

Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf Schaderreger, ihre Schadwirkung und Pflanzenschutzmaßnahmen – erste Hinweise

Impacts of extreme weather events on pests, damage caused by pests and plant protection measures – first evidence

Zusammenfassung

Der Klimawandel wird voraussichtlich zu einer Zunahme des Auftretens einiger Extremwetterereignisse führen und auch deren Intensität wird verändert sein. Die weltweit seit 1910 erschienene Literatur wurde in diesem Review ausgewertet, um Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf Schaderreger in Weizen, Mais, Gerste, Zuckerrüben, Kartoffeln, Raps, Ackerfutter und Grünland, den durch diese verursachten Schaden und den Pflanzenschutz zu ermitteln, zu verallgemeinern und daraus Schlussfolgerungen für Forschungs- und Anpassungsmaßnahmen abzuleiten. Nur 111 Arbeiten konnten vertiefend ausgewertet werden. Es finden sich erste Hinweise, dass Extremwetterereignisse infolge des Klimawandels in Deutschland wichtig werdende Schaderreger im Ackerbau, den durch diese Schaderreger verursachten Schaden sowie Pflanzenschutzmaßnahmen beeinflussen können. Die Wirkung auf Schaderreger, Ertrag und physiologisches Leistungsvermögen sowie Stresstoleranz der Kulturpflanzen kann direkt oder indirekt, hemmend oder fördernd sein. Verallgemeinerungen sind beim gegenwärtigen Kenntnisstand noch nicht möglich. Die Forschungsarbeiten zu diesem Themenfeld müssen systematisiert und intensiviert werden. Die Dringlichkeit der Bearbeitung dieses Forschungsfeldes und die Notwendigkeit eines systemaren, interdisziplinären und abgestimmten Forschungsansatzes mit experimentellen und modell-

gestützten Methoden über verschiedene Versuchsebenen hinweg werden diskutiert.

Stichwörter: Extremwetterereignisse, Schaderreger, Ertrag, Pflanzenschutz, Weizen, Gerste, Mais, Kartoffel, Raps, Zuckerrübe, Grünland

Abstract

It is likely that climate change will cause an increase in amounts and intensity of extreme weather events.

In this review 111 articles of since 1910 globally published literature concerning the effects of extreme weather events on pests affecting wheat, maize, barley, sugar beet, potato, rape, forage crops and grassland were evaluated to gain information about the damage caused, which was that generalized and conclusions for research and adaption measures were drawn. This leads to first evidence that extreme weather effects resulting from climate change indeed have an effect on important plant pests, the damage they cause and plant protection measures in German agriculture. Their influence on said pests, yield, physiological potential as well as stress tolerance of crop plants can be direct or indirect, restricting or supporting, yet no generalizations can be made just based on this first evidence; more intense research in these areas is required.

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

10. Juni 2016

In this article urgency and necessity of research and evaluation of these areas, including systematic interdisciplinary research approaches featuring experimental and model-based methods on multiple experiment levels are discussed.

Key words: Extreme weather events, plant pests, yield, plant protection, wheat, barley, maize, potato, rape, sugar beet, grassland

