

Extremwetterereignisse und ihre Auswirkungen auf Schaderreger in Weizen, Gerste und Mais

Extreme weather events and their effects on plant pests infesting wheat, barley and maize

Zusammenfassung

In dieser Übersichtsarbeit wurden weltweit verfügbare Informationen zum Einfluss der Extremwetterereignisse Hitze, Dürre/Trockenheit, Starkregen, Überflutung, Dauerregen, Starkfrost, Kahlfrost, Frühfrost, Spätfrost, Sturm, Hagel, Strahlung, Nassschnee auf wichtige Schaderreger in Weizen, Gerste und Mais zusammengetragen und diskutiert. Die 78 auswertbaren gefundenen Arbeiten befassen sich mit dem Einfluss der Extremwetterereignisse Dürre, Trockenheit, Hitze, Starkregen, Überflutung und Kahlfrost auf die Schaderregergruppen Pilze, Insekten und Viren. Zum Einfluss der anderen recherchierten Extrema bzw. Schaderregergruppen dieser Kulturen wurden keine Informationen gefunden. Die meisten der verwerteten Arbeiten widmeten sich dem Einfluss von Trockenheit/Dürre und Hitze auf Pilzkrankheiten, hier insbesondere *Fusarium*- und *Aspergillus*-Arten und verschiedene Blattlausarten bzw. den durch sie an den Kulturpflanzen verursachten Schäden. Hierzu zählt auch die Mykotoxinbelastung des Erntegutes. Gefundene Aussagen sind teils widersprüchlich und insgesamt sind die Informationen noch sehr lückenhaft. Verallgemeinerungen sind daher nicht möglich. Vorschläge für weitere Forschungsarbeiten, wie die Erhebung zu Primärdaten zu Temperatur-extremen, aber auch erhöhten Nachttemperaturen und deren Implementierung in vorhandene Simulations- und Prognosemodelle werden gemacht.

Stichwörter: Extremwetter, Weizen, Gerste, Mais, Prognosemodelle, Schaderreger, Hitze, Dürre/Trockenheit, Starkregen, Überflutung, Dauerregen, Starkfrost, Kahlfrost

Abstract

In this review article 78 evaluable globally accessible articles regarding the influence of heat, drought, heavy rain, flooding, black frost, early frost, late frost, extreme frost, storm, hail, radiation and wet snow have on significant plant pests – namely fungi, insects and viruses – infesting wheat, barley and maize are summarized and discussed. The influence of other extremes and/or plant pests wasn't backed up enough by research, hence it wasn't evaluated. Sufficient evaluable literature was available for the influence drought and heat have on fungal infections, especially *Fusarium* and *Aspergillus* species and various species of aphids and the damage caused by them, including the mycotoxin levels in the grains of wheat and maize. As statements obtained from literature are partly contradicting and overall lacking information, a generalization of results is impossible. Suggestions for further research, such as the obtainment of primary data concerning temperature extremes, increased night time temperatures and their implementation in existing simulation and prediction models are made.

Key words: Extreme weather, wheat, barley, maize, prediction models, pests, heat, drought, heavy rain, flooding, persistent rain, black frost, extreme frost, early frost, late frost

Einleitung

Weizen, Mais und Gerste werden zusammen auf rund 61 Prozent der Ackerfläche Deutschlands angebaut und sind

Institut

Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow

Kontaktanschrift

Dr. Petra Seidel, Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow, E-Mail: petra.seidel@julius-kuehn.de

Zur Veröffentlichung angenommen

17. Juli 2016

damit sehr bedeutsame Ackerbaukulturen. Weizen wuchs 2014 mit rund 3,2 Millionen ha dabei auf etwas mehr als einem Viertel der Ackerfläche von insgesamt rund 11,9 Millionen ha, Mais (Silo- und Körnermais) mit rund 2,6 Millionen ha auf rund 21 Prozent und Gerste mit 1,6 Millionen ha auf 13 Prozent (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2015). Extremwetterereignisse wie Hitze, Dürre, Trockenheit oder Starkregen werden voraussichtlich weltweit (IPCC, 2012) und auch in Deutschland (GÖMANN et al., 2015) an Bedeutung gewinnen. Ursache hierfür ist der Klimawandel (l.c. in SEIDEL, 2016a). Inwieweit Schaderreger wichtiger landwirtschaftlicher Kulturpflanzen, der durch sie verursachte Schaden und der praktische Pflanzenschutz von Extremwetterereignissen betroffen sind, ist bisher kaum erforscht (SEIDEL, 2014 und 2016a). In der vorliegenden Übersichtsarbeit wird das vorhandene Wissen zu diesem Thema für die in Deutschland wichtigen Getreidearten zusammengetragen und ausgewertet.

Material und Methoden

In der weltweit seit 1910 erschienenen Literatur wurde überprüft, ob es bereits konkrete Hinweise, möglichst in Verbindung mit Daten zu den Einflüssen von Extremwetterereignissen auf unter den Bedingungen des Klimawandels relevante Schaderreger an Weizen, Gerste und Mais gibt. Monatlich wiederholte Literaturrecherchen im „Web of Science“ unter Nutzung des „Advanced Search“-Modus mit verschiedenen Abfragekombinationen aus den Segmenten „Kulturpflanze“, „Schaderreger“ und „Extremwetterbegriff“ sowie Informationen aus aktuellen Zeitschriftenumläufen, auch aus der sogenannten „Grauen Literatur“, Sekundärauswertungen und im Klimafolgenkataster des Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) (<http://www.klimafolgenkataster.de>) führten zu einer Reihe von Funden. Die Publikationen zu allen gefundenen Quellen wurden beschafft, analysiert und bewertet. Für eine ausführliche Darstellung zur Methodik, recherchierten Extremwetterbegriffen und abgefragten Schaderregerbegriffen siehe unter SEIDEL (2014) und (2016a).

Ergebnisse

Die Darstellung und Diskussion der gefundenen Hinweise erfolgt getrennt nach zu untersuchenden Kulturarten und dort untergliedert nach Schaderregergruppen sowie Art des Extremwetterereignisses.

Weizen

529.074 abgefragte Einzelkombinationen aus Kultur + Schaderregerbegriff + Extremum führten zu 156 angezeigten Treffern, von denen wiederum nach Lektüre und Bewertung 31 Arbeiten, darunter 3 Übersichtsarbeiten, weiter verwendet werden konnten. Von den 119 eingegebenen Schaderregerbegriffen aus allen Schaderregergruppen konnten nur zu Insekten (15 Arbeiten), Pilzen

(12 Arbeiten) und Viren (1 Arbeit) weiter verwertbare Aussagen zu den Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf diese Schaderreger bzw. den durch sie verursachten Schaden an Weizen gefunden werden. Diese Arbeiten untersuchten die Einflüsse von Dürre/Trockenheit (31 Arbeiten), Hitze (2 Arbeiten), Starkregen (4 Arbeiten), Überflutung (5 Arbeiten) und Kahlfröste (2 Arbeiten).

Schadinsekten an Weizen

Der größte Teil der Arbeiten zu den Extremwetterereignissen und Schadinsekten befasst sich mit Blattläusen (KARLEY et al., 2004):

- Haferblattlaus, *Rhopalosiphum padi* (Linn.) (ARAYA, 1991; PONS und TATCHELL, 1995; HONEK et al., 1998; XING et al., 2003),
- Bleiche Getreideblattlaus, *Metopolophium dirhodum* (Walk.) (ARAYA, 1991; HONEK et al., 1998),
- Große Getreideblattlaus *Sitobion avenae* (Fabr.) (ARAYA, 1991; MANN et al., 1995; PONS und TATCHELL, 1995; HONEK et al., 1998; DAI et al., 2015),
- Grüne Getreideblattlaus, *Schizaphis graminum* (Rond.) (SUMNER et al., 1983 und 1986; DORSCHNER et al., 1986) und
- Russische Weizenblattlaus *Diuraphis noxia* (Mord.) (ARAYA, 1991; ARCHER et al., 1995; DE FARIAS et al., 1995; KINDLER et al., 2002 und 2003).

Eine Arbeit berichtet über Auswirkungen von Extrema auf die Asiatische Getreidewanze *Eurygaster integriceps* Puton (POPOV et al., 2006) und auf den Getreidelaufkäfer *Zabrus tenebrioides* Fabr. (POPOV et al., 2006).

Trockenheit, Dürre und Schadinsekten an Weizen

Die Untersuchungen richten sich auf die direkten Auswirkungen von Trockenheit/Dürre auf die Entwicklungs- und Populationsparameter der Blattläuse (PONS und TATCHELL, 1995; DAI et al., 2015), aber auch die indirekten Wirkungen auf diese Parameter über die Beeinflussung der Weizenpflanze (SUMNER et al., 1983 und 1986; PONS und TATCHELL, 1995; DE FARIAS et al., 1995; HONEK et al., 1998; XING et al., 2003; DAI et al., 2015).

Die Verweildauer der Blattläuse (*R. padi*, *M. dirhodum*, *S. avenae*) auf den Weizenblättern ist z.B. bei Trockenheit/Dürre kürzer, wobei ältere Larvenstadien und Adulte kürzer verweilen als jüngere Larvenstadien (HONEK et al., 1998). Dies ist jedoch, wie auch die Beeinflussung weiterer Populationsparameter, eher eine indirekte Wirkung über den veränderten Wassergehalt der Weizenblätter (SUMNER et al., 1983; PONS und TATCHELL, 1995) sowie über eine in der Folge veränderte Konzentration an löslichem Protein, löslichen Kohlenhydraten und Stärke in der Weizenpflanze (XING et al., 2003 für *R. padi*). Für *S. graminum* zeigten alle untersuchten Parameter (Fruchtbarkeit, Lebensdauer, Reproduktionsperiode und produzierte Nachkommen pro Reproduktionstag) einen Zusammenhang zu den Reaktionen der Wirtspflanze auf den Trockenstress. Wenn die Pflanzen verwelkten (bei $-0,75$ MPa schon starkes Welken) oder starben

(bei $-1,13$ MPa), zeigten auch die Blattlausparameter Beeinträchtigungen. Daher wird davon ausgegangen, dass es ein kritisches Feuchtigkeitsniveau der Wirtspflanzen für die Blattläuse geben muss. Dieses muss zwischen $-0,38$ und $-0,78$ MPa liegen (SUMNER et al., 1983). Auch bei *D. noxia* reduzierte Wasserstress das Wachstum der Population (DE FARIAS et al., 1995). Mit steigender Beregnung des Weizens (bis zur 25%igen, 50%igen oder 75%igen Bodensättigung mit Wasser) erhöhte sich die Populationsdichte von *D. noxia* (DE FARIAS et al., 1995). Eine direkte Wirkung des Regens auf die Population wurde ausgeschlossen. Dabei entwickelte sich die *D. noxia*-Population auf trockenheitstoleranten und trockenheitsintoleranten Sorten gleichermaßen (DE FARIAS et al., 1995). Die Anfälligkeit bzw. Resistenz der Weizensorte gegenüber Blattläusen scheint die Auswirkungen eines Trockenstresses auf die Populationsparameter der Blattläuse hingegen zu beeinflussen. Sowohl bei der resistenten als auch der anfälligen Sorte nahm mit steigendem Trockenstress die intrinsische Rate des Populationswachstums von *S. graminum* zu (SUMNER et al., 1986). Bei einer anfälligen Sorte war die intrinsische Rate aber größer als bei einer resistenten (SUMNER et al., 1986). Die Lebensdauer von *S. graminum* war unter Trockenstress reduziert, ihr Genotyp hatte keinen Einfluss (SUMNER et al., 1986).

Für *S. avenae* liegen widersprüchliche Ergebnisse vor. Zwar berichten PONS und TATCHELL (1995) von einer reduzierten Reproduktionskapazität bei *S. avenae* und *R. padi*, die an den durch Trockenheit gestressten Pflanzen lebten. Die Entwicklungszeit der Blattläuse, die Nymphenmortalität, das Gewicht der Adulten und die Anzahl der Embryonen bei Einsetzen der Reproduktion der ersten F-1 Generation waren durch den Trockenstress der Weizenpflanzen jedoch nicht beeinflusst. Von DAI et al. (2015) wird hingegen für *S. avenae* eine Beeinträchtigung der Entwicklungsparameter unter Trockenstress beschrieben (DAI et al., 2015). Auf unter Wasserstress gewachsene Weizenpflanzen zeigte *S. avenae* längere Entwicklungszeiten, eine niedrigere Fruchtbarkeit und eine niedrigere Nettoreproduktionsrate als auf gut mit Wasser versorgten Weizenpflanzen. *S. avenae*-Klone, die aus semiariden Gebieten stammten, erfuhren dabei unter Laborbedingungen eine größere Beeinträchtigung als Klone, die aus feuchten Gebieten kamen (DAI et al., 2015), so dass der Genotyp, anders als von SUMNER et al. (1986) für *S. graminum* berichtet, bei *S. avenae* eine Rolle zu spielen scheint.

