

3 Pilze und Mykotoxine

In der Anlage 5 der FMV sind lediglich Aflatoxin B₁ und Mutterkorn aufgeführt, die unter der Überschrift Pilze und Mykotoxine zusammengefasst werden können.

In den zurückliegenden Jahren sind umfangreiche Studien mit von einheimischen Feld- und Lagerpilzen erzeugten Mykotoxinen durchgeführt worden, so dass beachtliches Wissen über ernährungsphysiologische und toxikologische Wirkungen dieser Substanzen vorliegt.

Im Ergebnis dieser Untersuchungen wurden auch Vermeidungsstrategien erarbeitet und Möglichkeiten zur Detoxifikation getestet.

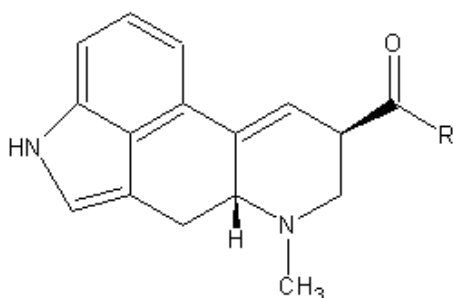
Neben Mutterkorn und Aflatoxin B₁ wird deshalb in folgendem Abschnitt auch auf Ochratoxin A und verschiedene Fusarientoxine eingegangen.

3.1 Mutterkorn (S. Dänicke und S. Mainka)

3.1.1 Allgemeine Angaben, Vorkommen und Bedeutung

Als Mutterkorn werden die dunklen Sklerotien des Schlauchpilzes *Claviceps purpurea* bezeichnet. Es handelt sich bei den Sklerotien um das verfestigte Mycel und die Dauerform dieses Pilzes. Der Pilz befällt überwiegend Gramineen, auf denen sich anstelle des Samens die Sklerotien entwickeln. Die Länge der Sklerotien kann bei einem Durchmesser von ca. 1-5 mm zum Teil beträchtlich variieren, wobei die Spannweite von einigen mm bis mehr als 4 cm reicht (Barnikol und Thalmann, 1986; Landes 1996). Damit kann ein Sklerotium kleiner, gleich oder größer als ein Getreidekorn sein. Auf Gräsern gewachsene Sklerotien können sich darüber hinaus durch eine von der typischen Sklerotienform abweichende Wuchsform auszeichnen, was deren Identifizierung erschweren kann (Kamphues und Drochner, 1991).

Die typische purpurne Färbung der Sklerotien von *C. purpurea* ist zurückzuführen auf die vorwiegend in den äußeren Schichten vorkommenden Farbstoffe, zu denen Anthrachinon-Carbonsäuren (orange-rot) und Ergochrome (hellgelb) zählen (Guggisberg, 1954; Franck et al., 1965). Letztere bilden die Secalonsäuren A bis G, von denen im Mutterkorn eine Mischung anzutreffen ist (Römpp, 2002). Das Farbspektrum der Mutterkörner kann erheblichen Schwankungen unterliegen (Franck und Baumann, 1966; Münzing et al., 2004) und ist zudem von der *Claviceps*-Art abhängig. So reicht das Farbspektrum neben der bereits erwähnten purpurnen Färbung von *C. purpurea* von weiß (*C. tripsaci* auf Gamagras, *Tripsacum*, USA) über gelb (*C. hirtella* auf Gräsern der Gattung *Brachiaria*, Australien) bis hin zu schwarz (*C. glabra* auf Fingerhirse, *Digitaria longiflora*, Australien) (Pazoutova, 2004).



R = OH	Lysergsäure (Grundkörper)
R = NH ₂	Lysergsäureamid
R = N(C ₂ H ₅) ₂	Lysergsäurediethylamid (LSD)
R = NHCH(CH ₃)CH ₂ OH	Ergometrin (= Ergonovin)

Abbildung 3.1 Struktur einfacher Lysergsäureamide (Bös, 2003)

Als toxische Bestandteile des Mutterkorns werden die so genannten Ergot-Alkaloide angesehen (Abbildungen 3.1 und 3.2.), die in folgende Gruppen eingeteilt werden können (Hofmann, 1964; Mühle und Breuel, 1977; Römpf, 2002):

- I. Clavine
- II. Lysergsäurederivate
 1. Amide (z.B. Ergin, Ergometrin)
 2. Aminosäuren- / Peptidalkaloide
 - a) *Ergotamine* (z.B. Ergotamin, Ergosin, Ergosecalin)
 - b) *Ergotoxine* (z.B. Ergocryptin, Ergocornin, Ergocristin)
 - c) *Ergoxine* (z.B. Ergostin)

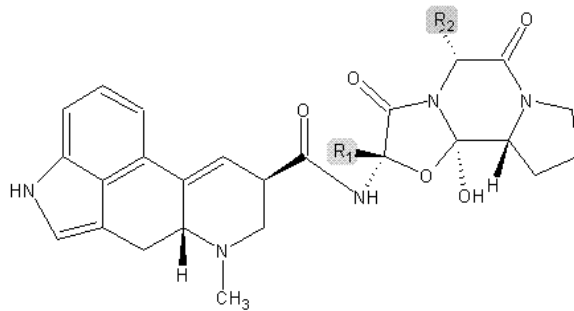
Ergot-Alkaloide beeinflussen hauptsächlich die glatte Muskulatur der Blutgefäße und des Uterus sowie das Zentralnervensystem. Sie interferieren mit verschiedenen Zellrezeptoren und können sehr komplex als partielle Agonisten oder Antagonisten auf adrenerge, dopaminerge und tryptaminerge Rezeptoren wirken (Ludolph und Spencer, 1995). Aus den genannten Gründen können Ergot-Alkaloide vasokonstriktorisch wirken und die Blutzirkulation beeinträchtigen. Aufgrund ihrer Wirkungen auf das Zentralnervensystem können darüber hinaus der Metabolismus der Nährstoffe sowie die hormonelle Regulation gestört werden (Janssen et al., 2000a, b).