Einleitung

Die mit dem Klimawandel verbundene Erwärmung der Erdoberfläche führt zu einer höheren Wasserdampfkonzentration in der Atmosphäre, damit zu einer Zunahme konvektiver Energie und das Potential für mehr und/oder intensivere konvektive Ereignisse (z.B. Hagel, Sturm, Starkregen) ist somit deutlich erhöht (HELD und SODEN, 2006 in MOHR, 2013). Als Folge einer stärkeren Erwärmung der Pole, im Vergleich zum Äquator, kommt es zu einer Verringerung des meridionalen Temperaturgradienten und einer damit verbundenen Abnahme der vertikalen Windscherung in mittleren Breiten (TRAPP et al., 2007 in MOHR, 2013) sowie zu einer polwärts orientierten Verlagerung der Hauptwind- und Drucksysteme (REICHLER, 2009 in DWD, 2013). Zusätzlich bewirken die 2014 von COUMOU et al. entdeckten Veränderungen der Zirkulationsmuster der Rossby-Wellen in der Atmosphäre, dass diese Wellen möglicherweise in mittleren Breiten festgehalten werden, sich deutlich verstärken und sehr langsam wandern. All diese Prozesse bewirken mit großer Wahrscheinlichkeit eine Zunahme des Auftretens von Extremwetterereignissen (IPCC, 2012; IPCC, 2013). Nicht nur die Häufigkeit von Extremwetterereignissen, sondern auch ihre Intensität wird zunehmend begleitet von Veränderungen in der räumlichen Verteilung, der Dauer (Verlängerung) und dem Timing. Weiterhin könnten neuartige Extrema auftreten (IPCC, 2012; IPCC, 2013). Bisher sind „stabile“ Klimasysteme an das Auftreten von Extremwetterereignissen angepasst, nicht jedes Extremwetterereignis hat negative Folgen. Die eingangs beschriebenen Prozesse können eine Überschreitung des natürlichen, historisch gewachsenen Anpassungspotentials nach sich ziehen und damit negative Folgen, auch für die Landwirtschaft, häufiger auftreten (PRETTEL, 2011; IPCC, 2012). Es kann auch sein, dass ein einzelnes Extremwetterereignis noch nicht zu einer Schwellenwertüberschreitung führt, aber durch Zusammentreffen mehrerer verschiedener Witterungsereignisse dann eine Wirkungsverstärkung erfolgt. Ebenso könnten Wirkungen verschiedener Extrema einander abschwächen (PRETTEL, 2011). Die Komplexität der Wirkungszusammenhänge ist damit nur grob skizziert. Daraus erschließt sich aber bereits, dass es derzeit nicht möglich ist, Änderungen bezüglich des zukünftigen Auftretens von Extremwetterereignissen und deren Ausprägung mit einer hohen Sicherheit vorherzusagen. Eine entsprechende hohe Sicherheit der Vorhersage gestattet der Gebrauch verfügbarer Klimasze-

narien nicht (CHRISTENSEN et al., 2007; ALEXANDER und ARBLASTER, 2009; VAN OLDENBORGH et al., 2009; IPCC, 2012). Das liegt zum einen in dem Charakter von Extremwetterereignissen begründet, zum anderen limitiert das derzeit vorhandene methodische Instrumentarium die Möglichkeiten: Bei Extremwetterereignissen handelt es sich um Witterungs- und Wetterereignisse, die während weniger Stunden, Tage oder Wochen stark von der Normalsituation abweichen und in einigen Fällen nur kleinräumig auftreten. Zur Modellierung und Vorhersage von Extremwetterereignissen sowie der Abschätzung ihrer möglichen Auswirkungen muss also eine kleine räumliche und zeitliche Skala angesetzt werden. Vorhandene globale und regionale Klimamodelle können eine derartige Skala noch nicht ausreichend genug abbilden (PRETTEL, 2011; POTTER et al., 2013), bzw. regionale Klimasimulationen bestimmte einzelne Extremwetterereignisse, z.B. Hagel, nicht abschätzen (MOHR, 2013). Außerdem sind derzeitige operationelle meteorologische Beobachtungssysteme nicht in der Lage, einige Ereignisse (z.B. Hagel), eindeutig, ausreichend flächendeckend und/oder über einen langen Zeitraum anzuzeigen (MOHR, 2013). Da die landwirtschaftliche Produktion in hohem Maße witterungsabhängig ist, ist der Druck zur Anpassung an den Klimawandel und seine Folgen, so auch die möglichen Auswirkungen der beschriebenen möglichen Veränderungen im Auftreten von Extremwetterereignissen, hoch. Daher wurde im Zuge eines vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) initiierten Verbundprojektes in den Jahren 2013 bis 2015 der Versuch unternommen, trotz der bekannten dargestellten methodischen und Erkenntnismängel mögliche Auswirkungen agrarrelevanter Extremwetterlagen u.a. für wichtige Ackerbaukulturen in Deutschland abzuschätzen (GÖMANN et al., 2015). Die Auswertung der Stationsdaten des Deutschen Wetterdienstes von 1961 bis 2013 sowie von Daten aus 21 Klimamodellläufen bis zum Jahr 2100 zeigten eine Zunahme extremer Hitzetage, eine Zunahme der Tage ohne Niederschlag im Frühjahr sowie von extrem trockenen Tagen im Sommer (GÖMANN et al., 2015). Weiterhin wurde im Rahmen der Arbeiten des Verbundprojektes das vorhandene Wissen zu konkreten Parametern für jedes agrarrelevante Extremwetterereignis kulturartenspezifisch zusammengetragen und in Matrizen dargestellt, teilweise auch gesondert nach kritischen Ontogenesephasen der recherchierten Kulturpflanzen (GÖMANN et al., 2015). Insgesamt wurde eingeschätzt, dass noch viel zu wenige Daten zur Beeinflussung wichtiger Ackerbaukulturen in Deutschland vorhanden sind. Das gilt besonders für Hagel, Starkniederschläge, Spätfröste. Auch Wechselwirkungen sind unzureichend untersucht (GÖMANN et al., 2015). Noch kritischer ist die Datenlage zu den Einflüssen von Extremwetterereignissen auf Schaderreger und den durch sie verursachten Schaden zu werten. Im Ergebnis der Arbeiten des Verbundprojektes musste festgestellt werden, dass auf der Grundlage der wenigen vorhandenen Informationen noch keine Schlussfolgerungen zu Risiken, Auswirkungen und Anpassungsmaßnahmen weder für den Pflanzenschutz noch allgemein zulässig