Weiterhin wird über Auswirkungen auf die durch die genannten Schadinsekten verursachten Schäden und die infolge eines Befalles veränderten Reaktionen der Weizenpflanze auf nachfolgenden abiotischen Stress, hier Trockenheit und Dürre, berichtet (DORSCHNER et al., 1986; KINDLER et al., 2002 und 2003).

Trockenheit/Dürre verstärkt die negativen Ertrags-effekte von *S. graminum* auf Winterweizen (DORSCHNER et al., 1986; KINDLER et al., 2002 und 2003). Physiologische Anpassungsreaktionen der Weizenpflanze an Trockenheit bzw. Dürre, wie Anpassungen der Membranen der Wirtspflanze, könnten durch einen Blattlausbefall beeinträch-

tigt sein, wie für *S. graminum* berichtet wird (DORSCHNER et al., 1986). Die Anfälligkeit bzw. Resistenz der Weizensorten scheint nicht nur direkte Wirkungen auf die Ertragsverluste durch Blattläuse zu haben, sondern auch indirekte über die Auswirkungen von Trockenheit und Blattlausbefall. Bei anfälligen Sorten korreliert der Ertragsverlust mit der Anzahl der Blattlaustage, bei resistenten Sorten nicht. Winterweizensorten mit hoher Anfälligkeit für *S. graminum* wiesen bei durchschnittlichen Niederschlägen nach einem in Auswertung von Feldversuchen entwickelten Regressionsmodell $0,51$ kg/ha Verlust pro Blattlaustag auf, unter sehr trockenen Bedingungen betrug der Verlust sogar $1,17$ kg/ha (KINDLER et al., 2002). Es müssen daher verschiedene Regressionsfunktionen für Ertragsverluste entwickelt werden, für normale und für trockene Bedingungen, für blattlausanfällige und blattlausresistente Sorten. Auf der Grundlage von Feldversuchen über vier Jahre wurden von KINDLER et al. (2003) Regressionsmodelle entwickelt. Diese berechneten zu erwartende Ertragsverluste von $14,5$ kg/ha bei einer Befallsdichte von einer Blattlaus pro Halm bei durchschnittlichen Niederschlägen und $34,3$ kg/ha bei einer Befallsdichte von einer Blattlaus je Halm unter den Bedingungen stärkerer Trockenheit (KINDLER et al., 2003).

Langjährige Erhebungsdaten von Feldern in Rumänien beschreiben die Auswirkungen von Trockenheit auf die Asiatische Getreidewanze *Eurygaster integriceps* und den Getreidelaufkäfer (*Zabrus tenebrioides*). Asiatische Getreidewanzen werden stark durch die klimatischen Bedingungen im Zeitraum April bis Mai beeinflusst, der Einfluss von Trockenheit verstärkt die durch sie verursachten Schäden großflächig. Massenvermehrungsjahre waren in Rumänien 1964, 1985, 1986 und besonders 1996 sowie auch das kritische Jahr 2003. 1996 war das Populationsniveau mit 2–5 Individuen/m² zwar nicht außerordentlich hoch, aber der Weizen wurde während der Bestockung stark attackiert. Die adulten Wanzen zeigten in Folge der Trockenheit eine gesteigerte Aggressivität (BARBULESCU et al., 1997 in POPOV et al., 2006).

Auch Schäden durch Getreidelaufkäfer werden durch Trockenheit verstärkt. In trockenen Jahren entstehen in Rumänien die meisten Schäden bei Trockenheit im Frühjahr, wenn die Pflanzen sich nicht normal entwickeln können und die Larvenentwicklung begünstigt ist (POPOV et al., 2006).

Aus dieser Literaturlauswertung, der für Blattläuse mehrere Quellen zugrunde gelegt werden konnten, ist bereits erkennbar, dass die Blattlausarten und innerhalb einer Blattlausart auch die Herkunftsregionen der Blattläuse, d.h. ihr genetischer Hintergrund, eine Rolle bei den Reaktionen auf Extremwetterereignisse spielen können und somit berücksichtigt werden müssen. Das zeigt sich auch bei den vorliegenden Informationen zu den Auswirkungen von Starkregenereignissen und Überflutung sowie von Beregnung.

Starkregen, Überflutung und Schadinsekten an Weizen
 Starkregen kann zu einem in der Saison zu beobachtenden Zusammenbruch der Blattlauspopulation beitragen,

ist aber vermutlich kein allein wirkender Faktor. Der Populationszusammenbruch wird durch die Interaktion anderer Faktoren (z.B. natürliche Feinde, Qualität der Pflanzen und populationseigene Faktoren wie abnehmende Blattlausfertilität und -schlupf) verursacht (KARLEY et al., 2004).

Verschiedene Blattlausarten können durchaus einige Zeit auf und im Wasser schwimmend und tauchend überleben, auch wenn sie im Freiland zunächst durch Regen abgespült werden und könnten so Überflutungen überstehen. Das zeigte ein Laborversuch mit Laborkolonien der Blattlausarten *R. padi*, *D. noxia*, *M. dirhodum* und *S. avenae* (ARAYA, 1991). Die Zeitspanne für eine 50% Mortalität (L 50) reichte bei schwimmenden Blattläusen von 2,96 h bis 7,10 h und bei untergegangenen von 1,75 h bis 2,43 h. Die L 50 wurde von *R. padi* am spätesten erreicht, mehr Tiere überlebten also schwimmend eine längere Zeitspanne, es folgten *D. noxia* und *M. dirhodum*. *S. avenae* hielt die kürzeste Zeit schwimmend durch. Auch beim Untertauchen erreichte *R. padi* die L 50 am spätesten, mehr Individuen überlebten also tauchend, dann folgten *S. avenae*, *D. noxia* und *M. dirhodum*. Schwimmende *D. noxia* überlebten insgesamt länger als alle anderen Blattlausarten, d.h. die letzten überlebenden Blattlausexemplare waren *D. noxia*, dann folgten *R. padi*, *S. avenae* und *M. dirhodum* (ARAYA, 1991). Unter Wasser überlebte *M. dirhodum* die kürzeste Zeit, gefolgt von *S. avenae*, *D. noxia* und am längsten hielt es *R. padi* aus (ARAYA, 1991).

Insbesondere die Russische Weizenblattlaus, *Diuraphis noxia*, kann also Regenfälle, natürlich oder künstlich, eine Zeit lang schwimmend und tauchend überdauern. Das kann auch die Ergebnisse aus den Untersuchungen von DE FARIAS et al. (1995) mit erklären. Mit steigender Beregnung (eine 25%ige, eine 50%ige und eine 75%ige Bodensättigung mit Wasser wurde durch die Beregnung erreicht) erhöhte sich die Dichte der *D. noxia*-Population. Die besser mit Wasser versorgten Weizenpflanzen boten offensichtlich bessere Entwicklungsbedingungen. Der Regenfall selbst schien jedoch keine Wirkung zu haben, da sich im Feld die Dichte von *D. noxia* sowohl auf Pflanzen, die dem Regen ausgesetzt waren, als auch solchen, die vor Regen geschützt waren, gleichermaßen entwickelte (DE FARIAS et al., 1995). Im Widerspruch zu den Ergebnissen der im Labor bzw. Gewächshaus durchgeführten Versuche von ARAYA (1991) bzw. DE FARIAS et al. (1995) stehen die Ergebnisse von ARCHER et al. (1995). ARCHER et al. (1995) untersuchten den Einfluss unterschiedlicher Beregnungsmengen (Höhe und Anzahl der einzelnen Wassergaben) auf die Populationsdichte von *D. noxia* an Weizenpflanzen, die in einer Lysimeteranlage wuchsen. Im Vergleich zur Entwicklung an Pflanzen, die beregnet wurden und bei 50- und 100%iger Bodenwasserhaltekapazität (SWHC) wuchsen, entwickelte sich *D. noxia* am besten, wenn die Weizenpflanzen bei 15%iger SWHC wuchsen (ARCHER et al., 1995).

Schadpilze an Weizen

Am häufigsten untersucht wurden in der vorliegenden Literatur die Auswirkungen von Extremwetterereignis-

sen auf *Fusarium*-Arten (WEST et al., 2012; GILBERT und HABER, 2013; MA et al., 2015). Wenige Informationen gibt es zu Extremwetterereignissen sowie Rostpilzen und Fußkrankheiten:

- *Fusarium graminearum* ((Schweinitz) Petch) (syn. *Gibberella zeae* BEDDIS und BURGESS, 1992; HARE und PARRY, 1996; PAULITZ, 1996; HOOKER et al., 2002; EIBLMEIER et al., 2007; BEYER et al., 2004; BEYER und VERREET, 2005; XU et al., 2005 MILLER, 2008; MOYA-ELIZONDO, 2013)),
- *Fusarium pseudograminearum* (Aoki und O Donell) (SMILEY et al., 1996; MOYA-ELIZONDO et al., 2011 und MOYA-ELIZONDO, 2013),
- *Fusarium culmorum* ((Smith) Saccardo) (GREY et al., 1991),
- *Puccinia recondita* (Desmazières) (DEBAEKE et al., 1996; BETHENOD et al., 2001),
- *Rhizoctonia cerealis* (van der Hoeven) (KALBERER und GISI, 1997; SMILEY et al., 1996),
- *Cochliobolus sativus* ((Ito und Kuribayashi) Dastur (GREY et al., 1991).

Trockenheit, Dürre, Hitze und Schadpilze an Weizen

Trockenheit, Dürre und Hitze treten in Blüte- und Kornreifephase des Weizens häufig gleichzeitig auf und in diesem Zeitraum breitet sich *Fusarium* in den Ähren aus. Daher stehen die kombinierten Auswirkungen von Trockenheit bzw. Dürre und Hitze im Fokus der Forschungen zu Extremwetterereignissen und Schadpilzen an Weizen und sollen hier gemeinsam betrachtet werden. Eine weitere kritische Entwicklungsphase des Weizens für eine Schädigung durch *Fusarium* sp. ist die Phase der Keimung und des Auflaufens, hier wirkt vor allem Trockenheit schädigend.

Für die Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf *Fusarium*-Arten bzw. den durch sie an Weizen verursachten Schaden konnten durch Sekundärauswertungen 9 weitere Literaturquellen gefunden, analysiert und in die Betrachtungen aufgenommen werden, die hier mit den Ergebnissen der Recherchen im „Web of Science“ gemeinsam dargestellt werden.

Es ist bekannt, dass Wasserstress den sogenannten *Fusarium*-Kronenfäule-Komplex (synonym in Literatur auch als *Fusarium* crown rot complex oder FCR bezeichnet) fördert (MOYA-ELIZONDO, 2013). Beim *Fusarium*-Kronenfäule-Komplex handelt es sich um einen komplexen Befall mit mehreren *Fusarium*-Arten, zumeist *F. pseudograminearum*, *F. graminearum* und *F. culmorum*.

Auch zur Beurteilung der Auswirkungen von Trockenheit/Dürre und Hitze auf phytopathogene Pilze ist wieder, wie schon bei den Schadinsekten, die Wirkung auf die Schadpilze direkt und indirekt über die Wirtspflanze zu unterscheiden.

Während der Weizenkeimlingsentwicklung fördert Trockenheit *F. pseudograminearum* (SMILEY et al., 1996) und *F. graminearum* (HARE und PARRY, 1996). Zum einem ist die Prädisposition des Weizens für einen Befall mit *Fusarium* sp. offensichtlich durch die Trockenheit (nied-

riges Bodenwasserpotential) erhöht (BEDDIS und BURGESS, 1992). Allerdings ist die direkte letale Schädigung des Weizens durch die Trockenheit bei der Interpretation der Boniturergebnisse eines *Fusarium*-Befalls unter Trockenheit zu berücksichtigen. Mit steigender Bodentrockenheit Ψ_{m} (= mittleres soil matrix potential, von $-0,14$ MPa bis zu $-0,17$ MPa verändert) gingen mehr Keimlinge vor dem Auflaufen ein, statt 25% waren es 55% (HARE und PARRY, 1996) und somit kam es in dieser frühen Ontogenese-phase des Weizens infolge der Trockenheit zu einer scheinbaren Abnahme des *F. graminearum*-Befalls nach dem Auflaufen: Zeigten nach der Keimung, aber vor dem Auflaufen, noch 50% der Keimlinge Symptome eines Befalls, waren es nach dem Auflaufen nur noch 20% (HARE und PARRY, 1996).

Für eine erfolgreiche Infektion der Kronwurzeln und des Kronwurzelninternodiums mit *F. pseudograminearum* darf es weder zu trocken noch zu feucht sein. Wasserstress für den Pilz kann also auch zu feucht bedeuten. Als optimal für eine Infektion gilt ein feuchter Boden mit einem Wasserpotential von $-0,3$ bis $-0,6$ MPa. Bei Trockenheit von mehr als $-1,5$ MPa sind kaum Infektionen zu beobachten, wenn es feuchter ist, ebenfalls nicht. Dies ist interessant, da der Pilz *per se* in einem viel breiteren Bereich des Wasserpotentials wachsen kann, aber mikrobielle Antagonisten die Fähigkeit des Pathogens die Wirtspflanzen zu infizieren begrenzen, wenn der Boden feuchter als $-0,3$ MPa oder trockener als $-0,6$ MPa ist (*l.c.* in SMILEY, 2009). Hier wirken also nicht nur die Interaktionen zwischen Weizen und *F. pseudograminearum*, sondern auch zwischen *F. pseudograminearum* und seinen Antagonisten auf den Befall bzw. die Befallsstärke ein.

