

# Fusarien und Mykotoxine in Silomais – Ergebnisse eines fünfjährigen Monitorings

Andreas Kägi, Fionna Loeu, Tomke Musa, Eveline Jenny, Felix E. Wettstein,  
Thomas D. Bucheli und Susanne Vogelgsang  
Agroscope, 8046 Zürich, Schweiz

Auskünfte: Andreas Kägi, E-Mail: andreas.kaegi@agroscope.admin.ch



Auch ohne sichtbare Symptome auf dem Feld können Silomais-Pflanzen von Fusarien befallen und mit Mykotoxinen belastet sein. (Foto: Dimitrios Drakopoulos, Agroscope)



Vielfältiges Spektrum an *Fusarium*-Arten aus Silomaispartikeln im Gesundheitstest. (Foto: Sonja Eckard, Agroscope)

## Einleitung

Pilze der Gattung *Fusarium* können alle Getreidearten befallen. Der Befall von Wurzeln, dem Stängelbereich und der Maiskolben beziehungsweise der Getreideähren führt neben quantitativen Ernteverlusten auch zu qualitativen Beeinträchtigungen. Je nach *Fusarium*-Art werden verschiedene Mykotoxine gebildet, die meist schon in geringen Konzentrationen ein erhebliches

Gesundheitsrisiko für Mensch und Tier darstellen. Die Europäische Kommission erliess deswegen 2006 für verschiedene Nutztiere Richtwerte für Allein- und Ergänzungsfutter. Diese wurden von der Schweiz übernommen (Tab. 1).

Einzelne *Fusarium*-Arten können auf Ernterückständen von Mais überdauern und nachfolgendes Getreide

befallen. Während für Weizen und Gerste verschiedene Bekämpfungsstrategien gegen Infektionen mit der dominant auftretenden Art *Fusarium graminearum* bekannt sind (z.B. Schöneberg *et al.* 2016), ist die *Fusarium*-Bekämpfung im Maisanbau aufgrund des viel grösseren Artenspektrums erheblich schwieriger. In der Schweiz wurden im Rahmen von zwei Körnermais-Studien (Dorn *et al.* 2009; Dorn *et al.* 2011) bis zu 16 *Fusarium*-Arten identifiziert. Der jährliche Befall hing stark vom jeweiligen Untersuchungsjahr ab. Um abzuklären, ob auch bei Mais die Art der Bodenbearbeitung, die Einarbeitung von Ernterückständen sowie die Fruchtfolge einen Einfluss auf das Auftreten von Fusarien haben können, wurden diese Faktoren innerhalb eines fünfjährigen Bodenschutzprogrammes des Kantons Bern näher beleuchtet. Weitere Proben wurden mithilfe des kantonalen Pflanzenschutzdienstes des Kantons Aargau gewonnen.

Die Ziele der vorliegenden Studie waren (i) eine Bestandsaufnahme der *Fusarium*-Befallssituation und der Kontamination mit Mykotoxinen in Silomais-Ernteproben und (ii) die Beurteilung des Einflusses von Anbaufaktoren auf die Mykotoxinbelastung. Basierend auf diesen Erkenntnissen sollen langfristig Empfehlungen zur Vermeidung von *Fusarium*-Befall in Silomais erarbeitet werden.

## Material und Methoden

### Probennahme und -aufbereitung

Bei der schriftlichen Anfrage um eine Häckselgut-Ernteprobe (ca. 2 kg) an die Silomaisproduzenten wurden Fragebögen zu den dazugehörigen agronomischen Angaben mitgeschickt. In den Jahren 2010 bis 2014 wurden insgesamt 169 Silomaisproben untersucht (89 Proben

**Zusammenfassung** Im Rahmen eines fünfjährigen Silomais-Monitorings (2010–2014) in den Kantonen Aargau und Bern hat Agroscope den *Fusarium*-Pilzbefall und die Mykotoxinbelastung von Silomais sowie den Einfluss von Anbaufaktoren wie Vorfrucht, Bodenbearbeitung, Sorte, Saat- und Erntezeitpunkt untersucht. Von 169 Praxis-Ernteproben waren 167 mit einem durchschnittlichen *Fusarium*-Pilzbefall von 57% befallen. Es wurde ein breites Artenspektrum festgestellt. In mehreren Proben wurden zudem Toxin-Gehalte über den Richtwerten für Tierfutter gemessen. Proben aus Silomaisfeldern mit einer reduzierten Bodenbearbeitung wiesen im Vergleich zu Proben aus gepflügten Feldern eine signifikant erhöhte Belastung mit Deoxynivalenol (DON) auf. Proben aus Feldern, die zu einem späteren Zeitpunkt geerntet wurden, hatten zudem einen stärkeren Befall mit *F. graminearum* (FG) sowie höhere DON- und Zearalenon (ZEA)-Gehalte. Vorfrucht, Vorvorfrucht und Maiszünslerbefall zeigten hingegen keinen signifikanten Einfluss auf den *Fusarium*-Befall und die Mykotoxinbelastung. Am deutlichsten beeinflusste das jeweilige Jahr, das heisst die saisonale Witterung, den *Fusarium*-Befall und die Mykotoxinbelastung. Klar zeigte sich, dass mit der Saat von frühreifen Sorten und früher Ernte das Befallsrisiko deutlich gemindert werden kann.

