

Pflanzen

Fusarien und Mykotoxine bei Weizen aus Praxis-Ernteproben

Susanne Vogelgsang, Eveline Jenny, Andreas Hecker, Irene Bänziger und Hans-Rudolf Forrer, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, CH-8046 Zürich
Auskünfte: Susanne Vogelgsang, E-Mail: susanne.vogelgsang@art.admin.ch, Tel. +41 44 377 71 11

Zusammenfassung

In einer zweijährigen Untersuchung wurden Ernteproben von Praxis-Weizenfeldern der Schweiz auf den Befall durch verschiedene *Fusarium*-Arten untersucht und die Anbaudaten mit erfasst. In drei Viertel der Proben wurde zusätzlich das Mykotoxin Deoxynivalenol (DON) gemessen. In den 248 Proben aus 16 Kantonen waren drei *Fusarium*-Arten dominant: *F. graminearum*, gefolgt von *F. poae* und *F. avenaceum*. Der durchschnittliche DON-Gehalt, gebildet vor allem durch *F. graminearum*, betrug 1,0 ppm und lag damit nur knapp unter dem Grenzwert für unverarbeitetes Getreide (1,25 ppm). Nach Maisvorfrucht mit pfluglosem Anbau betrug der mittlere DON-Gehalt jedoch 3,2 ppm. Die Befallshäufigkeit und die damit einhergehende DON-Belastung wichen zwischen den beiden Jahren voneinander ab, was mit den jeweils vorherrschenden Witterungsbedingungen während und nach der Weizenblüte erklärt werden kann. Der Befall mit *F. poae* und *F. avenaceum* deutet zudem darauf hin, dass manche Weizenposten mit den Toxinen Nivalenol oder Moniliformin belastet sein könnten, welche durch diese beiden *Fusarium*-Arten gebildet werden. Durch eine langfristige Erfassung der Anbaudaten möchten wir für die auf Weizen wichtigsten *Fusarium*-Arten die befallsbeeinflussenden Faktoren identifizieren, um Massnahmen zu entwickeln, die das Risiko für Mykotoxinbelastungen verringern.

Fusarium-Pilze infizieren Getreide und führen weltweit zu grossen Ertragsverlusten. Zudem werden die Pflanzen mit Pilzgiften, so genannten Mykotoxinen, belastet und das Erntegut ist somit häufig als Nahrungs- oder Futtermittel unbrauchbar. Der wirtschaftliche Schaden, der in den USA zwischen 1998 und 2000 durch Ährenfusariosen bei Weizen und Gerste verursacht wurde, betrug Schätzungen zufolge 2,7 Mrd. US\$ (Nganje *et al.* 2004). Entsprechende Berechnungen sind im europäischen Raum nicht vorhanden. Die zahlreichen europäischen Forschungsprojekte, in denen Fusarien und Mykotoxine bei Getreide untersucht werden, unterstreichen jedoch die aussergewöhnliche Bedeutung dieser Pflanzenkrankheit.

Ährenfusariosen werden meistens durch mehrere *Fusarium*-



Abb. 1a-c. Symptome von *Fusarium graminearum* (a), *Fusarium poae* (b) und *Fusarium avenaceum* (c) auf Weizenähren. (Fotos: A. Hecker, Agroscope ART)

Tab. 1. Häufig gebildete *Fusarium*-Toxine (Trichothecene, Zearalenon und Moniliformin), deren akute Giftigkeit sowie die in der Schweiz auf Getreide dominierenden *Fusarium*-Arten, welche diese Toxine bilden. ^a

Toxin	LD50 mg/kg LG i.p. ^b	<i>Fusarium</i> -Art
DON	70 ^c	<i>F. graminearum</i> , <i>F. culmorum</i>
NIV	4,1 ^c	<i>F. poae</i> , <i>F. crookwellense</i>
T-2	5,2 ^c	<i>F. poae</i>
HT-2	9,2 ^c	<i>F. poae</i>
ZON	> 500 ^d	<i>F. graminearum</i> , <i>F. crookwellense</i>
MON	4,0 ^c	<i>F. avenaceum</i>

^a Trichothecene: DON: Deoxynivalenol, NIV: Nivalenol, T-2, HT-2;