Die bisherige Darstellung lässt bereits die Komplexität der Beziehungen zwischen Weizen-*Fusarium*-Art und weiteren Faktoren erahnen, welche für die Wirksamkeit von Extremwetterereignissen und damit der Bewertung ihres Einflusses auf Schaderreger von entscheidender Bedeutung sein können. Unter natürlichen Bedingungen ist diese Komplexität jedoch noch größer, weil von weiteren Einflussfaktoren determiniert. Um für eine Förderung einer Infektion mit und einer Ausbreitung von *F. pseudograminearum* günstige Bedingungen zu verifizieren, untersuchten z.B. MOYA-ELIZONDO et al. (2011) auf Feldern gesammelte Weizenproben unter Erfassung verschiedener Einflussgrößen wie: Wachstums-Entwicklungstage, Höhe, durchschnittliche und maximale Temperatur, Niederschläge. Das Auftreten von *F. pseudograminearum* war positiv mit der Höhe korreliert (Spearman's rank Koeffizient: $r = 0.212$, $P = 0.037$), den Wachstumsgradtagen ($r = 0.210$, $P = 0.046$), der Boden-Wasserhaltekapazität ($r = 0.221$, $P = 0.035$), der Durchschnittstemperatur im August ($r = 0.236$, $P = 0.024$) und der maximalen Temperatur, welche in den Sommermonaten gemessen wurde (Juni, $r = 0.174$, $P = 0.098$; Juli, $r = 0.183$, $P = 0.082$; und August, $r = 0.176$, $P = 0.094$).

Steigende Maximaltemperaturen während der Sommermonate begünstigen die Infektion des Weizens mit *F. pseudograminearum* (SMILEY, 2009; MOYA-ELIZONDO et al., 2011). *F. graminearum* wird durch höhere Tempera-

turen mit Maximalwerten über 30°C Tageswerten gefördert. Die Zunahme heißer Sommer führte zu einer zunehmenden Bedeutung von *F. graminearum* in den gemäßigten Regionen Europas (XU et al., 2005).

Bekanntermaßen spielt häufig eine hohe Luftfeuchtigkeit für eine erfolgreiche Infektion und Besiedlung der Wirtspflanze durch phytopathogene Pilze eine Rolle. Phytopathogene Pilze, die unter relativ trockenen Bedingungen noch zu einer Sporenkeimung befähigt sind, dürften in Trockenperioden im Vorteil sein. Bei *F. graminearum* erfolgt unter 50% relativer Luftfeuchtigkeit keine Keimung der Ascosporen, wie bei anderen phytopathogenen Pilzen auch. Ein kleiner Teil der Ascosporen aber kann offenbar bereits bei 53% relativer Luftfeuchtigkeit keimen und das zeigt die Gefährlichkeit dieser *Fusarium*-Art. Nur wenige Pilze können das (BEYER und VERREET, 2005).

Auch andere phytopathogene Pilze können durch Trockenheit begünstigt werden. In Langzeitfeldversuchen wurde für Winterweizen festgestellt, dass *Rhizoctonia cerealis* durch Trockenheit gefördert wurde (SMILEY et al., 1996).

Mit abnehmendem Bodenwasserpotential scheint der Trockenstress bei Weizen dessen Prädisposition gegenüber *Rhizoctonia cerealis* zu erhöhen (KALBERER und GISI, 1997). Untersucht wurde ein lehmiger Boden. Matrixpotentiale wurden in mit *Rhizoctonia cerealis* infiziertem und nicht infiziertem Boden im Bereich von 0 bis -850 hPa geprüft. Die Symptomstärke an Weizenkeimlingen nahm mit abnehmendem Potential zwischen -5 bis -200 hPa zu, war also stark vom Bodenwassergehalt abhängig. Das Optimum für das Pilzwachstum lag zwischen -50 und -200 hPa, also bei eher trockenen Bedingungen (KALBERER und GISI, 1997).

Für die Weizenproduktion entscheidender als der Befall mit phytopathogenen Pilzen ist der durch sie verursachte Schaden und es gibt auch Hinweise, wie sich Trockenheit/Dürre und Hitze auf diesen Schaden auswirken. Neben der Befallsstärke ist offensichtlich auch die Ontogenese-phase, in der sich die Wirtspflanze befindet, für das Ausmaß des Schadens und seine Kompensation wichtig.

Bei Trockenheit nach der Blüte und während der Kornbildung ist die Schadwirkung durch *F. pseudograminearum*, *F. graminearum*, *F. culmorum* besonders stark, und außerdem werden diese drei *Fusarium*-Arten unter diesen Bedingungen (GREY et al., 1991; SMILEY et al., 2005; MOYA-ELIZONDO, 2013) gefördert.

Eine Infektion des Weizens mit *Puccinia recondita* und nachfolgender Dürrestress haben additive Wirkungen auf die Nettofotosynthese und das Blattwasserpotential, die reduziert werden (BETHENOD et al., 2001).

Die Schadwirkung der abiotischen und biotischen Stressoren ist allerdings nicht zwingend additiv. Vielmehr können nach Einwirken eines Stressors bereits Kompensationsreaktionen eingeleitet werden, so dass bei nachfolgendem Einfluss eines weiteren Stressors geringere Schäden auftreten, als dieser alleine verursacht hätte.

Kompensationsreaktionen des Weizens, die bei alleinigem Rostbefall auftreten, wie z.B. Förderung des Wachstums anderer, nicht infizierter Blätter, sind gemindert, aber bei Wirkung der kombinierten Stressoren noch größer als bei alleiniger Wirkung der Trockenheit (BETHENOD et al., 2001).

Längere Trockenheit und Befall mit *F. culmorum* oder *Cochliobolus sativus* während der Keimlingsentwicklung können zu Verlusten beim Kornertrag von Weizen führen. Bei späterer ausreichender Versorgung des Weizens mit Wasser kann die Kompensationsfähigkeit der Pflanze gegenüber Wurzelfäuleerregern wie *F. culmorum* und *C. sativus* aktiviert werden und die geringere Bestandesdichte infolge des Befalls durch höhere Korngewichte bzw. höhere Kornzahlen ausgeglichen werden, wie Feldversuche zeigten (GREY et al., 1991).

Für das Ausmaß des Schadens sind auch Resistenz- und Toleranzeigenschaften des Weizens von Bedeutung. Neuere Untersuchungen deuten darauf hin, dass dieselben Gengruppen sowohl bei der Trockenheitstoleranz als auch bei der FCR-Resistenz in Weizen beteiligt sind (MA et al., 2015).

Auch die Qualität des Erntegutes kann beeinflusst sein: Blattbefall mit Braunrost, hohe Temperaturen und Wassermangel beeinflussen die Trockenmassebildung während der Kornfüllungsphase und führen zu erhöhten Stickstoffgehalten des Korns von Weizen (DEBAEKE et al., 1996).

Weiterhin können Hitze und Trockenheit die Mykotoxinbelastung der Körner beeinflussen: *F. graminearum* produziert die Mykotoxine DON (Deoxynivalenol) und Nivalenol sowie Zearalenon, *F. pseudograminearum* DON und Nivalenol (CLEAR et al., 2006). Warmes, trockenes Wetter von Herbst bis zum frühen Frühjahr kann das Risiko für den Aufbau eines wachsenden Befallsdruckes durch Fusarien im Weizen erhöhen (WEST et al., 2012) und, wie oben dargestellt, können Hitze sowie Trockenheit einen Befall mit *Fusarium* sp. in der weiteren Vegetationsperiode begünstigen. Dies bedeutet aber nicht zwingend eine höhere Mykotoxinbelastung des Erntegutes. Nach HOOKER et al. (2002) sank der DON-Gehalt der Ähren infolge eines Befalls mit *F. graminearum* drei bis sechs Tage nach dem Ährenschieben mit der Anzahl der Tage über 32°C. Trockenere Sommer könnten trotz Befalls des Weizens mit Fusarien die DON-Belastung reduzieren, wenn der Regen in der Vorerntephase (ab BBCH 87) zurückgeht (WEST et al., 2012). Regenfall in dieser Zeit erhöht die DON-Belastung der Ähren (WEST et al., 2012).

Starkregen und Schadpilze an Weizen

Hierzu liegen nur Informationen zur Mykotoxinbelastung der Ähren bei Befall mit *F. graminearum* vor.

Starkregen begünstigt die DON-Bildung bei Befall mit *F. graminearum* (HOOKER et al., 2002; MILLER, 2008). HOOKER et al. untersuchten den Einfluss von täglichem Regenfall, täglicher minimaler und maximaler Lufttemperatur sowie stündlicher relativer Feuchte auf den DON-Gehalt von Weizenähren. Als entscheidend erwies sich die Regenmenge in der Zeit des Ährenschiebens.

Vier bis sieben Tage vor dem Ährenschieben stieg der DON-Gehalt, wenn die Anzahl der Tage mit mehr als 5 mm Regen zunahm und sank mit der Anzahl der Tage unter 10°C. Drei bis sechs Tage nach dem Ährenschieben stieg der DON-Gehalt mit der Anzahl der Tage mit mehr als 3 mm Regen und sank mit der Anzahl Tage über 32°C. Zwischen dem siebten und zehnten Tag nach dem Ährenschieben erhöhte sich der DON-Gehalt mit der Anzahl der Tage mit mehr als 3 mm Regen. Es wurde keine Beziehung zwischen dem DON-Gehalt und der relativen Feuchtigkeit festgestellt (HOOKER et al., 2002). Bereits geringe Mengen Inokulum können unter günstigen Umständen zu einer hohen DON-Belastung der Körner führen. Die Infektionswahrscheinlichkeit für die Körner ist in der Blütezeit am größten, wenn dann entsprechende Witterungsbedingungen herrschen (l.c. HOOKER et al., 2002). Witterungsfaktoren, die zu einer späten Ernte führen, wie Regen, erhöhen gleichfalls die DON-Belastung der Ähren nach Befall mit *F. graminearum* (EIBLMEIER et al., 2007). Das Extremwetterereignis Starkregen wirkt hier also indirekt als produktionstechnisches Risiko „verspätete Ernte – erhöhte Mykotoxinbelastung“. Interessant sind in diesem Kontext Beobachtungen aus Kanada und Brasilien. Hier kam es infolge des Klimawandels zu einer Veränderung der Niederschlagsverteilung: im Vergleich zum 30jährigen Mittel ist nicht mehr der Juni, sondern der Juli der Monat mit den höchsten Niederschlägen und zu dieser Zeit blüht der Sommerweizen in Kanada (GILBERT und HABER, 2013).

Frost und Schadpilze an Weizen

Versuche in Klimakammern zur Beeinflussung der Sporenkeimung von Ascosporen zeigten, dass Frost die Ascosporenkeimung von *F. graminearum* nicht beeinträchtigt (BEYER und VERREET, 2005), erst ab -15°C und wiederholten Frostperioden wird das Pilzwachstum gehemmt (BEYER et al., 2004). Wenn die Makrokonidien aber bereits gekeimt waren und ihre Keimschläuche im Medium gewachsen waren, konnte Frost die Wachstumsrate nicht mehr beeinträchtigen (BEYER et al., 2004).

Diese Untersuchungen zur Sporenkeimung auf Nährmedium (*Wasseragar*, *Möhrenagar*) in Petrischalen müssten, bevor diese Ergebnisse für Praxisbedingungen verallgemeinert werden können, zumindest noch an Weizenpflanzen in Gefäßversuchen überprüft werden, da sich unter den dann veränderten mikroklimatischen Bedingungen möglicherweise auch andere Temperaturschwellen für eine Frostwirkung feststellen lassen. Noch besser wäre die Auswertung von meteorologischen Daten zu Frostereignissen und dem Auftreten eines *F. graminearum*-Befalls im Freiland.

Mais

144 Treffer ergaben sich bei von Januar 2013 bis April 2016 abgefragten 157.092 Einzelkombinationen aus Kultur + Schaderregerbegriff + Extremum. Von diesen konnten nach Analyse und Bewertung 25 Arbeiten, darunter zwei Übersichtsarbeiten, weiter verwendet werden. Von den 106 eingegebenen Schaderregerbegriffen aus allen

Schaderregergruppen konnten nur zu Schadpilzen (16 Arbeiten) und Schadinsekten (8 Arbeiten) verwertbare Aussagen zu den Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf diese Schaderreger bzw. den durch sie verursachten Schaden an Mais gefunden werden. Diese Arbeiten untersuchten die Einflüsse von Dürre/Trockenheit (24 Arbeiten), Hitze (13 Arbeiten) und Starkregen (3 Arbeiten).