**Tab. 1 | Richtwerte für Mykotoxine in Mais für Allein- und Ergänzungsfuttermittel und die Anzahl Silomais-Proben (%) aus den Erntejahren 2010 bis 2014, welche die Richtwerte bezogen auf das Frischgewicht überschritten (Europäische Kommission 2006).**

Toxin	Tierart/Alter	Richtwert (ppb)	Proben über dem Richtwert (%)					
			2010 (n = 40)	2011 (n = 32)	2012 (n = 33)	2013 (n = 33)	2014 (n = 31)	alle Jahre (n = 169)
DON	Schweine	900	22	18	36	24	48	29
	Kälber (< 4 Monate), Schaf- und Ziegenlämmer	2000	12	9	9	6	19	11
	Milchvieh	5000	0	6	0	0	0	1
ZEA	Ferkel und Jungsauen	100	22	37	69	27	48	40
	Sauen und Mastschweine	250	12	9	48	15	32	23
	Kälber, Milchkühe, Schafe und Ziegen (inkl. Lämmer)	500	2	9	33	12	16	14
FUM	Schweine, Pferde	5000	0	0	3	0	3	1
	Geflügel, Kälber (< 4 Monate), Schaf- und Ziegenlämmer	20000	0	0	0	0	0	0

DON: Deoxynivalenol, ZEA: Zearalenon, FUM: Fumonisin, n: Anzahl Proben. Für Nivalenol gibt es keine Richtwerte.

aus dem Kanton Bern und 80 Proben aus dem Kanton Aargau). Umgehend nach Erhalt der Proben wurden diese während drei Tagen bei 32°C getrocknet. Zur Beurteilung des *Fusarium*-Befalls wurde das Häckselgut einer Probe geteilt und von beiden Teilproben je 50 Körner und 50 Stängelstücke untersucht (200 Partikel pro Probe). Die Behandlung der Proben, die Erhebung des *Fusarium*-Befalls, die Bestimmung der *Fusarium*-Arten und die Messung der Mykotoxinbelastung wurden gemäss Eckard *et al.* (2011) durchgeführt.

Die getrockneten und gemahlten Proben wurden auf folgende Mykotoxin-Gehalte analysiert: Fumonisine (FUM), mit einem Enzym-Assay (ELISA<sup>®</sup>Ridascreen), alle anderen Toxine, Deoxynivalenol (DON), Zearalenon (ZEA) und Nivalenol (NIV), mit Flüssigkeitschromatographiegekoppelter Massenspektrometrie (LC-MS/MS; Eckard *et al.* 2011). Um den Toxingehalt der getrockneten Probe auf das Frischgewicht für die Fütterung von Silomais-Silage beziehen zu können, wurden die Mykotoxin-Werte aus den getrockneten Proben entsprechend dem gemessenen Wassergehalt korrigiert und den Landwirten als Toxin-Konzentration in der Silage mitgeteilt.

### Statistische Analysen

Untersucht wurden Proben aus Parzellen mit den Vorfrüchten Mais, Getreide oder Wiese mit geringem Hagel-schaden. Proben aus Parzellen mit anderen Vorfrüchten wurden zusammengefasst. Die Auswertungen wurden mit Sigma-Stat<sup>®</sup>3.5 durchgeführt. Der Einfluss der verschiedenen Anbaufaktoren auf den Fusarienbefall und die Mykotoxinbelastung wurde jeweils mit einer Ein-Weg-ANOVA analysiert. Folgende Anbaufaktoren wurden berücksichtigt: Vorfrucht (Getreide/Mais, Wiese oder andere), Pflug (ja oder nein), Sortenwahl, Maiszünslerbefall sowie Saat- und Erntedatum. Aufgrund der starken Schwankungen im Wassergehalt der erhaltenen Proben wurden für die statistischen Auswertungen die Toxin-Konzentrationen im Trockengewicht verwendet. Weiterhin wurde die Korrelation zwischen dem Fusarienbefall und dem Toxingehalt mittels einer Spearman-Analyse untersucht.

## Resultate und Diskussion

### Vorkommen von Fusarien und Mykotoxinen

Das fünfjährige Monitoring mit 169 untersuchten Silomais-Proben aus den Kantonen Aargau und Bern zeigte, dass *Fusarium*-Pilze und Mykotoxine – auch ohne sichtbare Symptome auf dem Feld – im Erntegut vorhanden sein können. Mit 13 verschiedenen *Fusarium*-Arten lag ein breites Artenspektrum vor. Überraschend war, dass

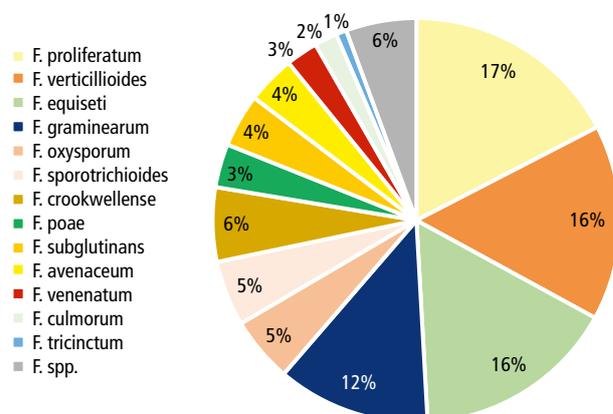


Abb. 1 | Anteil (%) verschiedener *Fusarium*-Arten der befallenen Häckselgut-Partikel aller Silomais-Proben aus den Erntejahren 2010–2014 (n = 169). *F. spp.* bezeichnet nicht identifizierte *Fusarium*-Arten.

