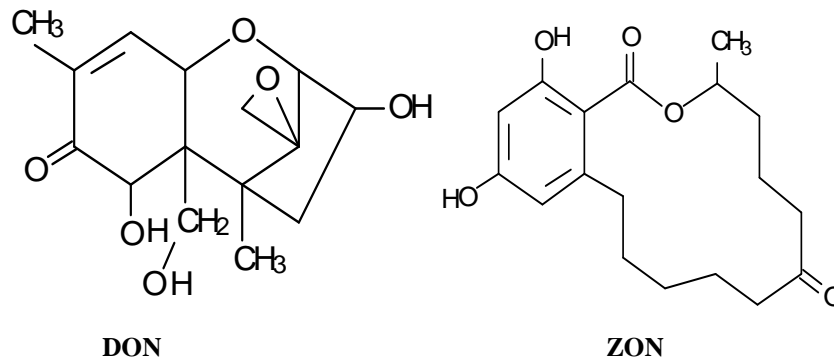


Abb. 1. Strukturformeln von Deoxynivalenol (DON) und Zearalenon (ZON)

Aus den bisherigen Ausführungen lässt sich ableiten, dass die Bedeutung von Mykotoxinen für den Wiederkäuer im Wesentlichen durch folgende Faktoren bestimmt wird:

- Mykotoxin-Kontaminationsgrad der verwendeten Futtermittel
- Toxizität der ruminalen Toxinmetaboliten im Vergleich zum Mutter-Toxin
- Ruminale Toxin-Metabolisierungsgrad

Diese Faktoren werden in den folgenden Abschnitten näher erläutert, wobei die Besonderheiten des Wildwiederkäuers und der Wildwiederkäuerfütterung im Vergleich zur Rinderfütterung herausgestellt werden.

2 Umsetzungen von Mykotoxinen im Pansen und verdauungsphysiologische Besonderheiten von Wildwiederkäuern

Der Pansen des Wiederkäuers spielt nicht nur eine wesentliche Rolle beim Aufschluss pflanzlicher Zellwände, sondern auch bei der mikrobiellen Modifikation anti-nutritiver Futterinhaltsstoffe und von Mykotoxinen. In Abhängigkeit vom Mykotoxin entstehen dabei Umsetzungsprodukte (Metaboliten), deren Toxizität gegenüber dem Muttertoxin entweder gleich, verringert oder aber erhöht ist (Tab. 2). Der Grad der ruminalen Mykotoxinumsetzungen wird u.a. bestimmt durch das Pansenmilieu (insbesondere pH-Wert) und die für mikrobielle Metabolisierungsreaktionen zur Verfügung stehende Zeit (Kontaktzeit). Letztere sinkt mit steigender Futteraufnahme und damit einhergehender erhöhter ruminaler Chymus-Passagerate. Die bisherigen Überlegungen zur Rolle des Pansens für den Metabolismus und die Toxizität von Mykotoxinen setzten voraus, dass eine unmittelbare postingestive Absorption von nicht-metabolisiertem Toxin durch die intakte Pansenschleimhaut nicht in nennenswertem Maße stattfindet, was zumindest für DON und ZON nachgewiesen wurde (Dänicke et al., 2006). Acidotisch oder anderweitig geschädigte Pansenschleimhaut ist durch eine verringerte Integrität und eine korrespondierende erhöhte Durchlässigkeit für Mikroorganismen und Substanzen gekennzeichnet, für die sonst keine Passierbarkeit besteht. Unter diesen Bedingungen ist auch ein erhöhter Übertritt von Mykotoxinen über die Pansenschleimhaut nicht auszuschließen.