Symptome einer Intoxikation mit Ergot-Alkaloiden werden unter dem Begriff Ergotismus zusammengefasst. Eine umfassende Literaturlauswertung zu dieser Problematik findet sich bei Mainka et al. (2003). Danach werden unterschieden:

- akuter Ergotismus [Erbrechen, Durchfall, kardiovaskuläre Störungen, Kreislaufprobleme, Bewegungsstörungen, Krämpfe, Bewusstlosigkeit, Aborte, z.T. tödlich; akute Verlaufsform kann in die chronische übergehen]

- chronischer Ergotismus

- *konvulsiv* [‚Krampfseuche‘- Wirkung auf das ZNS; Kribbeln, Schmerzen und Krämpfe in den Gliedern, epileptische Anfälle, z.T. tödlich]
- *gangränös* [‚Brandseuche‘- Schmerzen und Entzündungen in Gliedern, Nekrosen bis Brandigwerden (trockenes Gangrän), blutfreier Verlust von Akren, z.T. ...]



$R_1 = \text{CH}_3$	$R_2 = \text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_2)_3$	Ergosin
$R_1 = \text{CH}_3$	$R_2 = \text{CH}_2\text{C}_6\text{H}_5$	Ergotamin
$R_1 = \text{C}_2\text{H}_5$	$R_2 = \text{CH}_2\text{C}_6\text{H}_5$	Ergostin
$R_1 = \text{CH}(\text{CH}_3)_2$	$R_2 = \text{CH}(\text{CH}_3)_2$	Ergocornin
$R_1 = \text{CH}(\text{CH}_3)_2$	$R_2 = \text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$	α -Ergocryptin
$R_1 = \text{CH}(\text{CH}_3)_2$	$R_2 = \text{CH}(\text{CH}_3)\text{C}_2\text{H}_5$	β -Ergocryptin
$R_1 = \text{CH}(\text{CH}_3)_2$	$R_2 = \text{CH}_2\text{C}_6\text{H}_5$	Ergocristin

Abbildung 3.2. Struktur von Peptidalkaloiden (Bös, 2003)

Während der akute Ergotismus infolge rechtlicher Regelungen zum Höchstgehalt von Sklerotien in für Nahrungs- und Futterzwecke bestimmtem Getreide von 500 bzw. 1000 mg/kg (Commission Regulation (EEC) No 689/92 of 19 March 1992; und Council Directive 1999/29/EC of 22 April 1999) über diese Quelle praktisch nicht mehr von Bedeutung ist, so kann er als Folge von Medikamentenmissbrauch beim Menschen auftreten (Tfelt-Hansen, 1995). Daher spielen chronische Intoxikationen, die häufig durch unspezifische Effekte, wie den Rückgang der Futteraufnahme, der Lebendmassezunahme sowie der Milchleistung charakterisiert sind, in der Fütterungspraxis eine größere Rolle.

Tabelle 3.1. Variation im Alkaloidgehalt von Mutterkorn, nach verschiedenen Angaben

Untersuchungsmaterial bzw. Bezugsbasis	Alkaloid- Gehalt (%)	Quelle
Mutterkorn aus Roggen (Kanada)	0,011 - 0,452	Young, 1981b
Mutterkorn aus Weizen (Kanada)	0,013 - 0,307	Young, 1981a
Mutterkorn aus Triticale (Kanada)	0,042 - 0,752	Young und Chen, 1982
Mutterkorn aus Gerste (Kanada)	0,082 - 1,04	
Mutterkorn (Zentraleuropa)	0,09 - 0,21	Wolff, 1989
Mutterkorn (Bayern)		Richter, 2003
1985	0,03 - 0,28	
1987	0,10 - 0,21	
1988	0,04 - 0,12	
1995	0,04 - 0,28	
1996	0,01 - 0,25	
1997	0,02 - 0,28	
1998	0,00 - 0,34	
1999	0,06 - 0,22	

Roggen und Triticale sind in der Regel häufiger und mit höheren Gehalten an Sklerotien kontaminiert als Weizen, Gerste und Hafer (Richter et al., 1989; Wolff, 1992; Kamphues und Drochner, 1991; Coenen et al., 1995), wobei Überschreitungen des Höchstgehaltes für Futtergetreide von 1000 mg/kg regelmäßig festgestellt wurden. Die genannten Relationen zwischen den Getreidearten stimmen auch mit deren Anfälligkeit gegenüber *C. purpurea* überein (Mielke und Betz, 1995).

Eine sichere Einschätzung des Gefährdungspotenzials eines bestimmten Mutterkorngehaltes in der täglichen Ration ist durch variierende Alkaloidgehalte im Mutterkorn (Tabelle 3.1., Abbildung 3.3) sowie durch Variationen im Muster der einzelnen Alkaloide (Tabelle 3.2.) im Prinzip nicht möglich (Mainka et al., 2003). Die Datengrundlage zu Schwankungen im Alkaloidgehalt und zum Alkaloidmuster ist als unzureichend zu betrachten, so dass keine generellen Schlussfolgerungen gezogen werden können. Während Young (1981b) und Young und Chen (1982) davon ausgehen, dass die Variationen im Muster der Alkaloide im Vergleich zum Gesamt-Alkaloidgehalt für kanadisches Getreide eher gering sind, berichteten Rotter et al. (1985a) über beträchtliche Variationen im Alkaloidmuster in verschiedenen Regionen Kanadas. Wolff et al. (2004) zeigten, dass der Alkaloidgehalt von gereinigtem Roggen gegenüber gereinigtem Weizen nicht nur durch einen höheren Median, sondern auch durch eine beachtliche Variation gekennzeichnet war (Abbildung 3.3.), welche einerseits auf die Inhomogenität der einzelnen Roggenpartien zurückzuführen sein dürfte und andererseits die Grenzen der Getreidereinigung bei der Reduktion von Mutterkorn deutlich macht.