in jedem der fünf Untersuchungsjahre andere Arten dominierten. Mit Ausnahme von zwei Proben lagen in allen Proben Fusarien vor. Mykotoxine wurden in allen 169 Proben nachgewiesen: DON in 98%, ZEA in 87%, NIV in 72% und FUM in 92% der Proben. Der durchschnittliche *Fusarium*-Befall aller Silomaisproben war bei *Fusarium proliferatum* 10%, *F. verticillioides* 9%, *F. equiseti* 9%, *F. graminearum* 7%, wobei der Gesamtbefall mit Fusarien 57% betrug (114 einzelne *Fusarium*-Kolonien aus den 200 untersuchten Körner- und Stängelstücken). Über die Jahre gemittelt machten diese vier vorherrschenden Arten gemeinsam 61% aller in den befallenen Häckselgut-Partikeln nachgewiesenen Fusarien aus (Abb. 1).

*Fusarium proliferatum* und *F. verticillioides* können krebserregende FUMs bilden, *F. graminearum* bildet hauptsächlich das immunschwächende Toxin DON sowie das östrogenwirkende ZEA. *Fusarium equiseti* kann unter anderem auch ZEA und NIV bilden. In der Auswertung aller Proben korrelierten die gemessenen Toxin-Belastungen jedoch nicht signifikant ( $p > 0,05$ ) mit dem Befall der entsprechenden toxinbildenden *Fusarium*-Arten. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte sein, dass im Gesundheitstest ausschliesslich Körner- und Stängelstücke untersucht wurden, für die Mykotoxin-Analyse hingegen die gesamte Silage, inklusive Blätter und Spindeln, gemessen wurde. Des Weiteren liegen vermutlich Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen *Fusarium*-Arten vor, die einen entsprechenden Einfluss auf die Toxinbildung haben.

Bei der Trocknung verloren die Proben durchschnittlich 60% an Gewicht (zwischen 31 und 78%). Aufgrund der starken Schwankungen im Wassergehalt wurden für die statistischen Auswertungen die Toxin-Konzentrationen

im Trockengewicht verwendet. Bezogen auf das Frischgewicht enthielten mehrere Proben Toxin-Konzentrationen, die verschiedene Richtwerte überschritten.

### Richtwerte für Mykotoxine häufig überschritten

In den 169 untersuchten Mais-Proben lagen die Mykotoxin-Konzentrationen oftmals über den Richtwerten (Tab. 1). Beim Toxin DON überschritten im Durchschnitt der Jahre 2010–2014 29% der untersuchten Proben den Richtwert für Schweine (900 ppb), und 11% der Proben überschritten den Richtwert für Kälber (2000 ppb). In zwei Proben wurden sogar Belastungen von über 5000 ppb DON (Richtwert: Milchvieh) nachgewiesen. Durchschnittlich 40% der Proben überschritten die ZEA-Richtwerte für Ferkel (100 ppb), 23% den Richtwert für Sauen und Mastschweine (250 ppb) und 14% den Richtwert für Milchvieh (500 ppb), mit grossen Schwankungen zwischen den Jahren. Beim Toxin FUM hingegen lagen die meisten Proben deutlich unter den beiden Richtwerten, nur in je einer Probe aus dem Jahr 2012 und dem Jahr 2014 wurde der Richtwert für Schweine und Pferde (5000 ppb) überschritten. Das Toxin NIV, für das es noch keine Richtwerte gibt, wurde in 70% aller Proben nachgewiesen. NIV tritt im Vergleich zu DON und ZEA meist in geringeren Konzentrationen auf, es ist jedoch um ein Mehrfaches giftiger als DON (Ueno 1983).

Die tatsächliche Gefährdung der Tiere durch die Verfütterung von Silage mit Mykotoxinen ist schwer abzuschätzen, da es im Einzelfall davon abhängt, welchen Anteil ein belasteter Posten an der Gesamtfütterung ausmacht. Durch die Gärung werden *Fusarium*-Pilze zwar weitgehend abgetötet, die chemisch stabilen Mykotoxine bleiben hingegen erhalten (Mansfield und Kuldau 2007). Epidemiologische Studien zeigen, dass Mykotoxine in der Fütterung eine wichtige Rolle spielen (Scudamore und Livesey 1998). Es wird beschrieben, dass eine Konzentration von 10000 ppb ZEA im Futter für Schweine die Wurfgrösse und das Gewicht der Ferkel reduzieren kann. Konzentrationen von 50000 ppb ZEA im Futter führten sogar zu Fehl- oder Totgeburten. Für die toxikologische Wirkung von Mykotoxinen muss zudem bedacht werden, dass ein Zusammenspiel verschiedener Toxine in einem Futtermittel andere (antagonistische, additive oder synergistische) Wirkungen als ein Toxin allein hat (D'mello et al. 1999; Speijers und Speijers 2004).

### Jährliche Schwankungen des Fusarium-Befalls

Für Silomais-Proben aus der Praxis sind die lokalen Wetterbedingungen an den jeweiligen Standorten von Bedeutung, da diese den Einfluss der verschiedenen Anbaufaktoren oftmals beeinflussen und überdecken.