Schadinsekten an Mais

Die meisten gefundenen Arbeiten zum Einfluss von Extremwetterereignissen sind dem Maiszünsler, *Ostrinia nubilalis* (Hübner) gewidmet (GODFREY et al., 1991a und b; 1992; TRAORE et al., 2000; OZTEMIZ und KORNOSOR, 2007). Weiterhin gibt es je eine Arbeit zum Gekrümmten Gurkenkäfer *Diabrotica balteata* (Leconte) (VAUGHAN et al., 2015), dem Westlichen Maiswurzelbohrer *Diabrotica virgifera virgifera* (Leconte) (O'NEAL et al., 2001) sowie dem Grauen Maisrüssler (synonym: Maisblattrüssler) *Tanymecus dilaticollis* (Gyllenhal) (POPOV et al., 2006).

Trockenheit, Dürre und Schadinsekten an Mais

Zu den direkten Auswirkungen von Trockenheit bzw. Dürre auf den Befall des Mais mit Schadinsekten wurde nur eine Arbeit gefunden: Warme und trockene Witterung führte während des Auflaufens zu verstärktem Befall mit dem Grauen Maisrüssler, dessen Virulenz in Rumänien eine großflächige Zerstörung der Pflanzen im Freiland verursachte (POPOV et al., 2006).

Alle anderen Arbeiten untersuchten die Wirkung von Trockenheit und Dürre auf durch Schadinsekten verursachte Schäden am Mais, oder die gegenseitige Beeinflussung von abiotischen und biotischen Schäden. Sowohl ein Befall mit *Ostrinia nubilalis* als auch Trockenheit beeinflussen die Fotosyntheseparameter von Mais negativ. Unter Trockenstress und bei einem Befall mit drei Larven pro Pflanze war die Nettofotosyntheserate um 11,4% reduziert, bei fünf Larven pro Pflanze um 22,1%, während eine Larve pro Pflanze hingegen sogar zu einer signifikant erhöhten Fotosyntheserate führte. Ohne Trockenstress trat nur bei fünf Larven/Pflanze ein signifikanter Ertragsverlust von 11,7% auf. Der Befall mit *Ostrinia nubilalis* führte zu einer um 28,1% reduzierten Stomataleitfähigkeit, einer sinkenden interzellularen CO₂-Konzentration sowie einer gestiegenen Blatttemperatur (bis zu 1,8 Grad). Auch Wassermangel ohne Larvenbefall konnte die genannten Fotosyntheseparameter bei Mais reduzieren, aber nicht so stark wie der alleinige Larvenbefall (GODFREY et al., 1991a). Das Blattwaterpotential war in ausreichend mit Wasser versorgten Maispflanzen um 3,8 bar höher und das Stängelwaterpotential um 3,5 bar höher als in Maispflanzen unter Trockenstress. Die Tunnel der Larven von *O. nubilalis* hatten hierauf keinen Effekt. *O. nubilalis* alleine, ohne Trockenstress, reduzierte die hydraulische Leitfähigkeit der Stängel um 63% im Vergleich zu unbeschädigten Stängeln und eine leichte Reduktion war auch in den noch nicht von Tunneln durchzogenen Teilen befallener Stängel festzustellen. Die Größe der Tunnel unterschied sich zwischen Pflan-

zen unter Trockenstress und ausreichend mit Wasser versorgten Pflanzen nicht (GODFREY et al., 1992).

Trockenstress kann offenbar Abwehrreaktionen der Maispflanze auf nachfolgenden biotischen Stress induzieren: Das Phytoalexin Kauralexin wird in Reaktion auf Trockenheit in den Wurzeln verstärkt gebildet, was wiederum die Induktionskapazität und Ansammlung für andere Phytoalexine in oberirdischen Pflanzenteilen begünstigt, wenn dort zusätzlich biotische Stressoren wirken, z.B. ein Befall mit dem Gekrümmten Gurkenkäfer *Diabrotica balteata* (VAUGHAN et al., 2015).

Weiterhin wurde untersucht, wie sich die Auswirkungen von Befall und Trockenheit auf Mais unter Maßnahmen des Risikomanagements, hier Beregnung, Resistenz (Gentechnik, Expression von *Bt*) und Maßnahmen des biologischen Pflanzenschutzes (Anwendung von *Trichogramma evanescens*) verändern.

Im Vergleich zu voll beregneten Pflanzen betrug die physiologischen Ertragsverluste bei nur leicht beregneten Pflanzen 59,1%. Eine Besiedlung mit 5 Larven des Maiszünslers *O. nubilalis* pro Pflanze und bei durchschnittlich 3,25 Gängen pro Pflanze reduzierte den Maisertrag im Vergleich zu befallsfreien Pflanzen über alle Beregnungsgradienten hinweg im 1. Versuchsjahr um 18,8%, im 2. Versuchsjahr um 13,3%. Unter den Bedingungen eines ersten Trockenstresses war mit sinkender Bodenfeuchtigkeit ein größerer prozentualer Ertragsverlust pro Larve festzustellen; bei ausreichender Feldkapazität betrug diese durch die Larven verursachten Ertragsverluste 3,1%, auf trockenen Böden, mit einer Feldkapazität leicht über dem permanenten Welkepunkt, 7,1%. Die Korngröße war durch den Larvenbefall stärker reduziert als die Anzahl Körner/Kolben. Trockenstress *per se* mindert sowohl die Kornzahl als auch die Korndichte (GODFREY et al., 1991b). Beregnung konnte die trockenheitsbedingten Ertragsverluste bei gleichzeitigem Befall mit dem Maiszünsler zwar mildern, aber nicht ausgleichen. Der durch den Maiszünsler verursachte Schaden war unter den Bedingungen der Trockenheit größer.

Die Art der Beregnung kann Maßnahmen des biologischen Pflanzenschutzes beeinflussen: Es zeigte sich, dass die Effizienz des Eiparasitoiden *T. evanescens* bei Flutungsbewässerung größer war als bei Sprenglerberegnung. Die Anzahl der mit dem Maiszünsler befallenen Pflanzen war bei Flutungsbewässerung und *T. evanescens*-Anwendung um 80 bzw. 88,3% (2 Versuchsjahre) reduziert, bei Sprenglerberegnung um 60,7 bzw. 68,9% (OZTEMIZ und KORNOSOR, 2007).

Näher untersucht werden müsste auch die Wirksamkeit von Beregnungsmaßnahmen hinsichtlich der Wirksamkeit von Resistenz in gentechnisch verändertem Mais. Trockenstress beeinträchtigt nämlich die Expression des *Bt*-Proteins im Maisgewebe, so dass die Resistenz des Mais gegenüber *Ostrinia nubilalis* beeinträchtigt ist (TRAORE et al., 2000).

Starkregen und Schadinsekten an Mais

Starkregen im Frühjahr reduzierte den Befall von Mais mit dem Westlichen Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgi-*

fera virgifera) auch dann noch, wenn von der Vorfrucht her noch viele Larven des Westlichen Maiswurzelbohrers im Boden vorhanden waren. Die Larvenmortalität war in diesem Fall sehr hoch (O'NEAL et al., 2001).

Schadpilze an Mais

Hier liegen Arbeiten zu *Aspergillus* sp. (DOWD und JOHNSON, 2015) und *Fusarium* sp. (DOWD und JOHNSON, 2015) vor:

- *Aspergillus flavus* (Link) (HORN et al., 1995 und 2014; FAKHOURY und WOLOSHUK, 2001; ABBAS et al., 2002; BRUNS, 2003; BETRAN und ISAKEIT, 2004; PIVA et al., 2006; GUO et al., 2008; WINDHAM et al., 2009; KEBEDE et al., 2012; MAGNUSSEN und PARSI, 2013; SHAN und WILLIAMS, 2014),
- *Aspergillus parasiticus* (Speare) (BRUNS, 2003; MAGNUSSEN und PARSI, 2013);
- *Fusarium verticillioides* (Saccardo) Nirenberg (MILLER, 2001 und 2008; ABBAS et al., 2002; PARSONS und MUNKVOLD, 2010, VAUGHAN et al., 2015),
- *Fusarium graminearum* (Schwabe) (MILLER, 2001 und 2008),
- *Fusarium moniliforme* ((Sawada) Wollenweber) (BRUNS, 2003).

Trockenheit, Dürre, Hitze und Schadpilze an Mais

Alle Arbeiten beschäftigen sich mit den Auswirkungen von Hitze, Trockenheit und Dürre auf die genannten Pilzspezies. Diese stehen im Fokus und werden gemeinsam betrachtet, weil die Auswirkungen auf die Mykotoxinbelastung des Erntegutes von besonderem Interesse sind.

Wenn Maispflanzen Trockenheit und Hitzestress ausgesetzt sind, wird der Befall der Kolben mit *A. flavus* (HORN et al., 1995; FAKHOURY und WOLOSHUK, 2001; KEBEDE et al., 2012), *A. parasiticus* und *F. moniliforme* (BRUNS, 2003) gefördert.

Unter Trockenstress erhöhte sich der Anteil von *A. flavus* im Verhältnis zu anderen *Aspergillus*-Arten im Boden, wie ein Vergleich zu Bodenproben von Flächen ohne Trockenstress ergab (HORN et al., 1995). Möglicherweise kommt es in Abhängigkeit vom Trockenstress auch zu einer Verschiebung beim Spektrum auftretender Stämme von *A. flavus* an Mais (HORN et al., 2014). Mit Abnahme der Wasserverfügbarkeit traten in den Untersuchungen von HORN et al. (2014) mehr Sklerotien des S-Stammes als des L-Stammes von *A. flavus* an den auf Feldern geernteten Maiskolben auf (=Einteilung nach Morphologie der Sklerotien, Aflatoxin B1 und B2 wird von beiden Stämmen gebildet, Aflatoxin G1 und G2 nur vom S-Stamm).

Ursächlich für den unter Trockenheit steigenden Befall mit *Aspergillus*-Arten ist eine erhöhte Anfälligkeit von Maispflanzen für *A. flavus* und *A. parasiticus* infolge des Trockenstresses (MAGNUSSEN und PARSI, 2013). So führte der heiße und trockene Sommer 2003 in Italien dazu, dass die Maispflanzen Trockenstress hatten und sich der Wachstumszyklus verkürzte. Diese Bedingungen fördern den Pilz *A. flavus* (PIVA et al., 2006).

Auch die Kontamination der Maispflanze mit Aflatoxinen ist unter den Bedingungen von Hitze und Trockenheit erhöht (HORN et al., 1995; FAKHOURY und WOLOSHUK, 2001; ABBAS et al., 2002; MAGNUSSEN und PARSI, 2013; SHAN und WILLIAMS, 2014). Das betraf sowohl Vorkommen als auch Menge von Aflatoxinen in den Kolben vor der Ernte (BETRAN und ISAKEIT, 2004). 75% der in Italien im heißen und trockenen Sommer 2003 untersuchten Proben enthielten Aflatoxin B (PIVA et al., 2006). Die Temperaturen vor einer Inokulation des Maises mit *A. flavus* haben einen signifikanten Effekt auf die Kontamination mit Aflatoxinen. Steigende tägliche Temperaturmaxima 14 Tage vor und nach der Inokulation erhöhen die Mykotoxinbelastung (WINDHAM et al., 2009).

Häufige Perioden von Trockenheit und Dürre sowie von Hitzestress während der generativen Phase des Maises führen zu steigender Kontamination des Maises mit Aflatoxinen durch den Pilz *A. flavus* (KEBEDE et al., 2012). Es scheint eine Sortenabhängigkeit und wechselseitige Bedingtheit von Hitze- bzw. Trockenstressanfälligkeit und Aflatoxingehalt zu geben: Hitzestress erhöht zwar die Anfälligkeit von Mais sowohl für eine Aflatoxin- als auch eine Fumonisin-Belastung deutlich, aber in aflatoxinresistenten Linien war für beide Toxine eine signifikante Reduktion des Gehaltes festzustellen (ABBAS et al., 2002). Aflatoxinresistenz einer Sorte kann jedoch auch zulasten ihrer Hitze- und Trockenheitsresistenz gehen: Eine Zuchtlinie, die eine Aflatoxinresistenz besaß, war die am meisten durch Hitze oder Trockenheit gestresste Pflanze. Bis auf diese Ausnahme zeigen die Ergebnisse, dass die Stressreaktionen gegen die abiotischen Faktoren mit der Höhe der Aflatoxinkonzentration zusammenhängen (KEBEDE et al., 2012). Die Sorte, welche am tolerantesten gegen Hitze und Trockenheit war, hatte den niedrigsten Aflatoxingehalt (KEBEDE et al., 2012). Genexpressionsuntersuchungen in sich entwickelnden Maiskörnern zeigten, dass mit der Abwehr von *A. flavus*-Infektionen in Beziehung stehende Gene durch abiotische Stressoren hoch oder runter geregelt werden können (GUO et al., 2008).

Trockenstress kann offenbar auch Abwehrreaktionen der Maispflanze auf nachfolgenden biotischen Stress induzieren: Das Phytoalexin Kauralexin wird in Reaktion auf Trockenheit in den Wurzeln verstärkt gebildet, was wiederum die Induktionskapazität und Ansammlung für andere Phytoalexine in oberirdischen Pflanzenteilen begünstigt, wenn dort zusätzlich biotische Stressoren wirken, z.B. ein Befall mit *F. verticillioides* (VAUGHAN et al., 2015).