Tabelle 3.2. Variation im in den Einzelalkaloiden von Mutterkorn, nach verschiedenen Angaben

	Roggen			Weizen			Triticale
Gesamtalkaloide	0,269-0,312	0,28	0,278	0,308	0,357	0,164	0,259
Herkunft	K	K	D	K	K	K	K
Quelle	1	2	3	1	4	2	1
Alakaloide		-in/-inin			-in/-inin		
Ergometrin	6,6 - 10,1	10,8	8,1	7,7	21,3	2,3	5,4
Ergometrinin	1,2 - 3,3			3,0	9,1		2,9
Ergotamin	23,1 - 40,1	18,8	5,4	14,8	12,2	14,7	22,8
Ergotaminin	5,7 - 6,6			3,1	1,7		5,2
Ergocornin	1,1 - 5,8	9,7	3,2	10,4	9,7	8,5	5,8
Ergocorninin	0,0 - 2,3			2,7	1,3		2,0
Ergocryptin	0,9 - 3,5	10,0	1,9	10,1	6,6	12,9	3,7
Ergocryptinin	0,0 - 1,3			1,7	0,9		1,2
Ergocristin	17,0 - 22,2	42,3	14,9	33,1	30,1	57,0	32,8
Ergocristinin	1,6 - 4,0			3,2	2,2		4,5
Ergosin	12,3 - 15,5	6,7		6,3	4,9	3,4	9,2
Ergosinin	3,0 - 3,9			1,3			2,5

1 = Rotter et al., 1985a; 2 = Young 1981,a; 3 = Mainka et al., 2005; 4 = Young et al., 1983

K = Kanada; D = Deutschland

-in/-inin = Summe aus -in plus -inin-Form

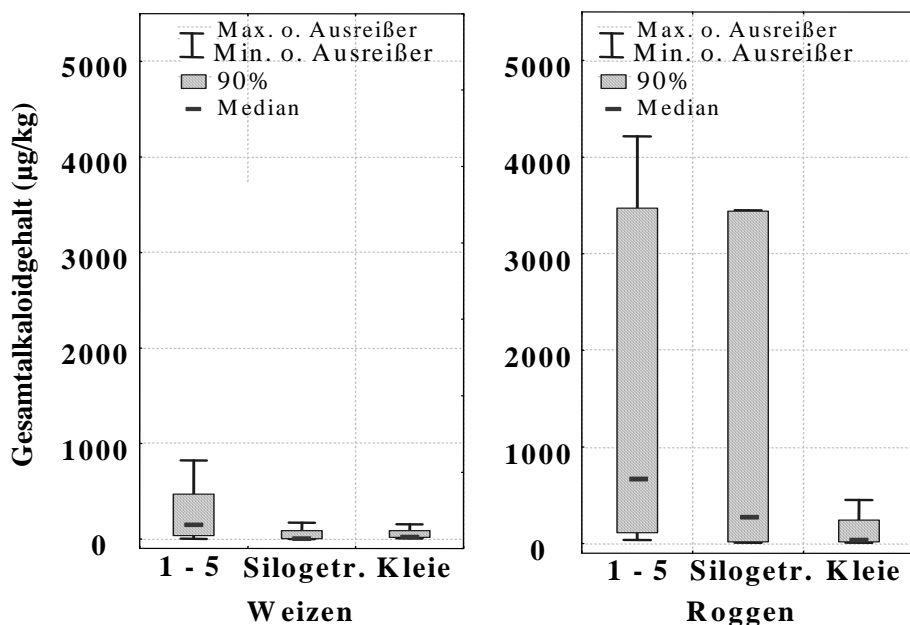


Abbildung 3.3. Variationsbreite im Gesamtalkaloidgehalt von Reinigungsanfällen (Muster 1 -5), von gereinigtem Getreide sowie von Kleien (Wolff et al., 2004)

Neben diesen Alkaloiden kommt einigen von den erwähnten Farbstoffen, wie z.B. der Secalonsäure D, eine toxikologische Bedeutung zu. Secalonsäure D, die nicht nur von

Claviceps-Arten, sondern auch von einigen *Penicillium*-Arten gebildet wird (Vesely et al., 1992; Frisvad et al., 2004), inhibiert die Phospholipid-abhängige Proteinkinase C und die cAMP-abhängige Proteinkinase und wirkt teratogen (Vesely et al. 1992; Wang und Polya 1996). Dies kann für die Toxizität von Mutterkorn von Bedeutung sein, da der Anteil an Farbstoffen mit insgesamt 1-2 % (Mainka et al., 2003) deutlich größer sein kann als der der Alkaloide.

3.1.2 Schlussfolgerung für die Detoxifikation

Da sich Mutterkornsklerotien und Gramineensamen hinsichtlich ihrer physikalischen Eigenschaften (Größe, Farbe, spezifisches Gewicht) unterscheiden, ergibt sich für unzerkleinertes Getreide im Sinne Absatz 2 des § 23 der Futtermittelverordnung (Süflohn, 2004) durch die Anwendung geeigneter technischer Verfahren die Möglichkeit einer Reinigung (Verminderung oder Entfernung).

Im zerkleinerten Getreide und im Mischfutter müssen technische Verfahren auf eine Inaktivierung (Dekontamination) der toxischen Inhaltsstoffe des Mutterkorns, zu denen hauptsächlich die Alkaloide zu rechnen sind, zielen. Dabei ergibt sich zusätzlich die Schwierigkeit der Festlegung von kritischen Höchstgehalten für diese Alkaloide in der täglichen Gesamtration, da die Datenlage hierzu (Variationen im Gesamt-Alkaloidgehalt sowie im Muster der Einzelalkaloide sowie darauf abgestellte Versuche) als unzureichend angesehen werden muss.

Auf dieses Dilemma macht Gedek (2002) aufmerksam, indem sie bei der Angabe von kritischen Mutterkorngehalten in der täglichen Gesamtration auf das Problem möglicher Schwankungen im Alkaloidgehalt hinweist. Berücksichtigt man neben diesen kritischen Höchstgehalten noch die Schwankungen im Alkaloidgehalt von zentral-europäischem Mutterkorn nach Wolff (1989), dann ergibt sich, dass bei Einhaltung eines Höchstgehaltes von 0,25 % in der Ration für Rinder der Alkaloidgehalt zwischen 2,25 und 5,25 mg/kg schwanken kann. Träfe nun der kritische Gehalt von 0,25 % für den minimalen Alkaloidgehalt im Mutterkorn von 900 mg/kg zu, dann dürfte der Mutterkorngehalt in der Ration 0,11 % nicht übersteigen, wenn ein Maximalgehalt an Alkaloiden von 2100 mg/kg Mutterkorn unterstellt würde.