sind, und deshalb ein erhöhter Forschungsbedarf besteht. Dazu werden Primärdaten und belastbare Ergebnisse dringend benötigt (SEIDEL, 2014; GÖMANN et al., 2015). Intensive Recherchen in der weltweit seit 1910 erschienenen Literatur wurden mit dem Ziel durchgeführt, einen Beitrag zum Schließen dieser großen Informationslücken hinsichtlich der Beeinflussung von Schaderregern und den durch sie verursachten Schaden an wichtigen Ackerbaukulturen zu leisten. Mittlerweile ist in der Literatur eine Zunahme der Bereitstellung von Forschungsergebnissen zu diesem Thema erkennbar. In diesem Review werden die gewonnenen Informationen hinsichtlich der Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf Schaderreger, den durch sie verursachten Schaden und den Pflanzenschutz für wichtige, durch den Klimawandel vermutlich beeinflusste Schaderreger an den Ackerbaukulturen Weizen, Gerste, Mais, Kartoffeln, Zuckerrüben, Raps und Grünland analysiert und diskutiert.

Material und Methoden

Zunächst wurde in den Literaturdatenbanken „Web of Science“ und „Scopus“ über den Zeitraum von 1910 bis zur Gegenwart recherchiert. Nahezu identische Rechercheergebnisse dieser Literaturdatenbanken sowie eine geringfügig größere Ergebnisliste des „Web of Science“ führten ab Mai 2013 aus Kapazitätsgründen zur ausschließlichen Recherche im „Web of Science“. Um aktuelle Einträge zu erfassen, wurde die Abfrage im „Advanced Search“-Modus monatlich wiederholt. Dieser beinhaltete Abfragekombinationen aus den Segmenten „Kulturpflanze“, „Schaderreger“ und Extremwetterbegriff. In der Recherche verwendete Extremwetterbegriffe gingen auf die vom Weltklimarat (IPCC, 2012) festgelegten 13 Begriffe, einschließlich ihrer Abwandlungen bzw. Synonyma, zurück: „flooding“, „wet snow“, „storm“, „hail“, „black frost“, „early frost“, „late frost“, „dryness“, „heavy rain“, „heavy precipitation“, „drought“, „temperature extreme“ und „extreme weather“. Für diese sowie zusätzlich für die Begriffe „Staunäse“ und „Strahlung“ wurde zu Beginn der Arbeiten des Verbundprojektes (GÖMANN et al., 2015) von den Projektpartnern eine mögliche Relevanz für ein zukünftiges Klima in Deutschland gesehen. Im Abschlussbericht des Verbundprojektes sind auch kulturartenspezifische Wertebereiche für die einzelnen Extrema in tabellarischer Form enthalten (GÖMANN et al., 2015). Für die hier vorgestellten Recherchen erfolgten lediglich verbale Abfragen ohne Angaben numerischer Größen, um die weltweit vorhandenen Arbeiten überhaupt aufzufinden. Es wurde also z.B. nach Dürre in Weizen gefragt und nicht nach dem genau definierten, der Autorin bekannten Wert für Dürre in Weizen „nutzbare Feldkapazität < 50% in 60 cm Tiefe im Zeitraum Oktober bis Juli“. Weiterhin erfolgte im Verbundprojekt eine Festlegung der zu recherchierenden Acker- und Futterbaukulturen: Weizen, Gerste, Mais, Zuckerrübe, Raps, Ackerfutter und Grünland (darunter: Klee, Luzerne, Futterroggen, Futterweizen, Gräser, Schwingel-Arten, Wiesen-