Die jährlichen Schwankungen der vier häufigsten *Fusarium*-Arten und Hauptmykotoxine waren stark ausgeprägt (Abb. 2). In den Proben aus dem Jahr 2011 wurde signifikant mehr *F. graminearum* nachgewiesen als in den Jahren 2010 und 2012 ( $p = 0,016$ ). In den beiden Jahren 2011 und 2014 war der Befall mit *F. equiseti* signifikant höher, als in den Jahren 2010 und 2012 ( $p < 0,001$ ). Im Jahr 2013 wurde der signifikant höchste Befall mit *F. proliferatum* gefunden ( $p < 0,001$ ). Der *F. verticillioides*-Befall war im Jahr 2014 signifikant höher als 2010, 2011 und 2012 ( $p < 0,001$ ). Die Belastung der Proben mit DON war in den Jahren 2012 um 30% und 2014 um 45% höher als im Jahr 2013 ( $p = 0,002$ ). Die ZEA-Gehalte waren im Jahr 2012 signifikant höher als in den Jahren 2010 und 2013 ( $p < 0,001$ ). Die durchschnittliche Belastung mit NIV war im Jahr 2014 signifikant tiefer als in den Jahren 2011, 2012 und 2013 ( $p < 0,001$ ).

Obwohl im Jahr 2010 die vier häufigsten *Fusarium*-Arten (*F. proliferatum*, *F. verticillioides*, *F. equiseti* und *F. graminearum*) praktisch zu gleichen Anteilen auftraten, wurde vor allem das Mykotoxin DON nachgewiesen: In 22%

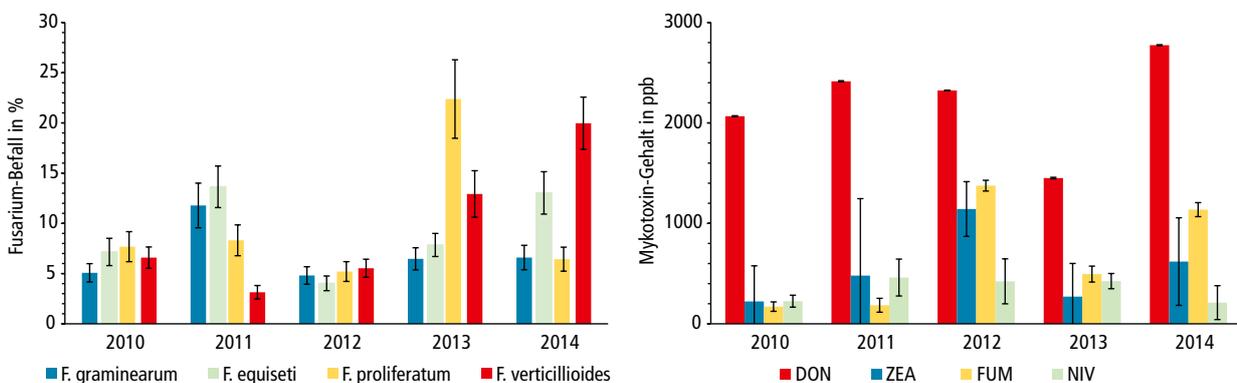
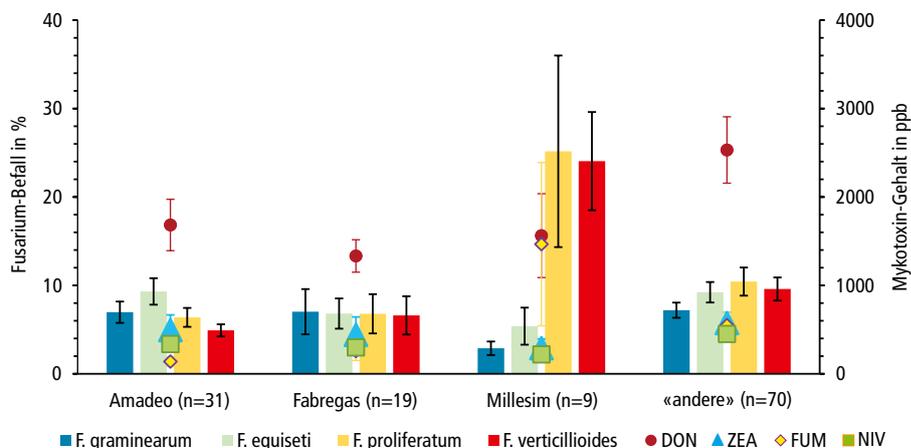


Abb. 2 | Mittlerer Befall der vier häufigsten *Fusarium*-Arten (links) sowie die durchschnittliche Toxin-Belastung (rechts) mit Deoxynivalenol (DON), Zearalenon (ZEA), Fumonisin (FUM) und Nivalenol (NIV) aller Maishäckselproben aus den Erntejahren 2010–2014 (ppb im Trockengewicht). Fehlerbalken bezeichnen die Standardfehler der Mittelwerte.