Tabelle 3.3. Kritische Mutterkorngehalte in der täglichen Ration von Nutztieren nach Gedek (2002) (unkorrigiert) sowie deren Korrektur auf einen maximalen Alkaloidgehalt unter Berücksichtigung der Schwankungen im Alkaloidgehalt in zentraleuropäischem Mutterkorn¹ nach Wolff (1989) (korrigiert, worst case Szenario)

Tierart/Kategorie	Kritische Mutterkorngehalte (% der Gesamtration)		Variation im Alkaloidgehalt ¹ (mg/kg Mutterkorn bzw. Gesamtration)	
	unkorrigiert	korrigiert	Min	Max
Rind	0,25	0,11	2,25	5,25
Geflügel	0,5	0,21	4,5	10,5
Schwein	1	0,43	9	21

Diese Unsicherheit legt zusammen mit den erwähnten Überschreitungen im futtermittelrechtlich zugelassenen Maximalgehalt von 1000 mg Sklerotien/kg unzerkleinertes Getreide die Notwendigkeit nahe, sowohl Reinigungsmaßnahmen als auch Dekontaminationsmaßnahmen zum Schutz der Tiergesundheit zu berücksichtigen.

3.1.3 Vermeidung

Dass insbesondere Roggen für eine Mutterkornpilz-Infektion anfällig ist, hängt mit den biologischen Eigenschaften sowohl des Pilzes als auch des Roggens zusammen. Die Ascosporen bzw. die Konidien des Pilzes müssen für eine erfolgreiche Etablierung auf der Wirtspflanze den Fruchtknoten infizieren. Dieser Infektionsweg wird durch das Blühverhalten des Roggens besonders begünstigt. Als Fremdbefruchter öffnet er seine Blüte solange, bis eine Befruchtung durch vom Wind herangezogenen Pollen erfolgt ist. Eine offene Blüte ist ungeschützt und als befallsfördernd anzusehen. Das heißt, je schneller eine Befruchtung erfolgt, desto schneller schließt sich die Blüte und desto weniger Zeit verbleibt dem konkurrierenden Pilz zur Infektion (Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung Landwirtschaft und Forsten (aid) e.V.(Hrsg.) 1998). Innerhalb der Getreidearten sinkt das Befallsrisiko von der Fremd- zur Selbstbefruchtung in der Reihenfolge Roggen>Triticale>Gerste>Weizen.

Ein hohes Pollenschüttungsvermögen bzw. eine hohe Pollendichte sowie ein synchrones Blühverhalten können das Risiko einer Mutterkornpilz-Infektion demnach vermindern. Obwohl die Hybridroggenzüchtung große Erfolge hinsichtlich des Kornertrages hervorbrachte, so war das Pollenschüttungsvermögen von Hybridroggensorten gegenüber herkömmlichen Populationsroggensorten deutlich verringert. So wurde auch mit der Ausdehnung des Hybridroggenanbaus ein Anstieg im Mutterkornbesatz beobachtet (Mielke, 2000).

Schlussfolgernd können folgende Maßnahmen zur Reduktion des Befallsrisikos von Roggen mit dem Mutterkornpilz beitragen:

- züchterische Verbesserung des Pollenschüttungsvermögens von Hybridroggensorten
- Saatgutreinigung (Saatgut sollte frei von Mutterkorn sein)
- Saatgut-Zumischung von 10-15% Populationsroggen zum Hybridroggen sowie Aussaat von Populationsroggen auf den Randstreifen zur Verbesserung der Bestäubung
- Auflockerung der Fruchtfolgen (keine Monokultur)
- optimaler Aussaattermin und –stärke (homogen blühende Bestände, d.h. wenige Nebentriebe)
- eine wendende Bodenbearbeitung (Pflügen) sowie das Mähen der Ackerrandstreifen (Ungraskontrolle) mindert das Infektionsrisiko der Kulturfrucht,
- auf den Roggen abgestimmte (geringere) N-Düngung trägt zu einer gleichmäßigeren Abblühphase bei, der Einsatz von Wachstumsreglern verzögert hingegen die Blühdauer und erhöht somit den Mutterkornbesatz im Erntegut.

Nähere Informationen zur integrierten Bekämpfung des Mutterkornpilzes sind bei Engelke (2002) zu finden.

3.1.4 Reinigung (Verminderung oder Entfernung)

Reinigungsmaßnahmen werden hauptsächlich in Getreidemühlen mit dem Ziel der Erzeugung von einwandfreiem Getreide für Nahrungszwecke angewendet, während für Futterzwecke vorgesehenes Getreide v.a. bei Selbstmischern oft ungereinigt zur Verfütterung gelangt.

In einem vom BMVEL initiierten Projekt zur Untersuchung der Kontamination von Reinigungsanfällen mit unerwünschten Stoffen aus Getreidemühlen konnte gezeigt werden, dass sämtliche Anfälle im Mittel und im Median höher mit Alkaloiden kontaminiert waren, als gereinigtes Silogetreide und die Kleien (Tabelle 3.4., Abbildung 3.3.). Wolff et al. (2004) kalkulierten, dass bei Weizen und Roggen über diese Reinigungsanfälle 0,05 % bzw. 0,32 % Mutterkorn entfernt wurden.

Die Spezifik der Mutterkornauslese bei Roggen wurde von Münzing et al. (2004) ausführlich diskutiert. Die erwähnten Variationen des Mutterkorns hinsichtlich Farbe, Größe und spezifischer Dichte erfordern die komplexe Anwendung verschiedener Reinigungsprinzipien, da sich Mutterkorn während der Ersterfassung nicht vollständig entfernen lässt. Nach Münzing et al. (2004) kann eine Kombinationen von Sieben (Korngröße), Tischauslesern (spezifische Dichte), Leichtkornauslesern (spezifische Dichte), Trieuren (Form und Größe) sowie Farbauslesern (Farbabweichungen) zu einer Separation von 95 bis 99 % des ursprünglich enthaltenen Mutterkorns führen.