ZON: Zearalenon; MON: Moniliformin

^b LD50 = tödliche Dosis für 50 % der Versuchstiere (Maus), in mg pro kg Lebendgewicht;

i.p. = intraperitoneal: in die Bauchhöhle gespritzt

^c Ueno 1983

^d Reiss 1986

Arten hervorgerufen. In Europa dominieren folgende Arten (Nicholson *et al.* 2003):

- *F. graminearum* Schwabe mit der Hauptfruchtform (HF) *Gibberella zeae* (Schwein) Petch,
- *F. culmorum* (WG Smith) Saccardo (keine HF bekannt),
- *F. avenaceum* (Fries) Saccardo (*G. avenaceae* RJ Cooke),
- *F. poae* (Peck) Wollenweber (keine HF bekannt) und
- *F. crookwellense* Burgess, Nelson & Tousson (keine HF bekannt, Synonym *F. cerealis*).

Microdochium nivale (*Monographella nivalis* var. *nivalis*) und *M. majus* (*Monographella*), früher als *F. nivale* bezeichnet, wurden ebenfalls als Erreger von Ährenfusariosen beschrieben, bilden aber keine Toxine. Die Artenzusammensetzung ist stark jahresabhängig und unterscheidet sich deutlich in verschiedenen geografischen Regionen, da klimatische Be-

dingungen die Infektionsmöglichkeiten und den Wettbewerb zwischen den Arten beeinflussen (Doohan *et al.* 2003).

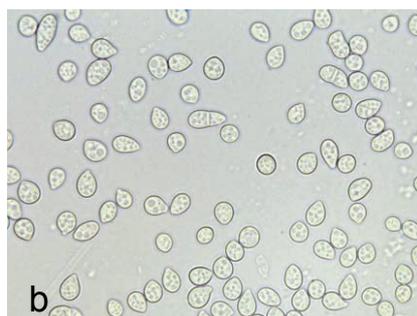
Das Schadbild bei Weizen und Gerste reicht von partieller oder vollständiger Taubährigkeit, hervorgerufen vor allem durch *F. graminearum*, *F. culmorum* oder *F. crookwellense*, bis zu abgegrenzten, oft kleinen Nekrosen auf den Spelzen beziehungsweise Ausbleichen einzelner Ährchen, häufig verursacht durch *F. poae* beziehungsweise *F. avenaceum* (Abb. 1a-c). Bei starkem Befall durch bestimmte *Fusarium*-Arten entstehen sogenannte Kümmerkörner, da der Pilz in die Ährenspindel eindringt und dabei die Nährstoffversorgung zur Kornanlage unterbindet.

Die häufigsten Mykotoxine der bei Getreide vorkommenden *Fusarium*-Arten sind Trichothecene und Zearalenone. Wei-

tere bedeutende Mykotoxine sind Fumonisine, Enniatine und Moniliformin. Die Trichothecene Deoxynivalenol (DON), Nivalenol (NIV), HT-2 und T-2 schwächen das Immunsystem, führen zu Erbrechen oder zu ausgeprägten Hautschädigungen. Zearalenone sind weniger akut toxisch, wirken aber östrogen (Peraica *et al.* 1999) und führen beispielsweise bei Schweinen zu Fruchtbarkeitsproblemen. Moniliformin ist stark muskelschädigend und führte bei Versuchstieren zu tödlichen Herzmuskel-Störungen (Nagaraj *et al.* 1996). In Tabelle 1 ist für einzelne *Fusarium*-Arten die akute Giftigkeit der von ihnen produzierten Toxine aufgeführt.