**Abb. 3 |** Einfluss der Maissorte (Amadeo, Fabregas, Millesim, «andere») auf den *Fusarium*-Befall (%) und die Toxingehalte (ppb im Trockengewicht) von Deoxynivalenol (DON), Zearalenon (ZEA), Fumonisin (FUM) und Nivalenol (NIV) in Maishäckselproben der Jahre 2010–2014 (n = 129). Fehlerbalken bezeichnen die Standardfehler der Mittelwerte.

der Proben wurden im Frischgewicht DON-Werte grösser als 900 ppb gemessen. Im Jahr 2011 waren *F. equiseti* und *F. graminearum* stark vertreten, dennoch dominierte wieder DON: Zwar lagen nur 18% der Proben über dem DON-Richtwert von 900 ppb, jedoch wurden in zwei Proben über 5000 ppb DON gemessen.

Im Jahr 2012 war der *Fusarium*-Befall im Vergleich zu den anderen Jahren eher tief. Dennoch waren die ZEA-Belastungen aussergewöhnlich hoch und 69% der Proben überschritten den Richtwert für Ferkel und Jungsau von 100 ppb. Eine Ursache dafür könnte das nasse Wetter in den Monaten Mai und Juni 2012, mit 13% mehr Niederschlag als sonst üblich, gewesen sein. Eine Probe überschritt den FUM-Richtwert von 5000 ppb (Schweine, Pferde).

Im trockenen und warmen Sommer 2013 – in den Monaten Juni bis August war es durchschnittlich um 2°C wärmer – wurden deutlich mehr *F. proliferatum* und *F. verticillioides* beobachtet. Diese Resultate bestätigen Ergebnisse einer Körnermais-Studie von Dorn *et al.* (2011), bei der diese beiden *Fusarium*-Arten bei höheren Temperaturen ebenfalls vermehrt auftraten. Dennoch lagen keine erhöhten FUM-Werte vor und die DON- und ZEA-Belastungen waren tiefer als in anderen Jahren (Abb. 2): 24% der Proben überschritten den DON-Richtwert (900 ppb) und 27% den von ZEA (100 ppb).

Die hohe Mykotoxinbelastung im Jahr 2014 ist vermutlich durch das feuchte Wetter im Sommer zu erklären. Vor allem im Juli gab es im Kanton Aargau mit 40% und in Bern mit 54% deutlich mehr Niederschläge als im Vergleich zu durchschnittlichen Juli-Werten (1981–2010).

Bezogen auf das Frischgewicht überschritten mit 48% fast die Hälfte aller Proben die DON- und ZEA-Richtwerte. Der darauf folgende trockene September 2014, mit 83% weniger Niederschlag im Kanton Bern als im Durchschnitt, könnte eine Ursache für das hohe Auftreten von *F. verticillioides* sein.

#### Unterschiede zwischen den Maissorten

Die angebaute Silomaisorte hatte lediglich vereinzelt einen Einfluss auf den *Fusarium*-Befall und den Toxingehalt. Verglichen wurden die Sorten Amadeo (n = 31), Fabregas (n = 19), Millesim (n = 9) und zusammengefasst «andere» mit jeweils tieferen Probenzahlen (gesamthaft n = 70; Sorten Anjou 290, Aurelia, Benicia, Coxximo, Delitop, Gavott, Gottardo, Grosso, Jessy, Laurinio, LG 2253, LG 2280, LG 30.218, LG 30.222, LG 32.12, LG 32.20, Marcello, Messago, NK Cooler, P 8000, PR 38Y34, PR 38A24, PR 39F58, Ricardinio, Ronaldinio).

Bezogen auf die Toxingehalte im Trockengewicht wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt (Abb. 3). Bei der Sorte Millesim war der Befall mit *F. proliferatum* tendenziell ( $p > 0,05$ ) und bei *F. verticillioides* signifikant ( $p < 0,001$ ) höher als in den anderen Sorten und es wurden tendenziell, aber mit hoher Streuung, auch höhere FUM-Gehalte gemessen. Die Sorte Millesim wurde vor allem in den Jahren 2013 und 2014 mit für *F. proliferatum* und *F. verticillioides* günstigen Wetterbedingungen angebaut (n = 8).

Die Anzahl Proben der Sorte «andere» war während der fünf Jahre ausgeglichen, beinhaltet aber zwei «Ausreisser»-Proben mit DON-Werten über 10000 ppb,

was in dieser Gruppe im Vergleich zu den übrigen Sorten zu einem tendenziell höheren Mittelwert führte. Der gesamte Datensatz umfasste ein grosses Sortenspektrum. In 40 eingesandten Proben waren sogar verschiedene Sorten in einer einzelnen Probe enthalten (Daten nicht gezeigt). Dadurch war die Probenanzahl mit einer einzelnen Sorte sehr klein. Weiterhin waren einzelne Sorten nicht während der gesamten Dauer des Monitorings vertreten. Dieser Umstand zusammen mit dem Jahreseffekt erschwert es, signifikante Einflüsse der Sorten auf *Fusarium*-Befall und Mykotoxinbelastung zu finden.

#### Einfluss der Bodenbearbeitung und der Vorfrucht

Silomais-Proben aus Feldern mit reduzierter Bodenbearbeitung ( $n = 84$ ) im Vergleich zu Proben aus gepflügten Feldern ( $n = 85$ ) führten zu einer 48% höheren DON-Belastung ( $p = 0,002$ ; Abb. 4). Dieses Ergebnis weist Parallelen zu diversen Untersuchungen in Getreide auf, bei denen der pfluglose Anbau ebenso zu höheren DON-Gehalten führte (Dill-Macky und Jones 2000; Schöneberg *et al.* 2016). Silomais-Proben aus reduzierter Bodenbearbeitung zeigten hingegen nur tendenziell höhere ZEA-, NIV- und FUM-Gehalte ( $p > 0,05$ ).