Auch *Fusarium* sp. werden durch höhere Temperaturen, und im Falle von *F. verticillioides* ebenso durch Trockenheit gefördert (MILLER, 2001 und 2008; BRUNS, 2003; PARSONS und MUNKVOLD, 2010).

Sowohl *F. graminearum* als auch *F. verticillioides* befallen Mais und rufen dort eine Stängel- bzw. Kolbenfäule hervor. Bei Temperaturen von 25–28°C wird *F. graminearum* an Mais (Stängelfäule des Maises) begünstigt und wenn genug Regen fällt, ist dieser Pilz, der bei höheren Temperaturen sein Wachstum einstellt, *F. verticillioides* überlegen. Bei Trockenheit und höheren Temperaturen

wird *F. verticillioides* gefördert (REID et al., 1999; MILLER, 2001). *F. verticillioides* bildet Fumonisin. Fumonisin kann gleichfalls von *F. proliferatum* abgesondert werden. Die *Fusarium*-Kolbenfäule des Mais wird durch *F. verticillioides* und *F. proliferatum* verursacht. Dürre erhöht die Fumonisin-Bildung und viele Studien zum natürlichen Vorkommen von Fumonisin belegen, dass die Dürre eher von Bedeutung ist als Temperaturstress (REID et al., 1999). DE LA CAMPA et al. (2005) untersuchten kritische Phasen in der Maisentwicklung. Die erste für die Fumonisinakkumulation kritische Phase ist die Zeitspanne von 4 bis 10 Tagen vor dem „silking“ (= Erscheinen der Narbenfäden zur Blüte, BBCH 63), Temperaturen von unter 15°C und über 34°C reduzieren die Fumonisinbildung. Bei Regen und vorherrschenden Temperaturen innerhalb des Bereichs der normalen Wachstumstemperaturen von 15–34°C ist die Fumonisinakkumulation erhöht. In der „silking“-Periode folgenden Woche erhöht Regen die Fumonisinbildung gleichfalls, wenn Temperaturen im Bereich der normalen Wachstumstemperaturen liegen. Danach jedoch wird der Fumonisingehalt durch leichten Trockenstress erhöht.

Trockenstress begünstigt also *F. verticillioides*. Weil aber Trockenheit auch zu größeren Insektenschäden an Mais führt, kann man die Ursachen einer Förderung des Befalls mit *F. verticillioides* durch direkte Wirkung der Trockenheit und indirekte über eine Zunahme der Schädigung des Gewebes durch Insekten (Eintrittspforten) nicht klar trennen (MILLER, 2001). Ein Insektenbefall ist signifikant mit dem Befall durch *F. verticillioides* und der Mykotoxinbelastung korreliert, am stärksten mit einem Befall durch Thrips (PARSONS und MUNKVOLD, 2010), aber auch Insektenfraß an sich entwickelnden Maiskörnern z.B. durch den Altweltlichen Baumwollkapselwurm, *Helicoverpa armigera* (BRUNS, 2003). Managementinstrumentarien wie Sortenresistenz und Aussaattermin beeinflussen den Befall mit Insekten, *F. verticillioides* und die Mykotoxinbelastung: Insektenresistentere Hybride waren weniger stark vom Pilz befallen und hatten eine geringere Fumonisin B1-Belastung. Eine spätere Aussaat führte zu einem höheren Befall mit Thripsen und mit *F. verticillioides* sowie einer höheren Fumonisin B1-Belastung (PARSONS und MUNKVOLD, 2010). Schäden durch Insekten verändern anscheinend das Spektrum der Resistenzgenexpression im Vergleich zu nicht geschädigten Kolben. Korrelationsanalysen zeigen Expressionsunterschiede bei einigen Resistenzgenen, von denen kürzlich berichtet wurde, dass sie mit dem Mykotoxinlevel stark assoziiert sind (DOWD und JOHNSON, 2015).

Konkurrenz durch Unkräuter sowie sehr dichte Bestände sind, neben Hitze und Trockenheit, Insektenbefall und Sortenresistenz weitere Faktoren, welche einen Befall mit mykotoxinbildenden Pilzen wie *A. flavus*, *A. parasiticus* und *F. moniliforme* bzw. die Mykotoxinproduktion beeinflussen können. Das erzeugt Stress für die Maispflanze und begünstigt eine Infektion der Körner (BRUNS, 2003).

Ein vermuteter Zusammenhang zwischen Resistenzeigenschaften (biotisch und abiotisch) und Mykotoxinge-

halt des Mais wurde oben schon für *Aspergillus* sp. dargestellt. Die Untersuchungen von DOWD und JOHNSON (2015) zeigen, dass die Expression einer Vielzahl resistenzassoziierter Gene in Popcornmais und in Zahnmais in Perioden von Hitze und Trockenheit reduziert ist. Interessanterweise können die Anzahl und Anteile dieser Veränderungen durch Schäden beeinflusst sein, die von Insekten verursacht werden. Auch Popcornmais zeigt erhöhte Mykotoxinbelastung unter Stress, wenn auch nicht so ausgeprägt wie Zahnmais (Anmerkung: Popcornmais hat generell weniger Mykotoxinbelastung unter vergleichbaren Bedingungen). Eine Genanalyse wurde durchgeführt, um die Genexpression von krankheitsassoziierten Resistenzgenen von Körnern im Milchreifstadium zu ermitteln. In Jahren mit hohen Temperaturen und Trockenheit wurde eine vergleichsweise geringe Genexpression von Resistenzgenen festgestellt, was mit früheren Ergebnissen vieler Studien übereinstimmt. Solche niedrigen Expressionsraten gab es für Gene die Chitinasen, Proteaseinhibitoren und Peroxidasen kodieren, die als Enzyme in die Synthese von Zellwandbarrieren und Sekundärmetaboliten eingebunden sind und für Regulatorproteine. Die Expression spezifischer Resistenzgene, die mit der Mykotoxinbildung einhergehen, wie z.B. mit der von Aflatoxin im Zahnmais, war jedoch nicht beeinflusst (DOWD und JOHNSON, 2015).

Starkregen und Schadpilze an Mais

Starkregenereignisse 21 bis 42 Tage vor der Inokulation sowie im Zeitraum 14 bis 28 Tage bzw. 21 bis 42 Tage nach der Inokulation minderten die Mykotoxinbelastung durch *A. flavus* in Feldversuchen mit künstlicher Inokulation, auch wenn die Temperaturen erhöht waren (WINDHAM et al., 2009).

Gerste

Deutlich weniger Treffer ergab die Recherche für Gerste: 46 Treffer bei insgesamt 577.980 abgefragten Einzelkombinationen aus Kultur + Schaderregerbegriff + Extremum im Erhebungszeitraum. 11 Arbeiten konnten nach Analyse und Bewertung weiter verwendet werden. 117 eingegebene Schaderregerbegriffe aus allen Schaderregergruppen führten lediglich bei Schadinsekten (9 Arbeiten), Schadpilzen (1 Arbeit) und Viren (2 Arbeiten) zu Funden hinsichtlich der Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf diese Schaderreger bzw. den durch sie verursachten Schaden an Gerste. Diese Arbeiten befassten sich mit den Einflüssen von Dürre/Trockenheit (10 Arbeiten), Überflutung (1 Arbeit) und Staunässe (1 Arbeit).

Schadinsekten an Gerste

Bei den hinsichtlich ihrer Beeinflussung durch Extremwetterereignisse untersuchten Schadinsekten an Gerste handelt es sich ausschließlich um Blattläuse:

- Haferblattlaus *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus) (PONDER et al., 2001; JOHNSON et al., 2011; ASLAM et al., 2013),

- Russische Weizenblattlaus *Diuraphis noxia* (Mordvilko) (RIEDEL, 1989; OSWALD und BREWER, 1997; STARY und LUKASOVA, 2002; MORNHINWEG et al., 2012),
- Grüne Maisblattlaus *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) (OSWALD und BREWER, 1997).

Trockenheit, Dürre und Schadinsekten an Gerste

Zur Wirkung von Trockenheit auf den Befall der Gerste mit Blattläusen gibt es nur wenige Informationen. Je nach Blattlausart zeigten die Blattläuse unterschiedliche Reaktionen:

Unter Wassermangelstress wiesen Gerstenpflanzen in Feld- und Gewächshausversuchen in den USA eine erhöhte Befallsdichte mit *D. noxia* im Vergleich zu Pflanzen mit ausreichender Wasserversorgung auf (OSWALD und BREWER, 1997). Der Befall mit der Grünen Maisblattlaus *R. maidis* nahm hingegen bei Wassermangel ab im Vergleich zu Pflanzen, die bei ausreichender Wasserversorgung wuchsen (OSWALD und BREWER, 1997). Vermutlich sind diese Einflüsse der Trockenheit auf die Wirkungen des Wassermangels auf die Pflanze selbst zurückzuführen, d.h. die Blattläuse werden indirekt beeinflusst. Zu den genannten beiden Arten gibt es keine weiterführenden Untersuchungen an Gerste unter Wassermangel zu diesem Aspekt.

Die Anzahl von *R. padi* war durch die Trockenheit nicht verändert, aber die Populationszusammensetzung veränderte sich erheblich (ASLAM et al., 2013). An Pflanzen, die unter Trockenheit wuchsen, betrug der Anteil Adulter 41%, der Nymphen 56%. Bei Gerstenpflanzen, die beregnet wurden, waren es nur 26% Adulter und 69% Nymphen. Das deutet darauf hin, dass sich die Entwicklungsraten der Blattläuse unter Trockenstress verändern (ASLAM et al., 2013). JOHNSON et al. (2011) hingegen beobachteten, dass Trockenheit die Blattlausabundanz von *R. padi* um 50% minderte, in unkrautfreier Gerste war dieser Effekt noch stärker.

Für *R. padi* an jungen Gerstenpflanzen konnte gezeigt werden, dass Wassermangel im Vergleich zu ausreichender Wasserversorgung die Nahrungsaufnahme der Haferblattlaus nicht beeinflusste. Kam aber noch Stickstoffmangel dazu, war die individuelle Periode der Salivation der Blattläuse größer (PONDER et al., 2001).

Die Auswirkungen von Trockenheit auf die Befallsdichte scheinen auch von der Anfälligkeit der Sorten abzuhängen: Moderat anfällige und anfällige Sorten hatten einen stärkeren Befall mit *D. noxia* und Wassermangel verstärkte diesen Trend (OSWALD und BREWER, 1997). Eine Lösung für dieses Problem könnte die Züchtung von Sommergerste-Sorten, die sowohl gegen Trockenheit als auch die Russische Weizenblattlaus (*D. noxia*) resistent sind, sein. Dies ist gelungen (bekannt für USA/Schottland/Australien) (MORNHINWEG et al., 2012).

Eine Förderung des Befalls mit *D. noxia* infolge der kombinierten Wirkung von Trockenheit und Hitze bestätigten STARY und LUKASOVA (2002) an Sommergerste. In Hitzeperioden nahmen Schäden (Wachstumsminderung, Ertragsverluste von 30–40%) durch die Russische Weizenblattlaus an Sommergerste zu, wenn die Hitzeperio-

den, verbunden mit Trockenheit in der Mitte der Frühlingszeit sowie im Frühsommer auftraten (STARY und LUKASOVA, 2002). Auch von *R. padi* wird eine Zunahme der Schäden bei kombinierter Wirkung von Trockenheit und Blattlausbefall berichtet: Trockenheit reduzierte die Trockenmasse der Gerste um 33%, Blattlausbefall um 39%, die Stickstoffkonzentration in Blättern und Wurzel wird durch Trockenheit um 13% reduziert, durch Blattlausbefall um 28%. Die Konzentration der Blattaminosäuren sowie ihre Zusammensetzung waren unverändert (ASLAM et al., 2013).

Ein Befall mit der russischen Weizenblattlaus scheint die Fähigkeit der Gerste zu beeinträchtigen, die Folgen des Trockenstresses auch bei späterer ausreichender Wasserversorgung zu überwinden. Das Blattwachstum der Gerste war nach Infektion und Trockenstress trotz später ausreichender Wasserversorgung beeinträchtigt. Mit Blattläusen befallene Gerstenblätter hatten auch ohne Trockenstress einen niedrigeren Blattwassergehalt, niedrigere Chlorophyllgehalte und höhere Werte an Aminostickstoff, Prolin und Betaglycin als Blätter von nicht-befallenen Pflanzen. Untersuchungen an 14 Tage alten Gerstenpflanzen deuten darauf hin, dass ein Befall mit der Russischen Weizenblattlaus auch bei ausreichender Wasserversorgung über die Wurzeln Trockenstresssymptome in Blättern induziert (RIEDEL, 1989).

Viren an Gerste

Aus lediglich zwei vorliegenden Arbeiten zu Trockenheit und Hitze bzw. einer Überflutung auf das Gerstengelverzweigungsvirus (BYDV, *Barley yellow dwarf virus*) können keine verallgemeinernden Schlussfolgerungen gezogen werden. Die Kernaussagen werden daher nur dargestellt.