Tabelle 3.4. Gesamt-Alkaloide ($\mu\text{g}/\text{kg}$) in den „Nebenprodukten“ von Getreidemühlen, in gereinigtem Getreide (Roggen und Weizen) und in Kleie (Wolff et al., 2004)

Muster	n	Min	Max	Mittel	Median
Staub an der Schüttgasse	48	21	3.480	397	154
Anfall durch Transport, Redler und Aspiration	51	17	54.572	1.387	180
Anfall beim Schwingsieb, Steigsichter, Sandsieb	46	7	4.213	608	178
Spelzen, Ausputz, Schrollen	44	2	36.118	1.129	127
Sammelmuster, „Abfallverwertung“, Bruchkorn	53	3	19.654	720	209
Silogetreide	56	1	3.448	115	13
Kleie, die zum Zeitpunkt der Musternahme anfiel	56	7	451	62	37

3.1.5 Detoxifizierung

Es wurden eine Reihe physikalischer und chemischer Verfahren zur Dekontamination mit unterschiedlichen Erfolgen geprüft (Tabelle 3.5.).

Daneben wurden routinemäßig durchgeführte Verfahren der Nahrungsmittelverarbeitung (Verbackung) sowie der Futtermittelbehandlung (Pelletierung, Lagerung, Silierung) hinsichtlich ihres Einflusses auf den Alkaloidgehalt untersucht (Abbildung 3.4., Tabelle 3.5.). Bei diesen Futtermittelbearbeitungsverfahren zeigte sich, dass die Pelletierung keine eindeutigen positiven Effekte erbrachte, wohingegen sowohl Lagerung als auch Silierung offensichtlich einfache Maßnahmen zur Reduktion des Alkaloidgehaltes darstellen (Richter, 2003). Die Verringerung der Toxizität von länger gelagertem Mutterkorn konnte auch in Versuchen an Ferkeln demonstriert werden (Richter et al., 1989; Richter et al., 1990).

Von den gezielt zur Dekontamination geprüften Verfahren erwiesen sich nach mehreren Literaturangaben insbesondere die Wärmebehandlung und die Behandlung mit Chlorgas als effektiv. Die analytisch feststellbaren Reduktionen im Alkaloidgehalt ließen sich auch im Tierversuch bestätigen (Young et al., 1983; Rotter et al., 1985b). Allerdings scheint der Behandlungserfolg der Wärmebehandlung von den angewandten Temperaturen und der Behandlungsdauer abhängig zu sein. Während Young et al. (1983) sowie Rotter et al. (1985b) bei Temperaturen von 200°C Reduktionen im Alkaloidgehalt von mehr als 90 % sowie dazu äquivalente Wachstumsleistungen in Tierversuchen mit Broilern erzielten, fielen die Reduktionsraten bei niedrigeren Temperaturen in der Regel deutlich geringer aus (Tabelle 3.5., Young et al., 1983; Landes et al., 1997; Mainka et al., 2004).

Obwohl die Untersuchungen von Mainka et al. (2004) nur eine mittlere Reduktion im Alkaloidgehalt um ca. 10 % ergaben (Tabelle 3.6.), so wurde eine Veränderung des Isomerenmusters der einzelnen Alkaloide von der -in-Form hin zu der -inin-Form festgestellt (Abbildung 3.5.). Inwiefern sich diese Veränderungen in Richtung der weniger toxischen -inin-Formen *in vivo* darstellen lassen, müssen Tierversuche zeigen.

Adsorbentien, die dem kontaminierten Futter zugegeben werden, sollen durch mehr oder weniger feste Bindung der Mykotoxine unter den Bedingungen des Verdauungstraktes (pH-Wert, Feuchte) deren Absorption durch die Darmschleimhaut verhindern, wodurch eine Detoxifikation durch eine fäkale Elimination bewerkstelligt werden soll. Eine prinzipielle Eignung solcher Stoffe wurde in verschiedenen *in vitro*-Untersuchungen geprüft, wobei variierende Adsorptionsraten festgestellt wurden (Tabelle 3.5.). Zum Nachweis der Wirksamkeit sind jedoch zusätzlich Tierversuche heranzuziehen. Von den bisher durchgeführten wenigen Tierversuchen zu dieser Problematik lässt sich eine Effektivität der getesteten Substanzen nicht ableiten.

Tabelle 3.5. Dekontamination von Mutterkornalkaloiden, nach verschiedenen Angaben

Verfahren/Behandlung	Effekte	Quelle
Pelletierung	Rückgang der Zunahmen und der Mortalität von Broilern nach Pelletierung des kontaminierten Futters	Bragg et al., 1970
Pelletierung	Reduktion des Alkaloidgehaltes, Verbesserung der Leistung von Mastschweinen	Harrold et al., 1974
Chlorgas	Reduktion des Alkaloidgehaltes um ca. 90 %	Young et al., 1983
Erhitzen bei Umgebungsdruck (150 und 200°C, ca. 8 h)	Reduktion des Alkaloidgehaltes um ca. 90 %	
Ammoniak, Ozon, HCl, SO ₂ , UV- Bestrahlung	keine bzw. geringe Reduktion des Alkaloidgehaltes	
Autoklavieren (121°C für 30 min)	Reduktion des Alkaloidgehaltes um ca. 25 %, partielle protektive Wirkung auf das Broilerwachstum	
Chlorgas (30 u. 60 min)	Äquivalentes Broilerwachstum bei 4 % behandeltem und 2 % unbehandeltem Mutterkorn	Rotter et al., 1985b
Erhitzen bei Umgebungsdruck (200°C, 30 min)	Äquivalentes Broilerwachstum bei 4 % behandeltem und 2 % unbehandeltem Mutterkorn	
Zusatz von "Antitox vana" (Polivinyln Prolidin) zu Mutterkorn enthaltendem Futter	kein protektiver Effekt auf die Leistung von Broilern	
Verbacken	Reduktion im Ergometringehalt	Wolff und Ocker, 1985
Lagerung bei Umgebungstemperatur	Reduktion des Alkaloidgehaltes bei einer Halbwertszeit von ca. 2 Jahren	Richter et al., 1990; Wolff, 1992
Verbacken (204°C für 18 min)	Reduktion im Ergometringehalt	Friedmann und
Mikrowellen (90 s)	Reduktion im Ergometringehalt	Dao 1990
Autoklavieren (121°C für 5 - 60 min)	Grad der Reduktion im Ergometringehalt von Behandlungszeit abhängig	
in vitro Adsorption an hydratisiertes Natrium Calcium Aluminiumsilikat (HSCAS) sowie in vivo Test	Adsorption von >90 % von Ergotamin bei pH 2,5 - 7,8; ab pH 8 keine Adsorption kein protektiver Effekt im Tierversuch (Ratten und Schafe)	Chestnut et al. 1992
Erhitzen bei Umgebungsdruck und im Autoklaven (96 - 135°C, 1h)	Reduktion des Alkaloidgehaltes um 30 % bei 30 % Feuchte	Landes et al. 1997
in vitro Adsorption bei pH 2,5	Adsorption: <ul style="list-style-type: none"> • Bleicherde: 12 % • Aktivkohle: 39 % • Bentonite: >50 % • keine Wirkung bei Aluminiumoxid, Quarz, Kaolinit und Glimmer 	Huebner et al. 1999
Sodagrain (NaOH-Behandlung, pH>10)	Reduktion des Alkaloidgehaltes um 50 %	Coenen et al. 2000
Lagerung und Silierung (Abbildung 4.1.4)	Reduktion des Alkaloidgehaltes	Richter 2003
in vitro Adsorption an 7 verschieden organo-modifizierte Zeolithe	Adsorption zwischen 65 und 99 % für verschiedene Peptidalkaloide	Tomasevic-Canovic et al. 2003
Kurzzeitkonditionierung bei 95°C und 17 % Feuchte für ca. 2 Minuten, mit anschließender Expandierung (5 Sekunden bei 120°C, 18 % Feuchte, 40 bar mechanischem Druck und 20 kWh/t mechanischem Energieeintrag)	<ul style="list-style-type: none"> • Reduktion des Alkaloidgehaltes um ca. 10 %, keine weitere Senkung durch Expandieren • Änderung im Isomerenmuster der Einzelalkaloide von der -in-Form in die -inin-Form 	Mainka et al. 2004