Im Gegensatz zum DON-Gehalt scheint das Auftreten von *F. graminearum* in Silomais nicht durch die Bodenbearbeitung beeinflusst zu werden (Abb. 4). Aufgrund der kleinen Probenzahlen ist aber eine Interpretation dieses Ergebnisses kaum möglich.

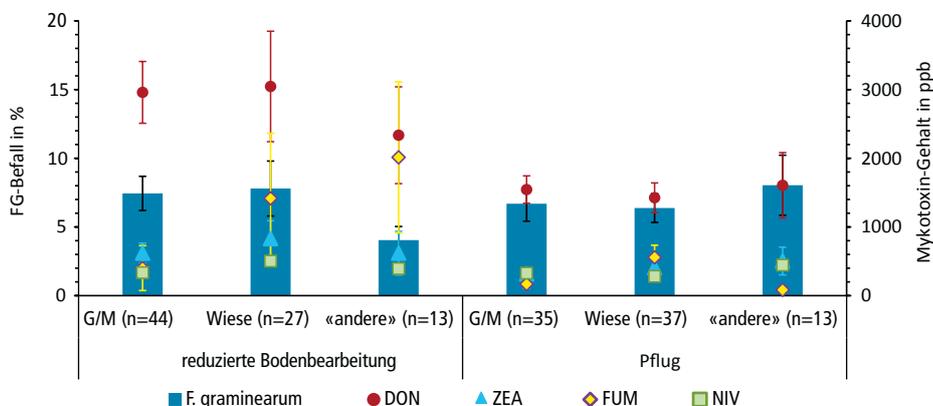
Weder die Vorfrucht noch die Kombination aus Vorfrucht und Bodenbearbeitung hatten einen signifikanten Einfluss auf den *Fusarium*-Befall und die Mykotoxinbelastung ( $p > 0,05$ ; Abb. 4).

#### Einfluss von Saat- und Erntezeitpunkt

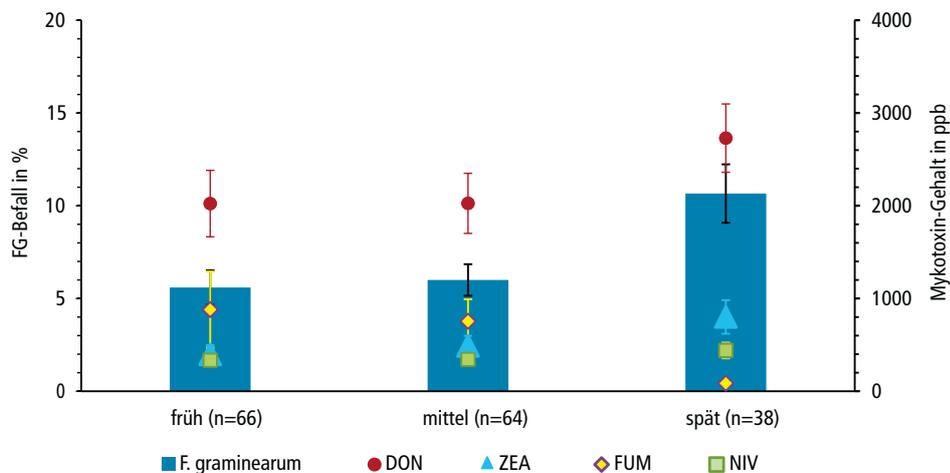
Bezüglich Saat- und Erntezeitpunkt waren unterschiedliche Einflüsse auf den *Fusarium*-Befall und die Mykotoxinbelastung sichtbar. Die Saattermine variierten zwischen früherer Saat (Kalenderwoche [KW] 14) bis späterer Saat (KW 25). Ein früherer Saattermin (KW 14–18;  $n = 71$ ) führte im Vergleich zu einem späteren Saattermin (KW 19–25;  $n = 90$ ) zu einem tendenziell höheren *F. graminearum*-Befall und zu einer signifikant erhöhten Belastung mit DON (+33%;  $p = 0,042$ ) und ZEA (+41%;  $p < 0,001$ ; Daten nicht gezeigt).

Die Erntezeiten variierten zwischen früherer Ernte (KW 36–39), mittlerer Ernte (KW 40–41) und späterer Ernte (KW 42–45). Ein späterer Erntezeitpunkt führte zu einem signifikant höheren *F. graminearum*-Befall (+47%;  $p < 0,001$ ) und tendenziell ( $p > 0,05$ ) erhöhten Belastungen mit DON (+26%) und ZEA (+51%; Abb. 5). Bei den Proben mit einem späten Erntezeitpunkt überschritten 52% den DON-Richtwert für Schweine (900 ppb) und 36% den ZEA-Richtwert für Schweine (250 ppb). Bei Proben mit einem frühen Erntezeitpunkt lagen lediglich 19% der Proben über dem DON- bzw. 18% über dem ZEA-Richtwert. Dies könnte damit erklärt werden, dass der Pilz zwischen Infektion und Ernte mehr Zeit hatte, Toxine zu bilden.