SIP et al. (2004) beobachteten bei Trockenheit und/oder hohen Temperaturen eine Abnahme der Wirksamkeit des Resistenzgens *Yd2*, welches Sommergerste tolerant gegenüber BYDV macht. Der Befall nahm dann wieder zu.

Überflutung reduziert die Kältehärtigkeit in Gerste um 8 °C (ANDREWS und PALIWAL, 1986). Eine alleinige Infektion mit BYDV mindert die Kältehärtigkeit um 1–2 °C. Die Kombination aus Überflutung und Infektion mit BYDV wirkt verstärkend: Eine alleinige Infektion mit BYDV hatte nur einen geringen Effekt auf die Vereisungstoleranz der Gerste, eine Überflutung aber reduzierte die Vereisungstoleranz der Gerste. Wirkten Überflutung und Infektion mit BYDV zusammen, war die Vereisungstoleranz der Gerste beträchtlich reduziert. Zur Reife wiesen die gefluteten und mit BYDV befallenen Gerstenpflanzen eine geringere Bestandesdichte insgesamt und auch eine geringere Anzahl ährentragender Halme auf, als die ungestressten Kontrollen. Der Kornertrag der Gerste war durch Überflutung um 45% reduziert und durch BYDV-Befall um 60% (Gefäßversuche, kontrollierte Bedingungen, ANDREWS und PALIWAL, 1986).

Schadpilze an Gerste

In der für Gerste aufgefundenen einzigen Arbeit zur Wirkung von Extremwetterereignissen auf Pilzkrankheiten

der Gerste wurden die Wirkungen von Trockenheit während des Auflaufens sowie von späterer ausreichender Wasserversorgung oder von Staunässe auf den durch einen Befall mit *Cochliobolus sativus* (Ito und Kuribayashi) Dastur) sowie *Fusarium culmorum* (W.G. Smith) Saccardo), beide als Erreger von Wurzelfäulen der Gerste bekannt, verursachten Schaden untersucht.

Bei Befall mit *C. sativus* bzw. *F. culmorum* waren die Anzahl aufgelaufener Pflanzen und die Anzahl ährentragender Halme von Sommergerste im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle reduziert. Der Ertrag der Gerste war bei Trockenheit und Befall mit den Wurzelfäuleerregern ohne spätere ausreichende Wasserversorgung infolge der geringeren Bestandesdichte gemindert. Bei späterer Wasserversorgung (normal und zu viel) kompensierten die Pflanzen die geringere Bestandesdichte und geringere Anzahl ährentragender Halme durch eine höhere Kornmasse. Normale oder auch zu hohe Wasserversorgung und Befall führten nicht zur Ertragsreduktion (GREY et al., 1991). Die Befallsstärke war in den Varianten unter Trockenheit im Vergleich zu denen mit normaler und übermäßiger Beregnung höher. Das bedeutet, Trockenheit sowie die unter diesen Bedingungen erhöhte Befallsstärke mit dem Erreger der Wurzelfäule und Braunfleckigkeit der Gerste führen zu Kornertragsverlusten, wobei die aber durch eine spätere Beregnung gemildert werden können (GREY et al., 1991).

Diskussion

Für die recherchierten Getreidearten Weizen, Mais und Gerste konnten 78 Arbeiten zur vertiefenden Auswertung verwendet werden. Mehr als die Hälfte der gewonnenen Informationen bezieht sich auf die Beeinflussung der Schaderregergruppe der phytopathogenen Pilze (ca. 56 Prozent) durch Extremwetterereignisse, 41 Prozent entfallen auf Insekten, dort hauptsächlich Blattläuse, und 3 Prozent auf Viren. Zu allen anderen Schaderregergruppen konnten keine Informationen ermittelt werden. Pilzkrankheiten und Schadinsekten spielen im Getreide eine große Rolle und die Einflüsse von Extremwetterereignissen wurden daher sicherlich auch verstärkt bei diesen Gruppen untersucht. Bei den Pilzkrankheiten des Getreides sind für Mais und Weizen zusätzlich Fragen der Mykotoxinbelastung des Erntegutes nach Befall mit *Fusarium*- oder *Aspergillus*-Arten von Bedeutung. Mehr als ein Drittel der Arbeiten (ca. 38 Prozent) untersuchten Einflüsse von Extremwetterereignissen auf diese beiden Spezies. Rostpilze und Fußkrankheiten des Getreides, von denen bereits bekannt ist, dass sie durch den Klimawandel beeinflusst werden, wurden hinsichtlich des Einwirkens von Extremwetterereignissen jedoch kaum untersucht. Blattläuse sind bei Weizen und Gerste wichtige Schaderreger, nicht nur aufgrund ihrer schädigenden Saugtätigkeit an den Kulturpflanzen, sondern weil sie Viren übertragen sowie Eintrittspforten für einen nachfolgenden Befall mit Krankheiten schaffen können. Beim Mais spielen eher Schadinsekten wie der Maiszünsler, der

Westliche Maiswurzelbohrer sowie die in Deutschland noch nicht auftretenden Schadinsekten der Gekrümmte Gurkenkäfer und der Graue Maisrüssler eine Rolle und wurden daher auch in Hinblick auf eine Beeinflussung durch Extremwetterereignisse untersucht.

Der Schwerpunkt hinsichtlich der Art der untersuchten Extrema lag bei den Einflüssen von **Trockenheit** bzw. **Dürre** (ca. 83 Prozent) sowie **Hitze** (ca. 20 Prozent), häufig in Kombination auftretend und untersucht. Weiterhin von Bedeutung sind offensichtlich **Starkregen**-Ereignisse (ca. 12 Prozent der Arbeiten) in Verbindung mit **Überflutungen** (ca. 6 Prozent der Arbeiten).

Trockenheit, Dürre und **Hitze** spielen weltweit in vielen Regionen bereits eine große Rolle und nehmen im Zuge des Klimawandels zu (IPCC, 2013). Auch für Deutschland wird eine Zunahme dieser Extremwetterereignisse erwartet. Projektionen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) zeigten, dass die Anzahl der Tage mit einem Bodenwassergehalt von unter 50% der nutzbaren Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (bis 60 cm) des Wintergetreides bereits seit 1961 in den Monaten Juni, Juli August zugenommen hat und weiterhin steigen wird (GÖMANN et al., 2015). Juni, Juli und August fallen in die Zeit der generativen Phase des Wintergetreides: Blüte und Kornfüllung finden statt. In dieser Zeitphase, insbesondere während der Blüte, ist Weizen gleichfalls für eine Infektion und Befallsausbreitung mit *Fusarium* sp. sensibel. Die Mykotoxinbelastung infolge eines *Fusarium*-Befalls kann bei Trockenheit und Hitze vor und in der Erntezeit erhöht sein, muss es aber, auch bei erhöhtem Befall, nicht zwingend sein. Das beeinflussen neben der *Fusarium*-Art auch der Zeitpunkt des Befalls und die Regenfälle in der Vorerntephase. Beim Mais hingegen deuten alle bisherigen Literaturfunde darauf hin, dass Trockenheit/Dürre und Hitze den Befall mit *Aspergillus*-Arten und die Aflatoxinbelastung erhöhen. Zu überlegen wäre, ob Prognosemodelle für *Fusarium*- oder *Aspergillus*-Arten auch eine Komponente enthalten sollten, welche die mögliche resultierende Mykotoxinbelastung in Abhängigkeit von meteorologischen Parametern, inklusive Extrema abbildet. Trockenheit und Dürre können in der Ontogenese-Blüte/Kornentwicklung des Weizens auch durch einige Blattlausarten wie *Schizaphis graminum* verursachte Schäden verstärken. Daher gibt es auch Ansätze, Regressionsfunktionen für Ertragsschätzungen bzw. die -verlustschätzung für trockene und normale Wachstumsbedingungen in unterschiedlichen Varianten zu entwickeln und anzuwenden. Befall und Schaden durch Blattläuse an Weizen werden aber ebenso durch Resistenzeigenschaften der Sorten sowohl gegenüber dem Stress durch Extrema als auch durch Blattläuse generell, bedingt durch die Anpassungsfähigkeit der Blattläuse, stark modifiziert. Letztere wiederum hängt unter anderem von der Herkunft der Blattläuse, dem jeweiligen Stamm, der Stärke des abiotischen Stresses, dem Vorhandensein eines Vorstresses und der Dauer der möglichen Anpassungsphase ab. Der mögliche Schaden für die Kulturpflanze ist wiederum von der Art und Stärke der wirkenden Stressoren und der Ontogenese-Blüte/Kornentwicklung des Weizens, in der sich die Kultur-

pflanze befindet, sowie weiteren, ihr Kompensationsvermögen beeinflussenden, Faktoren bestimmt. Diese Aussagen zum möglichen Schaden gelten für alle Kulturpflanzen und deren Interaktionen mit allen Schaderregern sowie den verschiedenen Extremwetterereignissen. Einzelne und/oder multiple Stressoren müssen nicht zwingend negativ auf Schaderreger, Kulturpflanzen und/oder den Schaden an Kulturpflanzen wirken. Sie können sich in ihrer Wirkung auch aufheben oder sogar das Leistungsvermögen der Pflanze stimulieren, solange nicht ein kritischer Grenzwert des Adaptionsvermögens erreicht wird.

Weiterhin war in Deutschland in den letzten 15 Jahren eine Zunahme der **Frühjahrstrockenheit** zu verzeichnen, insbesondere im April. In Abhängigkeit von gefallenen Winterniederschlägen kann hier auch die Nährstoffverfügbarkeit aus Düngern beeinträchtigt sein (GÖMANN et al., 2015). Multiple Regressionsanalysen für 16 komprimierte Bodenklimaräume (BKR) (ROSSBERG et al., 2007), auf denen als Regionscluster Modelle aufgesetzt wurden, um den Einfluss extremer Wetterlagen auf betriebliche Weizenenerträge aus dem Testbetriebsnetz des Thünen-Institutes abzuschätzen, zeigten, dass in den meisten BKR eine höhere Anzahl an Nässetagen vor und im Saatzeitraum zu geringeren Erträgen führten (GÖMANN et al., 2015). Phytopathologen ist allgemein bekannt, dass schlechter mit Nährstoffen versorgte Pflanzen von einigen Schaderregern leichter befallen werden, oder verursachte Schäden schlechter kompensiert werden können. Einige Schaderreger wie z.B. Mehltau oder einige Blattlausarten gedeihen jedoch auf gut versorgten Pflanzen besser. *Fusarium*-Arten können in den Entwicklungsphasen Keimung und Auflaufen beim Weizen diesen befallen und relevante Schäden verursachen. Trockenheit/Dürre kann diesen Befall begünstigen und die Schäden verstärken.

Die Anzahl der **Hitzetage** mit Temperaturen von über 30°C hat bereits in der Vergangenheit in Deutschland deutlich zugenommen und dieser Trend hält Projektionen zufolge an. Drei- bis vierfach erhöht soll die Anzahl der Hitzetage im Juni bzw. Juli Ende dieses Jahrhunderts sein (Referenzperiode 1961–1990); im Mai können sie sogar 12 mal so häufig auftreten (GÖMANN et al., 2015). Schätzungen mit dem oben beschriebenen multiplen Regressionsmodell für die BKR, betriebliche Weizenenerträge und Extremwettervariablen zeigten die negative Wirkung einer steigenden Anzahl von Hitzetagen auf Weizenenerträge, vor allem für Ostdeutschland (GÖMANN et al., 2015).

Klimaprojektionen für das Auftreten von **Starkregen** (Tage mit mehr als 20 mm, keine Angaben zur Intensität, z.B. pro Zeiteinheit) und Dauerregen (mehr als 5 mm pro Tag) sind durch große Schwankungen gekennzeichnet, d.h. es werden mögliche Ausschläge in beide Richtungen gezeigt. Wahrscheinlich wird Dauerregen aber flächendeckend abnehmen und Starkregenereignisse sollen insbesondere in den Wintermonaten zunehmen (GÖMANN et al., 2015). Zur Erntezeit erhöhen Regenfälle die Feuchtigkeit der Ähren und Körner. Extreme Niederschläge

können die Ernte auf den betroffenen Flächen unmöglich machen oder zu Qualitätsverlusten bis hin zum Auswaschen der Körner auf dem Halm führen (GÖMANN et al., 2015). Starkregen spielt aus phytopathologischer Sicht eine Rolle bei der Mykotoxinbelastung des Erntegutes in Mais und Weizen, bei der Ausbreitung und Entwicklung von Wurzelfäulen in Gerste und Weizen, aber auch für die Überlebensfähigkeit von Blattläusen bzw. deren Ausbreitung. Eine hemmende oder fördernde Wirkung von Starkregenereignissen auf die Mykotoxinbelastung der Mais- und Weizenkörner hängt u.a. vom Zusammenspiel der Faktoren Ontogenese-Infektionszeitpunkt sowie Zeitpunkt, Dauer und Intensität des/der Starkregenereignisse ab.

Kahlforst war bei Weizen hinsichtlich der Überlebensfähigkeit von *Fusarium*-Sporen von Interesse.