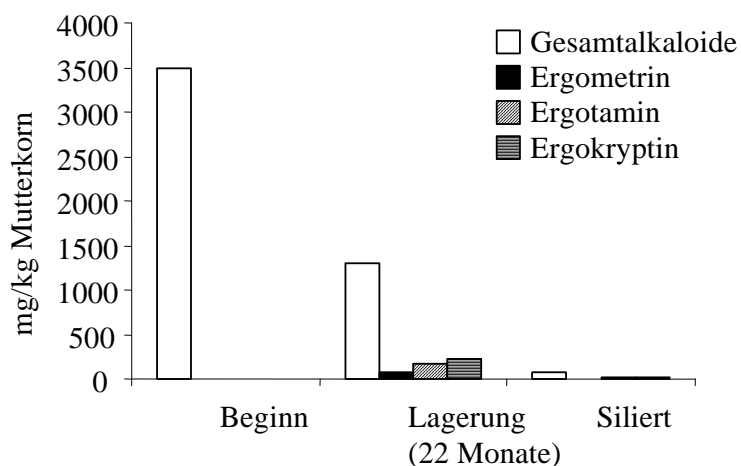


Abbildung 3.4. Reduktion des Alkaloidgehaltes von Mutterkorn durch Lagerung und Silierung (nach Richter, 2003)

Tabelle 3.6. Mittlere Gesamtalkaloidgehalte (mg/kg Trockensubstanz) und prozentuale Anteile (%) der mit Mutterkorn angereicherten Roggenpartien vor und nach der Konditionierung (vK bzw. nK) sowie nach der Expandierung (nE) (n = 3) (Mainka et al., 2004)

Mutterkorn (%)	Gesamtalkaloidgehalt					
	vK		nK		nE	
0,8	4,9	100	4,0	81	5,4	109
4,2	25,2	100	23,5	93	16,5	66
8,3	52,3	100	44,7	85	45,7	87
25	169,6	100	150,6	89	158,1	93

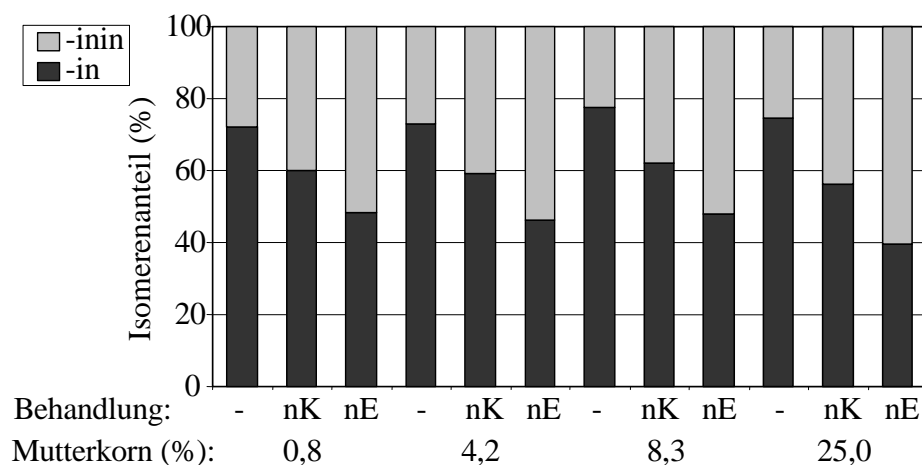


Abbildung 3.5. Prozentuale Anteile der Ergotalkaloidisomeren am Gesamtalkaloidgehalt vor (-) und nach der Konditionierung (nK) sowie nach der Expandierung (nE) (n = 3) (Mainka et al., 2004)

Secalonsäure D, die neben den Alkaloiden im Mutterkorn vorkommen kann, wird effektiv durch Behandlung mit Ozon entfernt, wobei keine HPLC-detektierbaren Abbauprodukte festgestellt wurden. Darüber hinaus bewirkte die Ozon-Behandlung in einem Mykotoxinsensitiven Bioassay mit *Hydra attenuata* keine toxischen Effekte (McKenzie et al., 1997).