In einer dreijährigen Untersuchung der Gruppe Ökologischer Pflanzenschutz von Agroscope ART in Zusammenarbeit mit der Fachstelle für Pflanzenschutz des Kantons Aargau wurde der

Abb. 2a-c. Konidiosporen verschiedener *Fusarium*-Arten. (a) Makrokonidien von *Fusarium graminearum*, (b) Mikrokonidien von *Fusarium poae* und (c) Makrokonidien von *Fusarium avenaceum*. (Fotos: A. Hecker, Agroscope ART)



Einfluss von Vorfrucht und Bodenbearbeitung auf den Befall von Weizen mit *Fusarien* und die Mykotoxinbelastung untersucht (Forrer *et al.* 2007). Anhand der erzielten Resultate konnten für *F. graminearum* und das Mykotoxin DON massgebende Anbaufaktoren eruiert werden, welche die Grundlagen zur Entwicklung des Internet-basierten Prognose- und Informationssystems Fusa Prog (www.fusaprog.ch) lieferten. Dabei konnte zudem gezeigt werden, dass im Kanton Aargau neben *F. graminearum* zwei weitere *Fusarium*-Arten von Bedeutung sind: *F. poae* und *F. avenaceum*. Eine systematische schweizweite Untersuchung über *Fusarium*-Arten und Mykotoxine bei Getreide ist bisher nicht durchgeführt worden. In der vorliegenden Studie wurden Weizenproben aus Praxisfeldern der gesamten Schweiz auf den *Fusarium*-Befall, das *Fusarium*-Artenspektrum und den Mykotoxingehalt geprüft. Mit einer eingehenden Analyse der Anbautechnik der beprobten Flächen wurde damit begonnen, die Faktoren für Befall und Toxinproduktion unter mitteleuropäischen Bedingungen zu erarbeiten.

248 Weizenproben aus 16 Kantonen

Über zwei Jahre hinweg wurden Brot- und Futterweizenproben aus folgenden Kantonen untersucht: Aargau, Bern, Freiburg, Genf, Graubünden, Jura, Luzern, Neuenburg, Schaffhausen, Solothurn, St. Gallen, Tessin, Thurgau, Waadt, Zug und Zürich. Nach einer schriftlichen Umfrage wurden in den Jahren 2007 und 2008 jeweils 119 beziehungsweise 129 Proben an Agroscope ART geschickt. Mithilfe von beigelegten Fragebögen wurden folgende Anbaumassnahmen erfragt: Weizensorte, Vorfrucht, Vor-Vorfrucht, Be-

handlung der Ernterückstände und Bodenbearbeitung, Fungizideinsatz sowie die Art des Anbausystems: biologisch, integrierte Produktion (IP), ökologischer Leistungsnachweis (ÖLN), Extensio oder konventionell. Mit einem Gesundheitstest (Vogelgsang *et al.* 2008b) wurden für jede Probe anhand der Wuchsform und der Sporen die beteiligten *Fusarium*-Arten und deren Anteil am Befall ermittelt. Beispiele hierzu sind in den Abbildungen 2a-c ersichtlich. Zusätzlich wurde auch der Erreger des Schneeschimmels, *Microdochium nivale*, mit erfasst. Gemahlene Körnerproben wurden mit einem ELISA-kit (Ridascreen® DON, R-Biopharm AG, Darmstadt, Deutschland) auf den DON-Gehalt untersucht. Im Jahr 2007 wurden 57 von 119 Proben untersucht. Für die restlichen Proben wurde anhand einer Regressionsgleichung der zu erwartende DON-Wert basierend auf dem Befall mit *F. graminearum* (FG) bei Schnittpunkt 0 berechnet: $\text{DON (ppm)} = 0,15 \times \text{FG (\%)}.$ Das Bestimmtheitsmass R^2 lag bei 0,68. Im Jahr 2008 wurden sämtliche 129 Proben auf den DON-Gehalt getestet.

Auf Weizen dominieren drei *Fusarium*-Arten

Bezogen auf die Summe aller *Fusarium*-Arten wiesen 2007 im Durchschnitt 7,4 % der Weizenkörner Befall auf. Die vorherrschende Art war *F. graminearum* mit 4,9 %, was als mittlerer Befall eingestuft werden kann, gefolgt von *F. poae* mit 1,2 % und von *F. avenaceum* mit 0,5 % (Abb. 3). Konstant auftretend, aber weniger häufig waren die Arten *F. culmorum* und *F. crookwellense* mit Anteilen von weniger als 0,5 %. Der durchschnittliche Befall durch *M. nivale* war mit 15,6 % sehr hoch. Im Jahr 2008 lag der mittlere Fusari-