Zu den Auswirkungen von **Staunäse, Hagel, Starkfrost, Frühfrost, Spätfrost, Sturm, Nassschnee** und/oder **Strahlung** auf die Schaderreger von Weizen, Gerste und Mais konnten keine Informationen gefunden werden. Hagelschläge können ganze Getreideschläge vernichten, Sturm zur Lagerung auch größerer Teile eines Getreideschlagens führen. In letzterem Fall ist allgemein bekannt, dass in dem dann flach auf dem Boden liegenden Getreide Pilzkrankheiten, auch normalerweise nicht schädigend wirkende Schwächeparasiten, begünstigt werden. Dieses Erfahrungswissen schlug sich aber nicht mit quantifizierten Aussagen zu Befallsstärken, befallsbedingten Ertragsverlusten oder Stärke des wirkenden Extremwetterereignisses „Sturm“, „Hagel“ in der Fachliteratur nieder. Zum einen wohl weil schlagspezifische Messdaten für Hagel und Sturm nicht zur Verfügung stehen, zum anderen weil zumindest im Falle einer technischen Nichtbeerntbarkeit des Schlagens die befallsbedingten Ertragsverluste nicht mehr von Interesse sind.

Für die Getreidearten Weizen, Mais und Gerste wurden vergleichsweise viele vertiefend auswertbare Arbeiten zum Einfluss von Extremwetterereignissen auf Schaderreger, den durch sie verursachten Schaden und Pflanzenschutzmaßnahmen gefunden: zwei Drittel der für Ackerbaukulturen insgesamt gefundenen, für unsere Zwecke aussagefähigen, Arbeiten entfielen auf diese Kulturen. Dies ergab eine Reihe von Hinweisen zu möglichen Einflüssen auf Schaderreger, den Befall der Kulturpflanzen und ihre Leistungsfähigkeit. Vereinzelt Hinweise auf die Beeinflussung von Pflanzenschutzmaßnahmen wurden gleichfalls gefunden (ausführliche Darstellung in SEIDEL, 2016a). Insgesamt sind die Informationsdichte und vorhandene Datenmenge aber noch zu gering, um zu verallgemeinern, Schlussfolgerungen für den praktischen Pflanzenschutz zu ziehen oder auch nur ein einigermaßen vollständiges Verständnis für das Wirken von Extremwetterereignissen auf pflanzenschutzrelevante Sachverhalte zu entwickeln. Es ist unbedingt erforderlich, die Forschung zu diesen Fragen zu verstärken und zu systematisieren, aber auch mehr Primärdaten zu gewinnen. Wie unter SEIDEL (2016a) dargestellt, sollte dies in einem gut abgestimmten Ansatz von experimentellen Arbeiten und einer innovativen Modellentwicklung für

Schaderreger, Kulturpflanzen, Pflanzenschutz und Interaktion dieser Komponenten bei Berücksichtigung wichtiger Extremwetterereignisse erfolgen. Dabei wäre auch folgende Überlegung zu berücksichtigen: Die wenigen bisher vorhandenen Daten zum Einfluss von Extrema verteilen sich auf viele Schaderreger und deshalb ist es auch nicht möglich, Prognose- bzw. Simulationsmodelle für Schaderreger und damit Aussagen zu Extrema weiter zu entwickeln. Derzeit vorhandene Schaderregermodelle bilden Extrema häufig nicht ab bzw. berücksichtigen diese nicht. Funktionale Zusammenhänge, die ihnen zu Grunde liegen, wurden häufig für Messbereiche abgeleitet, die wahrscheinlich eintretende Extrema, z.B. Tagestemperaturmaxima von über 30°C, nicht enthielten. Ebenfalls unberücksichtigt in Schaderregermodellen ist die bisher kaum beachtete und damit wenig erforschte Frage, wie sich erhöhte Nachttemperaturen auf Schaderreger und befallene Pflanzen auswirken können. Erhöhte Nachttemperaturen wurden zwar nicht vom IPCC (2012) den Extremwetterereignissen zugerechnet. Die Anzahl der tropischen Nächte (Temperaturen unterschreiten 20°C nicht) aber ist bereits gestiegen und wird sich wohl auch weiter erhöhen. Viele physiologische Prozesse in Lebewesen sind Temperatur gesteuert und auch Temperaturwechsel, wie zwischen Tag und Nacht, spielen eine Rolle. Weiterhin werden in den Schaderregermodellen Extrema wie Hagel oder Sturm nicht abgebildet. Niederschlags- und Feuchtigkeitswerte wurden, wenn in den Modellen abgebildet, häufig auch nur für normale Messbereiche ohne Extrema integriert. Aussagen können mittels funktionaler mathematischer Zusammenhänge nur für Messbereiche abgeleitet werden, die in die Entwicklung dieser mathematischen Funktion einfließen. Extrapolationen über den Messbereich hinaus, also z.B. für noch nicht erfasste Extrema, sind nicht zulässig. Der funktionale Zusammenhang könnte ein veränderter sein. Fazit: Es gibt viel zu tun. Die Forschungsarbeiten befinden sich noch in der Startphase.

Literatur

- ABBAS, H.K., W.P. WILLIAMS, G.L. WINDHAM, H.C. PRINGLE, W.P. XIE, W.T. SHIER, 2002: Aflatoxin and fumonisin contamination of commercial corn (*Zea mays*) hybrids in Mississippi. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **50** (18), 5246-5254.
- ANDREWS, C.J., Y.C. PALIWAL, 1986: Effects of barley yellow dwarf virus infection and low temperature flooding on cold stress tolerance of winter cereals. *Canadian Journal of Plant Pathology* **8**, 311-316.
- ARAYA, J.E., 1991: Cereal aphid survival under flooding conditions. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* **98** (2), 168-173.
- ARCHER, T.L., E.D. BYNUM, A.B. ONKEN, C.W. WENDT, 1995: Influence of water and nitrogen-fertilizer on biology of the Russian wheat aphid (Homoptera, Aphididae) on wheat. *Crop Protection* **14** (2), 165-169.
- ASLAM, T.J., S.N. JOHNSON, A.J. KARLEY, 2013: Plant-mediated effects of drought on aphid population structure and parasitoid attack. *Journal of Applied Entomology* **137** (1-2), 136-145.
- BEDDIS, A.L., L.W. BURGESS, 1992: The influence of plant water-stress on infection and colonization of wheat seedlings by *Fusarium-graminearum* Group-1. *Phytopathology* **82** (1), 78-83.
- BETRAN, F.J., T. ISAKEIT, 2004: Aflatoxin accumulation in maize hybrids of different maturities. *Agronomy Journal* **96** (2), 565-570.
- BETHENOD, O., L. HUBER, H. SLIMI, 2001: Photosynthetic response of wheat to stress induced by *Puccinia recondita* and post-infection drought. *Photosynthetica* **39** (4), 581-590.
- BEYER, M., J.A. VERREET, 2005: Germination of *Gibberella zeae* ascospores as affected by age of spores after discharge and environmental factors. *European Journal of Plant Pathology* **111** (4), 381-389.
- BEYER, M., S. RODING, A. LUDEWIG, J.A. VERREET, 2004: Germination and survival of *Fusarium graminearum* macroconidia as affected by environmental factors. *Journal of Phytopathology* **152** (2), 92-97.
- BRUNS, H.A., 2003: Controlling aflatoxin and fumonisin in maize by crop management. *Journal of Toxicology-Toxin Reviews* **22** (2-3), 153-173.
- CLEAR, R.M., S.K. PATRICK, D. GABA, M. ROSCOE, T.K. TURKINGTON, T. DEMEKE, S. POULEUR, L. COUTURE, T.J. WARD, K. O'DONNELL, 2006: Trichothecene and zearalenone production in culture by isolates of *Fusarium pseudograminearum* from western Canada. *Canadian Journal of Plant Pathology* **28**, 131-136.
- DAI, P., D.G. LIU, X.Q. SHI, 2015: Impacts of Water Deficiency on Life History of *Sitobion avenae* Clones from Semi-arid and Moist Areas. *Journal of Economic Entomology* **108** (5), 2250-2258.
- DEBAEKE, P., T. AUSSENAC, J.L. FABRE, A. HILAIRE, B. PUJOL, L. THURIES, 1996: Grain nitrogen content of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) as related to crop management and to the previous crop. *European Journal of Agronomy* **5** (3-4), 273-286.
- DE FARIAS, A., K.R. HOPPER, F. LECLANT, 1995: Damage Symptoms and abundance of *Diuraphis noxia* (Homoptera, Aphididae) for four wheat cultivars at three irrigation levels. *Journal of Economic Entomology* **88** (1), 169-174.
- DE LA CAMPA, R., D.C. HOOKER, J.D. MILLER, A.W. SCHAAFSMA, B.G. HAMMOND, 2005: Modelling effects of environment, insect damage, and Bt genotypes on fumonisin accumulation in maize in Argentina and the Philippines. *Mycopathologia* **159**, 539-552.
- DORSCHNER, K.W., R.C. JOHNSON, R.D. EIKENBARY, J.D. RYAN, 1986: Insect-Plant Interactions: greenbugs (Homoptera: Aphididae) disrupt acclimation of winter wheat to drought stress. *Environ. Entomol.* **15** (1), 118-121.
- DOWD, P.F., E.T. JOHNSON, 2015: Environmental effects on resistance gene expression in milk stage popcorn kernels and associations with mycotoxin production. *Mycotoxin Research* **31** (2), 63-82.
- EIBLMEIER, P., J.L. VON GLEISSENTHALL, J. LEPSCHY, 2007: Risk evaluation of deoxynivalenol levels in Bavarian wheat from survey data. *Journal of Plant Diseases and Protection* **114**, 69-75.
- GILBERT, J., S. HABER, 2013: Overview of some recent research developments in fusarium head blight of wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology* **35** (2), 149-174.
- GÖMANN, H., A. BENDER, A. BOLTE, W. DIRKSMEYER, H. ENGLERT, J.-H. FEIL, C. FRÜHAUF, M. HAUSCHILD, S. KRENGEL, H. LILIENTHAL, F.-J. LÖPMEIER, J. MÜLLER, O. MUSSHOF, M. NATKHIN, F. OFFERMANN, P. SEIDEL, M. SCHMIDT, B. SEINTSCH, J. STEIDL, K. STROHM, Y. ZIMMER, 2015: Agrarrelevante Extremwetterlagen und Möglichkeiten des Risikomanagements. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMEL), Abschlussbericht: Stand 03.06.2015. Braunschweig, Thünen Report **30**, 312 S.
- FAKHOURY, A.M., C.P. WOLOSHUK, 2001: Inhibition of growth of *Aspergillus flavus* and fungal alpha-amylases by a lectin-like protein from *Lablab purpureus*. *Molecular Plant-Microbe Interactions* **14** (8), 955-961.
- GODFREY, L.D., T.O. HOLTZER, S.M. SPOMER, J.M. NORMAN, 1991a: European corn borer (Lepidoptera, Pyralidae) tunneling and drought stress: Effects on corn yield. *Journal of Economic Entomology* **84** (6), 1850-1860.
- GODFREY, L.D., T.O. HOLTZER, J.M. NORMAN, 1991b: Effects of European corn borer (Lepidoptera, Pyralidae) tunneling and drought stress on field corn gas-exchange parameters. *Journal of Economic Entomology* **84** (4), 1370-1380.
- GODFREY, L.D., J.M. NORMAN, T.O. HOLTZER, 1992: Interactive Effects of European corn borer (Lepidoptera, Pyralidae) tunneling and drought stress on field corn water relations. *Environmental Entomology* **21** (5), 1060-1071.
- GREY, W.E., R.E. ENGEL, D.E. MATRE, 1991: Reaction of spring barley to common root-rot under several moisture regimes – effect on yield components, plant stand and disease severity. *Canadian Journal of Plant Science* **71** (2), 461-472.
- GUO, B.Z., Z.Y. CHEN, R.D. LEE, B.T. SCULLY, 2008: Drought stress and preharvest aflatoxin contamination in agricultural commodity: Genetics, genomics and proteomics. *Journal of Integrative Plant Biology* **50** (10), 1281-1291.
- HARE, M.C., D.W. PARRY, 1996: Observations on the maintenance and measurement of soil water in simple pot experiments and its effects on seed-borne *Fusarium culmorum* seedling blight of winter wheat. *Annals of applied Biology* **129** (2), 227-235.