3.1.6 Schlussfolgerungen für die praktische Anwendung

Da Reinigungsabfälle von Getreide nicht nur erhöhte Konzentrationen an Alkaloiden aufweisen, sondern generell als Schadstoffsensoren anzusehen sind, sollte eine Reinigung von Getreide auch für Fütterungszwecke in Erwägung gezogen werden.

Die bisherigen positiven Befunde zur Reduktion des Alkaloidgehaltes während der Lagerung sollten systematisch weiterverfolgt und mit Tierversuchen kombiniert werden. Die praktische Realisierbarkeit der bewussten Nutzung von Lagereffekten hängt allerdings von den konkreten betrieblichen Bedingungen (insbesondere Lagerhaltung) ab.

Inwiefern sich der Effekt einer Alkaloidreduktion über die Silierung reproduzieren lässt, müssen weitere Untersuchungen zeigen.

Eine thermische Reduktion von Alkaloiden im zerkleinerten Getreide erscheint unter den bisher geprüften Verfahren am effektivsten zu sein, wobei Temperaturen von ca. 200° C erforderlich sind. Es erscheint sinnvoll, dieses Verfahren zu optimieren und die Effektivität geeigneter technologischer Verfahren im Tierversuch zu prüfen. Die gleiche Vorgehensweise wird für die Anwendung von Chlorgas empfohlen, das sich unter den chemischen Verfahren am wirksamsten erwiesen hat.

3.1.7 Literatur

- Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung Landwirtschaft und Forsten (aid) e.V.(Hrsg.) (1998) Mutterkorn vermeiden. Bonn
- Barnikol H, Thalmann A (1986) Neuerliche Ausbreitung von Mutterkorn, eine Gefahr für Mensch und Tier ? Tierärztl Umschau 41: 178-185
- Bös B (2003) Das Giftpflanzenkompendium. <http://www.giftpflanzen.com> (07 11 2003)
- Bragg DB, Salem HA, Devlin TJ (1970) Effect of dietary triticales ergot on the performance and survival of broiler chicks. Can J Anim Sci 50: 259-264
- Chestnut AB, Anderson PD, Cochran MA, Fribourg HA, Gwinn KD (1992) Effects of hydrated sodium calcium aluminosilicate on fescue toxicosis and mineral toxicosis. J Anim Sci 70: 2838-2846
- Coenen M, Landes E, Kamphues J (1995) Tierärztliche Aspekte der Mutterkorn- und Ergotalkaloidbelastung von Getreide und Mischfutter - Häufigkeit, Menge, klinische Relevanz. Lanbauforschung Völknerode, Sonderheft 157: 84-87
- Coenen M, Landes E, Kamphues J (2000) Mutterkorn und Ergotalkaloidmuster in Futtermitteln sowie Reduktion des Ergotalkaloidgehaltes durch Hitze und Alkalisieren. un-veröffentlichte Versuchsergebnisse

- Engelke T (2002) Ansätze für eine integrierte Bekämpfung des Mutterkorns (*Claviceps purpurea* [Fr.] Tul.) im Roggen. Dissertation, Cuvillier Verlag, Göttingen
- Franck B, Baumann G (1966) Mutterkorn-Farbstoffe. 14. Isolierung, Struktur und absolute Konfiguration der Ergochrome AD, BD, CD und DD. Chem Ber 99: 3875-3883
- Franck B, Baumann G, Ohnsorge U (1965) Ergochrome, eine ungewöhnlich vollständige Gruppe dimerer Farbstoffe aus *Claviceps purpurea*. Tetrahedron Letters 25: 2031-2037
- Friedmann M, Dao L (1990) Effect of autoclaving and conventional and microwave baking on the ergot alkaloid and chlorogenic acid contents of morning glory heavenly blue seeds. J Agric Food Chem 38: 805-808
- Frisvad JC, Smedsgaard J, Larsen TO, Samson RA (2004) Mycotoxins, drugs and other extrolites produced by species in *Penicillium* subgenus *Penicillium*. Studies in Mycology, pp. 201-241
- Gedek B (2002) Pilzkrankheiten der Haustiere. In: Medizinische Mikrobiologie, Infektions- und Seuchenlehre Hrsg : Rolle, M & Mayr, A , Enke Verlag Stuttgart, pp. 613-632
- Guggisberg H (1954) Mutterkorn - vom Gift zum Heilstoff. Basel NY : S.Karger, pp 1-302
- Harrold RL, Dinusson WE, Haugse CN, Johnson JN (1974) Ergot in growing-finishing swine rations. North Dakota Farm Research 32: 13-15
- Hofmann A (1964) Die Mutterkornalkaloide. Ferdinand Enke Verlag Stuttgart
- Huebner HJ, Lemke SL, Ottinger SE, Mayura K, Phillips TD (1999) Molecular characterization of high affinity, high capacity clays for the equilibrium sorption of ergotamine. Food Addit Contam 16: 159-171
- Janssen GB, Beems RB, Elvers LH, Speijers GJA (2000a) Subacute toxicity of alpha-ergocryptine in Sprague-Dawley rats. 2: metabolic and hormonal changes. Food Chem Toxicol 38: 689-695
- Janssen GB, Beems RB, Speijers GJA, Egmond HPv (2000b) Subacute toxicity of alpha - ergocryptine in Sprague-Dawley rats. 1: general toxicological effects. Food Chem Toxicol 38: 679-688
- Kamphues J, Drochner W (1991) Mutterkorn in Futtermitteln - ein Beitrag zur Klärung möglicher mutterkornbedingter Schadensfälle. Tierärztl Prax 19: 1-7
- Landes E (1996) Mutterkorn in Futtermitteln für Rinder. Übers Tierernährg 24: 92-101
- Landes E, Coenen M, Kamphues J (1997) Untersuchungen zur Reduktion der Ergotalkaloidgehalte (Ergometrin, Ergotamin, Ergocryptin) von mutterkornhaltigem Getreide durch verschiedene Behandlungen. Proc Mykotoxin-Workshop in München, pp. 211-215
- Ludolph AC, Spencer PS (1995) Mycotoxins and tremorgens: effects and mechanisms. In: Handbook of neurotoxicology. Ed by Chang, L W & Dyer, R S , Marcel Dekker, Inc , New York-Basel-Hong Kong, pp. 591-609
- Mainka S, Dänicke S, Böhme H, Wolff J, Matthes S, Flachowsky G (2005) Comparative studies on the effect of ergot contaminated feed on performance and health of piglets and chickens. Arch Anim Nutr 59: 81-98
- Mainka S, Dänicke S, Coenen M (2003) Zum Einfluss von Mutterkorn im Futter auf Gesundheit und Leistung von Schwein und Huhn. Übers Tierernährg 31: 121-168