enbefall bei 13,3 % mit einem deutlich höheren Befall durch *F. graminearum* von 8,7 % (Abb. 3). Dieser Anstieg war im Vergleich zum Vorjahr signifikant ($p = 0,011$). Der Anteil der Arten am *Fusarium*-Befall war ähnlich, ausser dass *F. avenaceum* in diesem Jahr signifikant ($p < 0,001$) stärker (1,9 %) vertreten war als *F. poae* (1,5 %). *Microdochium nivale* zeigte auch im 2008 einen starken Befall mit durchschnittlich 17,2 %. Dieses Ergebnis bestätigt Beobachtungen aus unseren Untersuchungen von biologisch produziertem Saatgut, bei denen in den letzten Jahren *M. nivale* wieder an Bedeutung gewonnen hat (Vogelgsang *et al.* 2009).

Beziehung zwischen *F. graminearum* und DON

Im Jahr 2007 lag der durchschnittliche DON-Gehalt für die gemessenen und die aus der Regressionsgleichung berechneten Proben bei 0,9 ppm. Die Diskrepanz zwischen dem eher mittleren *F. graminearum*-Befall (4,9 %) und dem erhöhten DON-Gehalt kann damit erklärt werden, dass die Witterungsbedingungen zwischen Blüte und Ernte niederschlagsreich und warm und daher für den Pilz beziehungsweise dessen Mykotoxinproduktion eher günstig waren. Im Jahr 2008 mit einem deutlich höheren *F. graminearum*-Befall (8,7 %) betrug der durchschnittliche DON-Gehalt 1,2 ppm (alle Proben gemessen). Im Vergleich zum Vorjahr waren im Jahr 2008 die Witterungsbedingungen nach der Blüte auch weniger günstig, was zu der nur wenig erhöhten Toxinbildung geführt haben kann.

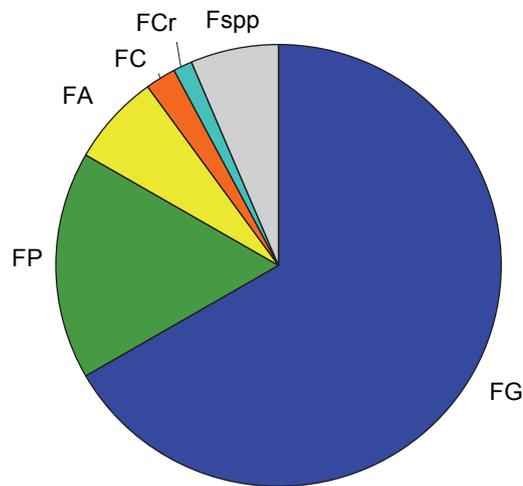
Die Beziehung zwischen *F. graminearum* und DON war mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,84 (nach Spearman) sehr eng. Dies ist bemerkenswert, da die Proben von unterschied-

lichsten Standorten stammten und zudem eine grosse Anzahl verschiedener Brot- und Futterweizensorten mit entsprechend abweichenden Anfälligkeiten vorlag. Eine Regressionsberechnung für beide Jahre mit Schnittpunkt 0 ergab folgende Gleichung: $\text{DON (ppm)} = 0,14 \times \text{FG (\%)} + 1,25$ bei $R^2 = 0,71$. Das bedeutet, dass für das Erreichen des DON-Grenzwerts von 1,25 ppm im Schnitt ein Körnerbefall von 9 % *F. graminearum* genügt. Zu beachten ist, dass die Weizenproben ohne zusätzliche Vorreinigung analysiert wurden. Da starker *F. graminearum*-Befall zur Ausbildung von so genannten Kümmerkörnern führt, wären die DON-Werte nach einer praxisüblichen Reinigung und damit Eliminierung der Kümmerkörner möglicherweise tiefer als in unserer Untersuchung.