Bei der Beurteilung der Rolle des Pansens ist weiterhin zu berücksichtigen, dass flüssige und leicht aus der Futtermatrix lösliche Nahrungsbestandteile über die Magenrinne den Pansen umgehen können, so dass eine mikrobielle Metabolisierung der in dieser Phase beförderten Mykotoxine praktisch nicht stattfinden kann. Die Bedeutung dieses Passagewegs sowie des Anteils des Pansens an den gesamten Nährstoff- und Toxinumsetzungen ist für Wildwiederkäuer anders zu beurteilen als für das Rind als den wichtigsten Vertreter der Hauswiederkäuer. Entsprechend ihrer Verdauungsphysiologie unterscheidet Hofmann (1976) drei Grundtypen von Wiederkäuern:

- Konzentrat-Selektierer (z.B. Reh)
- Intermediär-Typ (z.B. Damwild)
- Raufutter-Fresser (z.B. Rind)

Danach sind Konzentratselektierer gegenüber den Raufutter-Fressern u.a. durch vergleichsweise große Öffnungen zwischen den Magenabteilungen (Begünstigung der Umgehung des Pansens), einen höheren Anteil von Ingesta, die ohne Pansenaufenthalt die distalen Abschnitte des

Verdauungstraktes erreicht sowie einen höheren Anteil des Dickdarms an der Nährstofffermentation charakterisiert. Dieser Sachverhalt beinhaltet, dass mit einem höheren Anteil von Mykotoxinen zu rechnen ist, der in nicht metabolisierter Form den Ort der Absorption, nämlich die proximalen Abschnitte des Dünndarms, erreicht. Für Mykotoxine, die im Pansen detoxifiziert werden (z.B. DON) kann dies eine höhere Empfindlichkeit gegenüber Raufutter-Fressern bedeuten, wohingegen bei Mykotoxinen, deren Toxizität durch ruminale Umsetzungen unter Umständen erhöht sein kann (z.B. ZON), das Gegenteil eintreten kann.

Tab. 2. Ruminale Abbauprodukte ausgewählter Mykotoxine und Konsequenzen für die Toxizität. Der Grad der ruminalen Metabolisierung wird durch verdauungsphysiologische Vorgänge (z.B. ruminaler pH-Wert, Chymus-Passagerate) bestimmt und führt zu variierenden Anteilen des initialen Toxins an der Summe von Toxin und dessen Abbauprodukten am Pylorus (Auswahl; nach verschiedenen Quellen)

| Aufgenommenes Toxin | Ruminale Toxin-Metaboliten | Konsequenz der Metabolisierung für die Toxizität |
|-----------------------------|--|--|
| Deoxynivalenol (DON) | De-epoxy-DON | ↓ |
| 15-acetyl-DON, 3-acetyl-DON | DON, De-epoxy-DON | ↓ |
| Nivalenol (NIV) | De-epoxy-NIV | ↓ |
| T-2 Toxin | HT-2 Toxin, De-epoxy-HT-2 Toxin, T-2 Triol, De-epoxy-T-2 Triol | ↓ |
| Zearalenon (ZON) | alpha-Zearalenol (ZOL), beta-ZOL, Zearalanon, alpha-Zearalanol (ZAL), beta-ZAL | =↑ |
| Ochratoxin A (OTA) | OT-alpha | ↓ |
| Fumonisin B1 | Kein Metabolismus | = |
| Aflatoxin B1 | Aflatoxicol | = |

↓ - Verringerung, ↑ - Erhöhung, = - keine Veränderung

3 Futtergrundlage und Mykotoxinexposition von Wildwiederkäuern

Häufig stellt die Weide die alleinige Futtergrundlage für in Gehegen gehaltene Wildwiederkäuer dar. Die Datenlage zur Kontamination von Weiden mit Mykotoxinen ist als unzureichend anzusehen und die wenigen Untersuchungen zu *Fusarium*-Toxinen, denen in Weizen oder Mais eine große Bedeutung zukommt, lassen eher eine untergeordnete Bedeutung dieser Futterquelle vermuten.

Untersuchungen zur Bedeutung der Infektion von Gräsern mit pilzlichen Endophyten liegen für Deutschland kaum vor. Oldenburg (1997) untersuchte verschiedene Populationen von *L. perenne*, die auf 4 verschiedenen weitläufigen Standorten Deutschlands gewonnen wurden. In 33 von 38 untersuchten Populationen wurde *Neotyphodium* nachgewiesen, wobei die Infektionsrate zwischen 1 und 30 % schwankte. Die höchsten Lolitrem B-Konzentrationen in den infizierten Pflanzen wurden während der Monate Juli und August beobachtet und variierten zwischen 0,8 und 1,5 mg/kg Trockensubstanz. Diese Konzentrationen liegen deutlich unter denen, die in Neuseeland bei Schafen zu Intoxikationserscheinungen (neurologische Symptomatik) führten. Inwiefern diese Aussage auch für den Wildwiederkäuer zutrifft, lässt sich nicht abschätzen.