schwingel, Timotheegrass, Wiesenlieschgras, Glatthafer, Weidelgräser, Poa-Arten, Wiesenrispe, Knaulgras, Roggentrespe, Goldhafer). In die Recherche flossen all jene Schaderreger kulturartenspezifisch ein, für die bekannt ist oder infolge von Analogieschlüssen aus ihrer Biologie vermutet wird, dass sie durch den zu erwartenden Klimawandel allgemein beeinflusst werden (Kulturpflanzen-spezifische Auflistung der Schaderreger und Quellen siehe unter: SEIDEL, 2014). Sowohl bei den Kulturpflanzen als auch den Schaderregern wurden in den Recherchen die deutschen Bezeichnungen, englischen Bezeichnungen sowie lateinischen Bezeichnungen und jeweilige Synonyma aus der „Eppo Global Database“ <https://gd.eppo.int/berücksichtigt>. Die Publikationen zu allen gefundenen Quellen wurden beschafft, gelesen, analysiert und bewertet.

Ergänzend zu diesen Recherchen wurden Informationen aus aktuellen Zeitschriftenumläufen und Sekundärauswertungen sowie im Klimafolgenkataster des Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) (<http://www.klimafolgenkataster.de>) gesucht.

Ergebnisse und Diskussion

Tab. 1 gibt einen Überblick über die insgesamt bis zum 1. April 2016 durchgeführten Einzelabfragen (= Kombination „Kultur + Schaderregerbegriff + Extremum“), die Anzahl recherchierter Schaderregerbegriffe, Fundstellen und nach der Sekundärauswertung noch weiter verwendbare Quellen sowie ergänzend zu den im „Web of Science“ gefundenen weiter auswertbaren Quellen (in Klammern).

Im „Web of Science“ wurden 2 620 670 Einzelabfragen durchgeführt. Hierbei wurden insgesamt 470 Veröffentlichungen gefunden. Nach Lektüre dieser Veröffentlichungen verblieben nur noch 85 Publikationen, die für die Zwecke dieser Studie belastbare und damit weiter verwendbare Aussagen zu den Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf das Auftreten und/oder die Schadwirkung von durch den Klimawandel vermutlich beeinflussten Schaderregern enthielten. Darunter wurde für im Ackerfutterbau auftretende Schaderreger lediglich eine Übersichtsarbeit gefunden, die darauf verweist, dass es bisher keine Publikationen zu dieser Fragestellung gibt (SEIDEL, 2014). Am häufigsten wurden die Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf Schaderreger/Schaden/Pflanzenschutz für Weizen untersucht bzw. beschrieben (32 Arbeiten), gefolgt von Mais (25 Arbeiten). 11 Arbeiten konnten für Gerste ausgewertet werden, 7 für Grünland, 5 für Raps, 4 für Zuckerrüben. Keine der für den Einfluss von Extremwetterereignissen auf Schaderreger/Schaden/Pflanzenschutz in Kartoffeln aufgefundenen 36 Arbeiten konnte verwertbare Informationen liefern. In Sekundäranalysen bzw. Recherchen anhand der gefundenen Quellen sowie ergänzenden Recherchen, auch im Bereich der grauen Literatur, konnten jedoch für die Kombination Extremwetterereignis-Kartoffel-Schaderregerbegriff 11 Arbeiten, für Mais noch 1 weitere Arbeit,

Tab. 1. Fundstellen im „Web of Science“ von 1910 bis zum 1. April 2016 zu den Abfragen „Extremwetter und Schaderreger“