- HONEK, A., V. JAROSIK, L. LAPCHIN, J.M. RABASSE, 1998: The effect of parasitism by *Aphelinus abdominalis* and drought on the walking movement of aphids. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **87** (2), 191-200.
- HOOKE, D.C., A.W. SCHAAFSMA, L. TAMBURIC-ILINCIC, 2002: Using weather variables pre- and post-heading to predict deoxynivalenol content in winter wheat. *Plant Disease* **86**, 611-619.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2012: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Serial Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [FIELD, C.B., V. BARROS, T.F. STOCKER, D. QIN, D.J. DOKKEEN, K.L. EBI, M.D. MASTRANDREA, K.J. MACG, G.K. PLATTNER, S.K. ALLEN, M. TIGNOR, P.M. MIDGLEY (eds.)]. Cambridge, UK, and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 528 S.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2013: Summary for Policymakers. In: STOCKER, T.F., D. QIN, G.K. PLATTNER, M. TIGNOR, S.K. ALLEN, J. BOSCHUNG, A. NAUELS, Y. XIA, V. BEX, P.M. MIDGLEY: Climate change 2013: the physical basis. Contribution of the Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, New York, Cambridge University Press, 1-29.
- JUROSZEK, P., A. VON TIEDEMANN, 2013: Climate change and potential future risks through wheat diseases: a review. *European Journal of Plant Pathology* **136** (1), 21-33.
- GREY, W.E., R.E. ENGEL, D.E. MATHRE, 1991b: Reaction of spring barley to common root-rot under several moisture regimes - effect on yield components, plant stand and disease severity. *Canadian Journal of Plant Science* **71** (2), 461-472.
- HORN, B.W., R.L. GREENE, J.W. DORNER, 1995: Effect of corn and peanut cultivation on soil populations of *Aspergillus flavus* and *Aspergillus parasiticus* in Southwestern Georgia. *Applied and Environmental Microbiology* **61** (7), 2472-2475.
- HORN, B.W., R.B. SORENSEN, M.C. LAMB, V.S. SOBOLEV, R.A. OLARTE, C.J. WORTHINGTON, I. CARBONE, 2014: Sexual reproduction in *Aspergillus flavus* Sclerotia naturally produced in Corn. *Phytopathology* **104**, 75-85.
- JOHNSON, S.N., J.T. STALEY, F.A.L. MCLEOD, S.E. HARTLEY, 2011: Plant-mediated effects of soil invertebrates and summer drought on above-ground multitrophic interactions. *Journal of Ecology* **99** (1), 57-65.
- KALBERER, N., U. GISI, 1997: Effect of soil matric potential on sharp eyespot in germinating wheat following seed treatment. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* **160** (2), 195-199.
- KARLEY, A.J., W.E. PARKER, J.W. PITCHFORD, A.E. DOUGLAS, 2004: The mid-season crash in aphid populations: why and how does it occur? *Ecological Entomology* **29** (4), 383-388.
- KEBEDE, H., H.K. ABBAS, D.K. FISHER, N. BELLALOU, 2012: Relationship between Aflatoxin Contamination and Physiological Responses of Corn Plants under Drought and Heat Stress. *Toxins* **4** (11), 1385-1403.
- KINDLER, S.D., N.C. ELLIOTT, K.L. GILES, T.A. ROYER, R.R. FUENTES-GRANADOS, F. TAO, 2002: Effect of Greenbugs (Homoptera: Aphididae) on Yield Loss of Winter Wheat. *Journal of Economic Entomology* **95** (1), 89-95.
- KINDLER, S.D., N.C. ELLIOTT, K.L. GILES, T.A. ROYER, 2003: Economic injury level for the greenbug, *Schizaphis graminum*, in Oklahoma winter wheat. *Southwestern Entomologist* **28** (3), 163-166.
- MA, J., G.Y. DU, X.H. LI, C.Y. ZHANG, J.K. GUO, 2015: A major locus controlling malondialdehyde content under water stress is associated with *Fusarium* crown rot resistance in wheat. *Molecular Genetics and Genomics* **290**, 1955-1962.
- MAGNUSSEN, A., M.A. PARSI, 2013: Aflatoxins, hepatocellular carcinoma and public health. *World Journal of Gastroenterology* **19** (10), 1508-1512.
- MANN, J.A., G.M. TATCHELL, M.J. DUPUCH, R. HARRINGTON, S.J. CLARK, H.A. MCCARTNEY, 1995: Movement of apterous *Sitobion avenae* (Homoptera: Aphididae) in response to leaf disturbances caused by wind and rain. *Annals of Applied Biology* **126** (3), 417-427.
- MILLER, J.D., 2001: Factors that affect the occurrence of fumonisin. *Environmental Health Perspectives* **109**, 321-324.
- MILLER, J.D., 2008: Mycotoxins in small grains and maize: Old problems, new challenges. *Food Additives & Contaminants: Part A, Special Issue: Proceeding of XIIth International IUPAC Symposium on Mycotoxins and Phycotoxins Istanbul (Turkey) May 2007. Volume 25* (2), 219-230.
- MORNHINWEG, D.W., P.P. BREGITZER, D.R. PORTER, F.B. PEARS, D.D. BALTENSPERGER, G.L. HEIN, T.A. RANDOLPH, M. KOCH, T. WALKER, 2012: Registration of 'Stoneham' Spring Feed Barley Resistant to Russian Wheat Aphid. *Journal of Plant Registrations* **6** (1), 1-5.
- MOYA-ELIZONDO, E.A., R.L. REW, B. JACOBSEN, A.C. HOGG, A.T. DYER, 2011: Distribution and prevalence of *Fusarium* crown rot and common root rot pathogens of wheat in Montana. *Plant Disease* **95**, 1099-1108.
- MOYA-ELIZONDO, E.A., 2013: *Fusarium* crown rot disease: biology, interactions, management and function as a possible sensor of global climate change. *Ciencia e investigacion agraria* **40** (2), 235-252.
- O'NEAL, M.E., M.E. GRAY, S. RATCLIFFE, K.L. STEFFEY, 2001: Predicting western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) larval injury to rotated corn with pheromone AM traps in soybeans. *Journal of Economic Entomology* **94** (1), 98-105.
- OSWALD, C.J., M.J. BREWER, 1997: Aphid-barley interactions mediated by water stress and barley resistance to Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae). *Environmental Entomology* **26** (3), 591-602.
- OZTEMIZ, S., S. KORNOGOR, 2007: The effects of different irrigation systems on the inundative release of *Trichogramma evanescens* westwood (Hymenoptera: trichogrammatidae) against *Ostrinia nubilalis* Hubner (Lepidoptera: Pyralidae) in the second crop maize. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* **31** (1), 23-30.
- PARSONS, M.W., G.P. MUNKVOLD, 2010: Associations of planting date, drought stress, and insects with *Fusarium* ear rot and fumonisin B1 contamination in California maize. *Food Additives and Contaminants. Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment* **27** (5), 591-607.
- PAULITZ, T.C., 1996: Diurnal release of ascospores by *Gibberella zeae* in inoculated wheat plots. *Plant disease* **80** (6), 674-678.
- PIVA, G., P. BATTILANI, A. PIETRI, 2006: Emerging issues in southern Europe: Aflatoxins in Italy. *The Mycotoxin Factbook: Food & Feed Topics*, Wageningen, S. 139-153.
- PONDER, K.L., J. PRITCHARD, R. HARRINGTON, J.S. BALE, 2001: Feeding behaviour of the aphid *Rhopalosiphum padi* (Hemiptera: Aphididae) on nitrogen and water-stressed barley (*Hordeum vulgare*) seedlings. *Bulletin of Entomological Research* **91** (2), 125-130.
- PONS, X., G.M. TATCHELL, 1995: Drought stress and cereal aphid performance. *Annals of Applied Biology* **126** (1), 19-31.
- POPOV, C., E. TROTUS, S. VASILESCU, A. BĂRBULESCU, L. RASNOVEANU, 2006: Drought effect on pest attack in field crops. *Romanian Agricultural Research* **23**, 43-51.
- REID, L.M., R.W. NICOL, T. QUELLET, M. SAVARD, J.D. MILLER, J.C. YOUNG, D.W. STEWART, A.W. SCHAAFSMA, 1999: Interaction of *Fusarium graminearum* and *F. moniliforme* in maize ears: disease progress, fungal biomass, and mycotoxin accumulation. *Phytopathology* **89** (11), 1028-1038.
- RIEDEL, W.E., 1989: Effects of the Russian wheat aphid infestation on barley plant-response to drought stress. *Physiologia Plantarum* **77** (4), 587-592.
- ROSSBERG, D., V. MICHEL, R. GRAF, R. NEUKAMPF, 2007: Definition von Boden-Klima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* **59** (7), 2007, 155-161.
- SEIDEL, P., 2014: Extreme Weather and influences on Plant Pests: Extreme Knowledge Gap. Wheat, barley, maize, rape, potato, beet, field forage crops and grassland. *Gesunde Pflanzen* **66** (3), 83-92.
- SEIDEL, P., 2016a: Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf Schaderreger, ihre Schadwirkung und Pflanzenschutzmaßnahmen - erste Hinweise. *Journal für Kulturpflanzen* **68** (9), 253-269.
- SHAN, X., P.W. WILLIAMS, 2014: Toward elucidation of genetic and functional genetic mechanisms in corn host resistance to *Aspergillus flavus* infection and aflatoxin contamination. *Frontiers in Microbiology* **5**, Article 364, 1-7.
- SHOWLER, A.T., 2014: Plant-arthropod Interactions Affected by Water Deficit Stress through Association with Changes in Plant free Amino Acid Accumulations, S. 339-352. In: GAUR, R.K., P. SHARMA, *Molecular Approaches in plant abiotic stress*, CRC Press -Taylor Francis group Boca Raton, USA, 393 S.
- SIP, V., J. CHRPOVA, J. VACKE, J. OVESNA, 2004: Possibility of exploiting the Yd2 resistance to BYDV in spring barley breeding. *Plant Breeding* **123** (1), 24-29.
- SMILEY, R.W., H.P. COLLINS, P.E. RASMUSSEN, 1996: Diseases of wheat in long-term agronomic experiments at Pendleton, Oregon. *Plant Disease* **80** (7), 813-820.
- SMILEY, R.W., J.A. GOURLIE, S.A. EASLEY, L.M. PATTERSON, 2005: Pathogenicity of fungi associated with the wheat crown rot complex in Oregon and Washington. *Plant Disease* **89**, 949-957.
- SMILEY, R.W., 2009: Water and Temperature Parameters associated with winter wheat diseases caused by soilborne pathogens. *Plant Disease* **93**, 73-80.
- STARY, P., H. LUKASOVA, 2002: Increase of Russian wheat aphid, *Diuraphis noxia* (Kurdj.) in hot and dry weather (2000) (Hom. Aphididae). *Anzeiger für Schädlingkunde* **75** (1), 6-10.
- STATISTISCHES BUNDESAMT, 2015: Statistisches Jahrbuch 2015. Kapitel 19 Land- und Forstwirtschaft <https://www.destatis.de/DE>

- /Publikationen/StatistischesJahrbuch/LandForstwirtschaft.pdf; jsessionid=D8D3724102473D6BD188A7E3B8BFE00D.cae2?_blob=publicationFile. (Abfragedatum: 24.05.2016).
- SUMNER, L.C., J.T. NEED, R.W. MCNEW, K.W. DORSCHNER, R.D. EIKENBARY, R.C. JOHNSON, 1983: Responses of *Schizaphis graminum* (Homoptera: Aphididae) to drought-stressed wheat, using Polyethylene-glycol as a matricum. *Environmental Entomology* **12** (3), 919-922.
- SUMNER, L.C., K.W. DORSCHNER, J.D. RYAN, R.D. EIKENBARY, R.C. JOHNSON, R.W. MCNEW, 1986: Reproduction of *Schizaphis graminum* (Homoptera, Aphididae) on resistant and susceptible wheat genotypes during simulated drought stress-induced with Polyethylene-glycol. *Environmental Entomology* **15** (3), 756-762.
- TRAORE, S.B., R.E. CARLSON, C.D. PILCHER, M.E. RICE, 2000: Bt and non-Bt maize growth and development as affected by temperature and drought stress. *Agronomy Journal* **92** (5), 1027-1035.
- VAUGHAN, M.M., S. CHRISTENSEN, E.A. SCHMELZ, A. HUFFAKER, H.J. MCAUSLANE, H.T. ALBORN, M. ROMERO, L.H. ALLEN, P.E.A. TEAL, 2015: Accumulation of terpenoid phytoalexins in maize roots is associated with drought tolerance. *Plant Cell and Environment* **38** (11), 2195-2207.
- WEST, J.S., S. HOLDGATE, J.A. TOWNSEND, S.G. EDWARDS, P. JENNINGS, B.D.L. FITT, 2012: Impacts of changing climate and agronomic factors on fusarium ear blight of wheat in the UK. *Fungal Ecol.* **5**, 53-61.
- WINDHAM, G.L., W.P. WILLIAMS, L.K. HAWKINS, T.D. BROOKS, 2009: Effect of *Aspergillus flavus* inoculation methods and environmental conditions on aflatoxin accumulation in corn hybrids. *Toxin Reviews* **28** (2-3), 70-78.
- XING, G.M., J. ZHANG, J. LIU, X.Y. ZHANG, G.X. WANG, Y.F. WANG, 2003: Impacts of atmospheric CO₂ concentrations and soil water on the population dynamics, fecundity and development of the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi*. *Phytoparasitica* **31** (5), 499-514.
- XU, X.M., D.W. PARRY, P. NICHOLSON, M.A. THOMSETT, D. SIMPSON, S.G. EDWARDS, B.M. COOKE, F.M. DOOHAN, J.M. BRENNAN, A. MORETTI, 2005: Predominance and association of pathogenic fungi causing Fusarium ear blight in wheat in four European countries. *European Journal of Plant Pathology* **112**, 143-154.