Der Befall durch Maiszünsler hatte in der Regel keinen signifikanten Einfluss auf den *Fusarium*-Befall oder die Belastung mit Mykotoxinen, führte aber zu einem signifikant höheren *F. proliferatum*-Befall in Proben aus Feldern mit Maiszünslerschäden ( $n = 88$ ;  $p < 0,023$ ), was durch zusätzliche Eintrittspforten für den Pilz erklärt werden könnte. Zwischen den Silomais-Proben aus den



**Abb. 4** | Einfluss der Vorfrucht und Bodenbearbeitung auf den *Fusarium graminearum* (FG)-Befall (%) und die Belastung (ppb) mit Deoxynivalenol (DON), Zearalenon (ZEA), Fumonisin (FUM) und Nivalenol (NIV) im Trockengewicht von Silomais-Häckselgut aus den Erntejahren 2010–2014 ( $n = 169$ ). G/M = Getreide- oder Mais-Vorfrucht; Wiese = Kunst- oder Dauerwiese; «andere» = Raps, Erbsen, Kartoffeln, Zuckerrüben oder Chicorée. Fehlerbalken bezeichnen die Standardfehler der Mittelwerte.



**Abb. 5 |** Einfluss des Erntezeitpunktes (früh = Kalenderwoche [KW] 36–39, mittel = KW 40–41, spät = KW 42–45) auf den *Fusarium graminearum* (FG)-Befall (%) und die Belastung (ppb) mit Deoxynivalenol (DON), Zearalenon (ZEA), Fumonisin (FUM) und Nivalenol (NIV) im Trockengewicht von Silomais-Häckselgut in den Erntejahren 2010–2014 (n = 169). Fehlerbalken bezeichnen die Standardfehler der Mittelwerte.

Kantonen Aargau und Bern wurden weder beim *Fusarium*-Befall noch bei den Toxin-Belastungen Unterschiede beobachtet.

## Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse dieses Silomais-Monitorings zeigen, dass *Fusarium*-Mykotoxine auch in Proben vorhanden sein können, bei welchen im Feld keine Symptome sichtbar waren. Beinahe ein Drittel der Proben überschritten den DON-Richtwert für die Verfütterung an Schweine (900 ppb) und 40% denjenigen für ZEA (250 ppb).

Da *Fusarium*-Befall und Mykotoxinbelastungen stark vom Wetter abhängig sind, wären mehrjährige Versuche mit definierten Anbaubedingungen bezüglich Sorte, Vorfrucht und Bodenbearbeitung sowie beigezogenen Wetterbeobachtungen nötig, um Empfehlungen bezüglich dieser Anbaufaktoren zu erarbeiten.

Um die Ressource Boden nachhaltig zu nutzen, sind bodenschonende, pfluglose Anbausysteme empfehlenswert. Durch eine reduzierte Einarbeitung von Ernterückständen kann sich jedoch das Risiko eines *Fusarium*-Befalls mit nachfolgender Mykotoxinbelastung erhöhen. Es besteht somit auch im Silomais das Dilemma zwischen Bodenschutz und dem Risiko von toxinbelastetem Erntegut.

Obwohl die Vorfrucht den Befall durch Fusarien bei Getreide nachweislich beeinflusst (Vogelsgang *et al.* 2009; Schöneberg *et al.* 2016), ergab die Auswertung dieses Silomais-Monitorings keine statistisch signifikanten Zusammenhänge zwischen der Vorfrucht und der Belastung mit Mykotoxinen. Dies ist vermutlich auf die kleine Probenzahl und das deutlich höhere *Fusarium*-Artenpektrum in Mais zurückzuführen.

Eine Empfehlung für den Anbau von Maissorten, die weniger *Fusarium*-anfällig sind, ist im Rahmen eines Praxis-Monitorings kaum möglich, da bei Mais die einzelnen Sorten oft nur ein bis zwei Jahre auf der empfehlenden Sortenliste aufgeführt sind. Basierend auf unseren Ergebnissen empfiehlt Agroscope der Praxis jedoch den Anbau von frühen Sorten und eine frühe Ernte als risikomindernde Massnahme. ■

### Dank

Wir bedanken uns für die finanzielle Unterstützung dieser Studie durch die kantonalen Pflanzenschutzdienste Bern (Förderprogramm Boden) und Aargau. Zudem möchten wir uns für die ausgezeichnete Zusammenarbeit mit den Vertretern des Kantons Bern (Michel Gygax, Sandra Ott, Florian Burkhalter) und dem landwirtschaftlichen Zentrum Liebegg des Kantons Aargau bedanken. Unser Dank gilt auch den engagierten Landwirten, die unsere Arbeit mit der Bereitstellung der Proben und ausgefüllten Fragebögen ermöglichten, und den PraktikantInnen Alejandro Sevil, Sandra Racine, Paride Missio und dem Auszubildenden James Canales für die ausgezeichnete technische Unterstützung.