Anbaumassnahmen sind entscheidend für Befall

Die Ergebnisse der früheren Erhebungen aus dem Kanton Aargau bezüglich des Einflusses anbautechnischer Massnahmen auf den Befall mit *F. graminearum* (Forrer *et al.* 2007) wurden in der vorliegenden Untersuchung bestätigt. Im Mittel beider Jahre führte die Kombination Maisvorfrucht (Körner- und Silomais) mit Mulchsaat (n = 85) oder Direktsaat (n = 23) im Vergleich zu anderen Vorfrüchten mit oder ohne Pflug (n = 140) zu signifikant ($p < 0,001$) höherem *F. graminearum*-Befall (20,5 %). Die entsprechende mittlere DON-Belastung war mit 3,2 ppm sehr hoch (Abb. 4) und 57 % der Proben lagen über dem Grenzwert für unverarbeitetes Getreide (1,25 ppm). Der Unterschied in der DON-Belastung zwischen Mulchsaat und Pflug bei anderen Vorfrüchten sowie zwischen Maisvorfrucht mit Pflug und anderen Vorfrüchten war statistisch nicht gesichert.

2007



2008

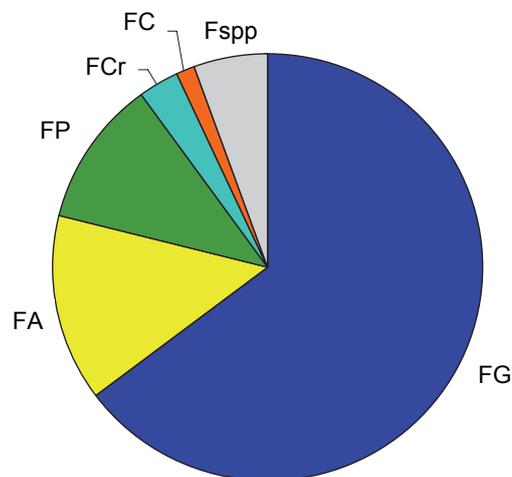


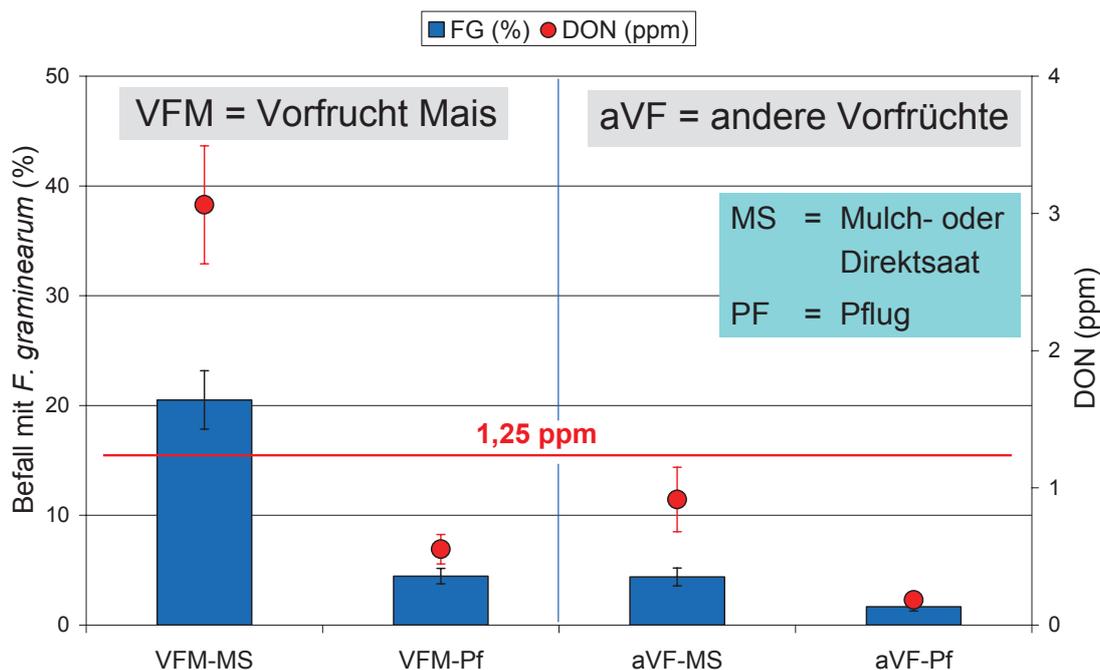
Abb. 3. Anteil verschiedener *Fusarium*-Arten von Weizen-ernteproben in den Jahren 2007 und 2008. FG = *F. graminearum*, FP = *F. poae*, FA = *F. avenaceum*, FC = *F. culmorum*, FCr = *F. crookwellense*, F spp = nicht bestimmte *Fusarium*-Arten.