Kultur	Gesamtanzahl der Schaderregerbegriffe	Gesamtanzahl der Abfragen	Gesamtanzahl der Fundstellen	davon verwertbar (Anzahl)
Weizen	119	529074	156	32 (+9)
Gerste	117	577980	46	11
Mais	106	157092	144	25 (+1)
Raps	122	241072	18	5
Kartoffel	179	353704	36	0 (+11)
Zuckerrübe	21	51870	9	4 (+5)
Ackerfutter	79	128934	12	1
Grünland	262	580944	49	7
Gesamt	1005	2620670	470	85 (+26)

Anmerkung: In den Klammern der letzten Spalte ist die Anzahl der Literaturquellen aus der „Grauen Literatur“ vermerkt.

für Weizen weitere 9 Arbeiten und für Zuckerrüben 5 Arbeiten gefunden und ausgewertet werden. Auf der 21. UN-Klimakonferenz in Paris 2015 (=COB 21 (Kurzform von United Nations Framework Convention on Climate Change, 21st Conference of the Parties) wurde gefordert, die sogenannte „Graue Literatur“ stärker bei der Klimawandelfolgenforschung zu berücksichtigen. Daher werden hier die in landwirtschaftlichen, auch praxisorientierten, Fachzeitschriften publizierten Ergebnisse aus den Versuchsberichten der deutschen Bundesländer sowie der Schweiz verwertet. Diesen Berichten liegen konkrete Wetter- und Schaderregerdaten zugrunde und eine Regionalisierung ist möglich. Somit standen insgesamt 111 verwertbare Publikationen zur Ableitung von Aussagen zu den Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf Schaderreger im Ackerbau, den durch sie an der Kulturpflanze verursachten Schaden sowie zur Beeinflussung von Pflanzenschutzmaßnahmen (Durchführung und/oder Wirksamkeit) zur Verfügung.

Unter diesen 111 weiter verwertbaren Arbeiten gab es neben mehreren Übersichtsarbeiten zahlreiche experimentelle. Diese umfassten Experimente als Erhebungen in Praxisschlägen (27), in Feldversuchen (31), in Lysimeteranlagen (1), in Regenschelteranlagen (4), im Regentunnel (1), im Windtunnel (1), im Gewächshaus (10), darunter 4 Experimente unter kontrollierten Bedingungen, in Klimakammern (28) sowie im Labor (9). In diesen experimentellen Arbeiten wurden verschiedene Befalls- bzw. Populationsparameter erhoben (57 Arbeiten) und/oder Erträge (quantitativ und/oder qualitativ) (38 Arbeiten) sowie Ertragskomponenten (9 Arbeiten) und/oder physiologische Leistungsparameter (67 Arbeiten) und/oder Bodenparameter (7 Arbeiten).

In einigen Arbeiten wird das Wirken mehrerer Extrema dargestellt. So wird z.B. häufiger die kombinierte Wir-

kung von Hitze und Trockenheit bzw. Dürre oder Stau-nässe, Starkregen und Überflutung untersucht. Daher beziehen sich die folgenden Ausführungen auf die Gesamtzahl gefundener Aussagen und nicht die Anzahl an Publikationen. Am häufigsten fanden sich Aussagen zur Wirkung von Trockenheit bzw. Dürre: 50,0 Prozent der Informationen beziehen sich darauf. Dann folgen Aussagen zur Wirkung von Hitze (20,6 Prozent), Starkregen (11,2 Prozent), Überflutung (9,4 Prozent), Stau-nässe (5,9 Prozent), Kahlfröste (1,2 Prozent), Starkfröste (0,6 Prozent), Hagel (0,6 Prozent) sowie Strahlung (0,6 Prozent). Keine Informationen lagen zur Wirkung von Frühfrösten, Spätfrösten, Nassschnee oder Sturm auf die recherchierten Schaderregerbegriffe im Ackerbau, den durch sie an der Kulturpflanze verursachten Schaden sowie zur Beeinflussung von Pflanzenschutzmaßnahmen vor.