- Mainka S, Dänicke S, Ueberschär K-H, Reichenbach HGv (2004) Zum Einfluss einer hydrothermischen Behandlung auf den Ergotalkaloidgehalt von mutterkornbelastetem Roggen. *Mycotox Res* 21: 116-119
- McKenzie KS, Sarr AB, Mayura K, Bailey RH, Miller DR, Rogers TD, Norred WP, Voss KA, Plattner RD, Kubena LF, Phillips TD (1997) Oxidative degradation and detoxification of mycotoxins using a novel source of ozone. *Food Chem Toxicol* 35: 807-820
- Mielke H (2000) Studien über den Pilz *Claviceps purpurea* (Fries) Tulasne unter Berücksichtigung der Anfälligkeit verschiedener Roggensorten und der Bekämpfungsmöglichkeiten des Erregers. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem, Heft 375*, Parey, Berlin
- Mielke H, Betz H-G (1995) Bedeutung des Mutterkorns und pflanzenbauliche Möglichkeiten zur Bekämpfung bei Roggen. *Getreide, Mehl und Brot* 49: 338-341
- Mühle E, Breuel K (1977) *Das Mutterkorn*. A Ziemsen Verlag Lutherstadt Wittenberg, 2 Auflage
- Münzing K, Pottebaum R, Wolf K (2004) Mutterkorn im Roggen und Konsequenzen für die Mühle. *Getreidetechnologie* 58: im Druck
- Pazoutova S (2004) Phylogeny of Ergot (*Claviceps*).
<http://www2.biomed.cas.cz/~pazouto/claviceps.htm> (08.02.2005)
- Richter WIF (2003) Mutterkorn in wirtschaftseigenen Futtermitteln. <http://www.stmlf-design2.bayern.de/alle/cgi-bin/go.pl?region=home&page=http://www.stmlf-design2.bayern.de/blt/infos/mutterkorn/mutterkorn.html> (11.02.2005)
- Richter WIF, Röhrmoser G, Komusinski S, Rindle C, Wolff J (1990) Einfluß der Lagerdauer von Mutterkorn kontaminiertem Futtergetreide und dessen Rationsanteil auf Zuwachs und Futtermittelverwertung von Ferkeln. *Das wirtschaftseigene Futter* 36: 236-245
- Richter WIF, Röhrmoser G, Komusinski S, Wolff J (1989) Einsatz von mutterkornhaltigem Weizen in der Futtermittelration von Ferkeln. *VDLUFA Schriftenreihe Kongreßband 1989* 30: 427-432
- Römpp (2002) *Ergot-Alkaloide*. Römpp-online, Georg Thieme Verlag,
<http://www.roempp.com>
- Rotter RG, Marquardt RR, Young JC (1985a) Effect of ergot from different sources and of fractionated ergot on the performance of growing chicks. *Can J Anim Sci* 65: 953-961
- Rotter RG, Marquardt RR, Young JC (1985b) The ability of growing chicks to recover from short-term exposure to dietary wheat ergot and the effect of chemical and physical treatments on ergot toxicity. *Can J Anim Sci* 65: 975-983
- Süßloh K (2004) *Grüne Broschüre - Das geltende Futtermittelrecht*. Allround Media Service e K, Rheinbach
- Tfelt-Hansen P (1995) Ergot alkaloids. Intoxications of the nervous system Part II; *Handbook of Clinical Neurology* Vol 65: 61-78
- Tomasevic-Canovic M, Dakovic A, Rottinghaus G, Matijasevic S, Duricic M (2003) Surfactant modified zeolites - new efficient adsorbents for mycotoxins. *Microporous and Mesoporous Materials* 61: 173-180
- Vesely D, Vesela D, Jelinek R (1992) Embryotoxicity of T-2 Toxin and Secalonic Acid in Embryonic Chicks Varies with the Site of Administration. *Teratology* 46: 131-136

- Wang BH, Polya GM (1996) The fungal teratogen secalonic acid D is an inhibitor of protein kinase C and of cyclic AMP-dependent protein kinase. *Planta Medica* 62: 111-114
- Wolff J (1992) Mutterkorn in Getreide und Getreideprodukten. In: Ocker HD (ed) Rückstände und Kontaminanten in Getreide und Getreideprodukten; (7). Hamburg: Behr's Verlag, pp 113-137
- Wolff J (1989) Mutterkorn in Getreide. 30: 28-36
- Wolff J, Blüthgen A, Brüggemann J, Dänicke S, Hecht H, Jira W, Sender I, Rabe E, Schenkel H, Schwind K-H, Ubben E-H, Ueberschär K-H, Valenta H (2004) Untersuchungen an Nebenprodukten der Müllerei auf unerwünschte Stoffe und deren futtermittelrechtliche Bewertung. Schriftenreihe des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft - Angewandte Wissenschaft, Schriftleitung: J Wolff und A Blüthgen, Landwirtschaftsverlag GmbH Münster-Hiltrup, Heft 496
- Wolff J, Ocker H-D (1985) Einfluß des Backprozesses auf den Gehalt des Mutterkornalkaloids Ergotmetrin. *Getreide, Mehl und Brot* 39: 110-113
- Young JC (1981b) Variability in the content and composition of alkaloids found in Canadian ergot. I. Rye. *J Environ Sci Heal B* 16: 83-111
- Young JC (1981a) Variability in the content and composition of alkaloids found in Canadian ergot. II. Wheat. *J Environ Sci Heal B* 16: 381-393
- Young JC, Chen Z, Marquardt RR (1983) Reduction in alkaloid content of ergot sclerotia by chemical and physical treatment. *J Agric Food Chem* 31: 413-415
- Young JC, Chen ZJ (1982) Variability in the content and composition of alkaloid found in Canadian ergot. III. Triticale and barley. *J Environ Sci Heal B* 17: 93-107