Eine detailliertere Aufteilung der Anbaumassnahmen, wie beispielsweise in verschiedene andere Vorfrüchte, sollte weitere Aufschlüsse über befallsreduzierende Faktoren geben. Im Falle von Mais als Vorfrucht ist auch ein gewisser Einfluss der gewählten Sorte vorstellbar. In Mais-Sortenversuchen von ART

wurden während zwei Jahren an vier Standorten Körner und Stängel untersucht. Zwar wurden Sorteneffekte gefunden, aber der Sorteneffekt auf Befallshäufigkeit und Mykotoxinbelastung war nicht immer konstant (Dorn *et al.* 2009). *Fusarium poae* und *F. avenaceum* waren nach *F. gramine-*

Abb. 4. Einfluss der Vorfrucht und der Bodenbearbeitung auf den Befall mit *F. graminearum* (Säulen) und die Belastung mit dem Mykotoxin Deoxynivalenol (DON, Kreise).

Mittelwerte aus den Erntejahren 2007 und 2008 mit Standardfehler als Mass der Variabilität; n = 248. VFM = Vorfrucht Mais; aVF = andere Vorfrüchte; MS = Mulchsaat oder Direktsaat; Pf = Pflug. Die rote horizontale Linie gibt den DON-Grenzwert (1,25 ppm) für unverarbeitetes Getreide an.



arum in beiden Jahren die am häufigsten vorkommenden *Fusarium*-Arten auf Weizen. Eigene Untersuchungen haben gezeigt, dass diese beiden Erreger sowohl im Labor als auch im Feld grosse Mengen Nivalenol, Moniliformin und andere gesundheitsgefährdende Toxine bilden können (Vogelgsang *et al.* 2008a; 2008b). Entsprechende Toxinmessungen sowie die Analyse der Anbaufaktoren auch für diese *Fusarium*-Arten sind in Bearbeitung. Diese zusätzlichen Daten sollten es ermöglichen, für alle drei auf Weizen dominierenden *Fusarium*-Arten Empfehlungen zur Befallsreduktion zu entwickeln.

Literatur

- Doohan F.M., Brennan J. & Cooke B.M., 2003. Influence of climatic factors on *Fusarium* species pathogenic to cereals. *European Journal of Plant Pathology* **109**, 755-768.
- 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*. Im Druck, Zugang Online-Ausgabe: <http://www.springerlink.com/content/txh15ktr41n12564/> [20. Mai 2009].

- Forrer H.R., Musa T., Hecker A. & Vogelgsang S., 2007. *Results of a Swiss Fusarium head blight (FHB) survey in wheat and their use to predict mycotoxin contamination*. In: COST 860 SUSVAR *Fusarium* subgroup meeting: *Fusarium* diseases in cereals - potential impact from sustainable cropping systems, 01. - 02. 06. 2007, in Velence, Hungary.
- Nagaraj R.Y., Wu W., Will J.A. & Vesonder R.F., 1996. Acute cardiotoxicity of moniliformin in broiler chickens as measured by electrocardiography. *Avian Diseases* **40**, 223-227.
- Nganje W.E., Bangsund D.A., Leistritz F.L., Wilson W.W. & Tiapo N.M., 2004. Regional economic impacts of *Fusarium* head blight in wheat and barley. *Review of Agricultural Economics* **26**, 332-347.

Nicholson P., Chandler E., Draeger R.C., Gosman N.E., Simpson D.R., Thomsett M. & Wilson A.H., 2003. Molecular tools to study epidemiology and toxicology of fusarium head blight of cereals. *European Journal of Plant Pathology* **109**, 691-703.

Peraica M., Radic B., Lucic A. & Pavlovic M., 1999. Toxic effects of mycotoxins in humans. *Bulletin of the World Health Organization* **77**, 754-766.

Reiss J., 1986. *Schimmelpilze*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokio, 230 S.

Ueno Y., 1983. *Trichothecenes - Chemical, Biological and Toxicological Aspects*. Kodansha/Elsevier, Tokyo/Amsterdam, 313 S.