Konzentratfuttermittel wie Mais-, Weizen- und Triticalekörner sowie Gras- und Maissilagen, die oft als Zufutter verwendet werden, können häufiger mit DON und ZON kontaminiert sein (Tab. 1). Auf die verdauungsphysiologischen Unterschiede des Wildwiederkäuers zum Rind wurde bereits hingewiesen, so dass die allgemein akzeptierte Unempfindlichkeit des Rindes gegenüber diesen Mykotoxinen bei praktisch bedeutsamen Kontaminationsgraden auf den Wildwiederkäuer nur mit Vorbehalten übertragbar ist.

Zur Bedeutung von überwiegend in Silagen gebildeten Mykotoxinen (Tab. 1) liegen lediglich toxikologische Daten, aber kaum experimentelle Befunde vor, so dass weder für das Rind noch für den Wildwiederkäuer eine Abschätzung des Risikos der Verfütterung von Silagen mit erhöhten Gehalten dieser Toxine erfolgen kann. Aus praktischer Sicht sollten visuell verschimmelte Silagen nicht verfüttert werden, da beispielsweise für Roquefortin C gezeigt werden konnte, dass eine enge positive Beziehung zwischen dem visuellen Silagebefund „verschimmelt“ und der Roquefortin C-Konzentration besteht (Auerbach, 1996).

Für Stroh und Heu ist zu beachten, dass eine Lagerung im Freien bei unzureichender Abdeckung gleichfalls zur Schimmel- und Mykotoxinbildung führt. Dies trifft nicht nur für die typischen Lagerpilze und die von ihnen gebildeten Mykotoxine zu (z.B. OTA) zu, sondern auch für Feldpilze. So konnte gezeigt werden, dass der ZON-Gehalt von im Freien gelagerten Strohballen, die mit einer mangelhaften Abdeckung versehen waren, während einer mehrwöchigen Lagerung signifikant anstieg (Rohweder et al., 2009).

Prinzipiell ist festzuhalten, dass die Schmackhaftigkeit und Akzeptanz verschimmelter Futtermittel beeinträchtigt ist, so dass selbst bei Abwesenheit von Mykotoxinen mit einer verringerten Futteraufnahme und einer verschlechterten Leistung zu rechnen ist.

4 Mykotoxin-Screening von 4 thüringischen Wildbetrieben

Da bisher kaum Daten zum Vorkommen von Mykotoxinen in Futtermitteln für Wildwiederkäuer sowie in biologischen Substraten von Wildwiederkäuern vorliegen, wurde eine erste orientierende Untersuchung durchgeführt, bei der von 4 Wildbetrieben die Futtermittel (Konzentrate, Silagen, Heu, Kastanien, Weidefutter) auf DON, ZON und OTA; sowie Blut, Leber und Niere von jeweils 4 Tieren (Dam- und Rotwild) auf DON, de-epoxy-DON und OTA (nur Blut) untersucht wurden.

Heu, Anwelksilage und Weidefutter waren geringgradig mit DON und ZON kontaminiert, während Toxinrückstände in den biologischen Substraten nicht nachweisbar waren.

5 Schlussfolgerungen

Da die Abschätzung des Risikos der Beeinträchtigung der Gesundheit von Wildwiederkäuern durch Mykotoxine sowie deren Rückstände in von Wildwiederkäuern gewonnenen Lebensmitteln infolge der Vielzahl in Betracht kommender Mykotoxine und möglicher Einflussfaktoren auf die Mykotoxinbildung schwierig ist, sollten alle Maßnahmen der Vermeidung im präventiven Bereich angesiedelt sein. Dazu gehören:

- Keine Verfütterung offensichtlich verschimmelter Futtermittel
- Feuchtigkeitsgeschützte Lagerung von Heu, Stroh und Konzentratfuttermitteln
- Verwendung qualitativ hochwertiger Silagen

(Das Literaturverzeichnis liegt beim Erstautor vor)