**Riassunto****Fusarium e micotossine nel mais da silo: risultati di cinque anni di monitoraggio**

Nell'ambito di un monitoraggio quinquennale del mais da silo (2010–2014) condotto nei cantoni Argovia e Berna, Agroscope ha studiato l'infezione da funghi del genere *Fusarium* e il tenore di micotossine nel mais da silo e ha analizzato come i fattori legati alla coltivazione (la coltura precedente, lo sfruttamento del suolo, la varietà e il momento della semina e della raccolta) influiscono sull'infezione. Su 169 campioni di raccolto provenienti dalle aziende agricole, 167 erano colpiti da fusariosi, con una percentuale di infezione media del 57%; del fungo tossigeno è stata riscontrata un'ampia gamma di varietà. In diversi campioni è stato misurato un tenore di tossine superiore ai valori massimi ammessi per gli alimenti per animali. Nei campioni provenienti da campi di mais da silo con ridotta lavorazione del terreno è stato misurato un tenore di deossinivalenolo (DON) significativamente superiore rispetto a quello riscontrato nei campioni provenienti da campi arati. Nei campioni prelevati da campi in cui la raccolta è stata effettuata tardivamente sono stati inoltre rilevati un'infezione di *Fusarium graminearum* (FG) più grave e tenori di DON e zearalenone (ZEA) più elevati. I precedenti colturali e l'infezione di piralide del mais non hanno invece avuto ripercussioni significative sulla fusariosi e sul tenore di micotossine. Il fattore più influente sono le condizioni meteorologiche. Il monitoraggio ha mostrato chiaramente che è possibile ridurre sensibilmente il rischio di infezione con la semina di varietà a raccolta precoce e la raccolta precoce.

**Literatur**

- D'Mello J.P.F., Placinta C.M. & Macdonald A.M.C., 1999. *Fusarium* mycotoxins: a review of global implications for animal health, welfare and productivity. *Animal Feed Science and Technology* **80** (3–4), 183–205.
- Dill-Macky R. & Jones R.K., 2000. The effect of previous crop residues and tillage on *Fusarium* head blight of wheat. *Plant Disease* **84** (1), 71–76.
- Dorn B., Forrer H.R., Schürch S. & Vogelgsang S., 2009. *Fusarium* species complex on maize in Switzerland: occurrence, prevalence, impact and mycotoxins in commercial hybrids under natural infection. *European Journal of Plant Pathology* **125** (1), 51–61.
- Dorn B., Forrer H.R., Jenny E., Wettstein F.E., Bucheli T.D. & Vogelgsang S., 2011. *Fusarium* species complex and mycotoxins in grain maize from a multiyear maize hybrid trial and from grower's fields. *Journal of Applied Microbiology* **111** (3), 693–706.
- Europäische Kommission, 2006. Empfehlung der Kommission vom 17. August 2006 betreffend das Vorhandensein von Deoxynivalenol, Zearalenon, Ochratoxin A, T-2- und HT-2-Toxin sowie von Fumonisin in zur Verfütterung an Tiere bestimmten Erzeugnissen. Zugang: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32006H0576> [27.1.2017].

**Summary****Fusarium Species and Mycotoxins in Silage Maize – Results of a Five-Year Monitoring Programme**

Within the context of a five-year silage maize monitoring programme (2010–2014) in the cantons of Aargau and Bern, Agroscope investigated *Fusarium* attack and mycotoxin contamination of silage maize, as well as the influence of cropping factors including variety, previous crop, tillage, and sowing and harvest dates. Out of 169 harvest samples, 167 showed a mean *Fusarium* fungus attack of 57%. A wide variety of *Fusarium* species were observed; in addition, a number of samples contained mycotoxin levels exceeding the guidance values for feed. Samples from silage maize fields with reduced tillage showed a significantly higher contamination with Deoxynivalenol (DON) than samples from ploughed fields. Samples from fields with a later harvest date were more heavily infected with *F. graminearum*, and higher DON and zearalenone levels were observed. By contrast, previous crop, pre-previous crop and corn borer infestation did not have a significant influence on *Fusarium* infection and mycotoxin concentration, whilst the prevailing weather conditions had the strongest effect on *Fusarium* infection. This study clearly demonstrated that the sowing of early silage maize varieties and early harvesting significantly reduces the risk of *Fusarium* and mycotoxin attack.

**Key words:** fehlen...

- Eckard S., Wettstein F.E., Forrer H.R. & Vogelgsang S., 2011. Incidence of *Fusarium* species and mycotoxins in silage maize. *Toxins* **3** (8), 949–967.
- Mansfield M.A. & Kuldau G.A., 2007. Microbiological and molecular determination of mycobiota in fresh and ensiled maize silage. *Mycologia* **99** (2), 269–278.
- Schöneberg T., Martin C., Wettstein F.E., Bucheli T.D., Mascher F., Bertossa M., Musa T., Keller B. & Vogelgsang S., 2016. *Fusarium* and mycotoxin spectra in Swiss barley are affected by various cropping techniques. *Food Additives & Contaminants: Part A* **33** (10), 1608–1619.
- Scudamore K.A. & Livesey C.T., 1998. Occurrence and significance of mycotoxins in forage crops and silage: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **77** (1), 1–17.
- Speijers G.J.A. & Speijers M.H.M., 2004. Combined toxic effects of mycotoxins. *Toxicology Letters* **153** (1), 91–98.
- Ueno Y., 1983. Trichothecenes – Chemical, Biological and Toxicological Aspects. Kodansha/Elsevier, Tokyo/Amsterdam. 313 S.
- Vogelgsang S., Jenny E., Hecker A., Bänziger I. & Forrer H.R., 2009. Fusarien und Mykotoxine bei Weizen aus Praxis-Ernteproben. *Agrarforschung* **16** (7), 238–242.