Vogelgsang S., Bänziger I., Krebs H., Legro R.J. & Forrer H.R., 2009. *Bekämpfung von Microdochium nivale (Schneeschnitzel) auf Weizen mit Präparaten auf Pflanzenbasis*. In: 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau (Ed. J. Mayer, T. Alföldi, F. Leiber, D. Dubois, P. Fried, F. Heckendorn, E. Hillmann, P. Klocke, A. Lüscher, S. Riedel, M. van der Heijden und H. Willer.), 11.-13.02.2009, in Zurich, Switzerland.

■ Vogelgsang S., Sulyok M., Bänziger I., Krska R., Schuhmacher R. & Forrer H.R., 2008a. Effect of fungal strain and cereal substrate on the *in vitro* mycotoxin production of *Fusarium poae* and *Fusarium avenaceum*. *Food Additives and Contaminants* **25**, 745-757.

■ Vogelgsang S., Sulyok M., Hecker A., Jenny E., Krska R., Schuhmacher R. & Forrer H.R., 2008b. Toxigenicity and pathogenicity of *Fusarium poae* and *Fusarium avenaceum* on wheat. *European Journal of Plant Pathology* **122**, 265-276.

RÉSUMÉ

Fusarioses et mycotoxines du blé – monitoring des échantillons de récolte de la pratique

Dans le cadre d'une étude réalisée pendant deux ans en Suisse, des échantillons de récolte provenant de parcelles de blé de la pratique ont été analysés quant à l'attaque par différentes espèces de *Fusarium*. Les données relatives aux techniques culturales ont également été enregistrées. De plus, la teneur en mycotoxine déoxynivaléol (DON) a été déterminée dans trois quarts des échantillons. Dans les 248 échantillons issus de 16 cantons, trois espèces de *Fusarium* étaient dominantes: *F. graminearum*, suivie de *F. poae* et *F. avenaceum*. La teneur moyenne en DON, due essentiellement à *F. graminearum*, s'élevait à 1,0 ppm et se situait donc juste au-dessous de la valeur limite s'appliquant aux céréales non transformées (1,25 ppm). Toutefois, après le précédent cultural maïs et sans labour, la teneur moyenne en DON s'élevait à 3,2 ppm. La fréquence d'infestation par les espèces de *Fusarium* et la teneur en DON qui en découle variaient d'une année à l'autre, ce qui peut s'expliquer par des conditions météorologiques différentes pendant et après la floraison du blé. L'infestation des cultures par *F. poae* et *F. avenaceum* indique en outre que certains lots de blé pourraient contenir d'autres toxines comme le nivaléol ou la moniliformine, qui sont produites par ces deux espèces de *Fusarium*. En enregistrant les données de technique culturale sur une longue durée, nous souhaitons identifier les facteurs qui influencent l'infestation du blé par les principales espèces de *Fusarium*, ceci afin de définir des mesures permettant de réduire le risque de contamination par les mycotoxines.

SUMMARY

Fusaria and mycotoxins in wheat – monitoring of harvest samples from growers' fields

In a 2-year investigation, harvest samples from Swiss growers' wheat fields were examined for *Fusarium* species incidence and data on cultivation techniques were collected. In addition, the content of the mycotoxin deoxynivalenol (DON) was analysed in three quarters of the samples. From a total of 248 samples originating from 16 cantons, three *Fusarium* species were dominant: *F. graminearum*, followed by *F. poae* and *F. avenaceum*. The average DON content, produced mainly by *F. graminearum*, was 1.0 ppm and thus barely below the maximum limit for unprocessed cereals (1.25 ppm). However, with the pre-crop maize and reduced or zero tillage, the average DON content was 3.2 ppm. The *Fusarium* incidence and the DON content differed between the two years, which could be explained by the prevailing weather conditions during and after wheat anthesis. The incidence of *F. poae* and *F. avenaceum* suggests that some wheat batches could contain the toxins nivalenol or moniliformin. By collecting data on cultivation techniques on a long-term basis, we aim to elucidate factors that influence infection by the most prevalent *Fusarium* species on wheat. This should allow us to develop means to reduce the risk of mycotoxin contamination.

Key words: Cropping system, *Fusarium* head blight, mycotoxins, trichothecenes, wheat