Aufgeschlüsselt nach Schaderregergruppen ergab sich Folgendes zur Wirkung der recherchierten Extremwetterbegriffe: Die meisten Arbeiten waren phytopathogenen Pilzen (53 Prozent) gewidmet. Eine weitere große Gruppe bildeten die Informationen zu Schadinsekten (29,1 Prozent). Es folgten Bakterien (9,9 Prozent), Unkräuter (3,0 Prozent), Viren (2,2 Prozent), Nematoden und Säugtiere (je 1,5 Prozent) und Schnecken (0,7 Prozent). Eine genaue schaderreger- und kulturartenspezifische Betrachtung erfolgt in SEIDEL (2016b und c, im Druck) und wird deshalb hier nicht dargestellt.

Insgesamt widerspiegelt die Verteilung und Häufigkeit der Funde innerhalb der Gruppen „Kulturpflanzenart“ und „Schaderreger“ in erster Linie die Bedeutung des Anbaus der Kulturen, des Auftretens dieser Schaderregergruppen sowie die Bevorzugung bestimmter Schaderregergruppen, wie Insekten und Pilze, als Untersuchungsobjekte in der Klimafolgenforschung und bedeutet nicht, dass diese von Extremwetterereignissen besonders betroffen sind.

Gefunden wurden Aussagen zu folgenden Kategorien:

- Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf
 - Befalls-, Entwicklungs- bzw. Populationsparameter von Schaderregern im Ackerbau (Tab. 2, insgesamt 76 Hinweise)
 - durch Schaderreger im Ackerbau an Kulturpflanzen verursachte Schäden (Tab. 3, insgesamt 40 Hinweise)
 - Pflanzenschutzmaßnahmen einschließlich von Wechselwirkungen (Tab. 4, insgesamt 22 Hinweise)
- Wirkungen von Maßnahmen zur Vermeidung von Schäden durch Extremwetterereignisse an Kulturpflanzen auf Schaderreger/Pflanzenschutz (Tab. 5, insgesamt 10 Hinweise)
- Auswirkungen eines Schaderregerbefalles auf die Anpassung der Kulturpflanze an abiotischen Stress verursacht durch Extremwetterereignisse (Tab. 6, insgesamt 3 Hinweise).

Diese jeweiligen Aussagen bzw. Hinweise werden zusammenfassend übersichtsartig dargestellt und diskutiert:

Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf Befalls-, Entwicklungs- bzw. Populationsparameter von Schaderregern im Ackerbau (Tab. 2) können zu einer direkten Beeinflussung von Befalls-, Entwicklungs- bzw. Populationsparametern von Schaderregern durch die Extremwetterereignisse führen, aber auch zu einer indirekten, indem die Extremwetterereignisse auf die Kulturpflanze wirken und sich in der Folge die Befallsbedingungen für die Schaderreger verändern. Es werden sowohl die Schaderreger fördernde als auch hemmende direkte und indirekte Beeinflussungen durch Extremwetterereignisse beschrieben.

Als direkte Beeinflussung von Befalls-, Entwicklungs- bzw. Populationsparametern von Schaderregern werden eine gesteigerte Aggressivität, eine erhöhte oder geminderte Konkurrenzfähigkeit, eine Förderung oder Reduktion des Befalls, Veränderungen von Populationsparametern wie dem Verhältnis von Adulten zu Nymphen, die Dauer bis zum Erreichen des Populationsmaximums, eine Reduktion von Überlebensrate und Fruchtbarkeit, fehlende Beeinträchtigung von Überlebensrate und Entwicklungszeit, Reduktion der Populationsdichte oder Vitalitätsänderungen durch Anpassung an Extrema aufgeführt.

Festgestellte indirekte Beeinflussungen von Befalls-, Entwicklungs- bzw. Populationsparametern sind eine kürzere Verweildauer der Schaderreger an der Kulturpflanze, eine Beeinträchtigung von Fruchtbarkeit, Lebensdauer, Reproduktionsperiode, und produzierten Nachkommen/Reproduktionsstag, Reproduktionskapazität sowie eine kürzere Entwicklungszeit bis zur Reproduktionsphase und eine schnellere Rate des Populationswachstums. Ebenso finden sich keine Beeinflussung der Entwicklungszeit, der Nymphenmortalität, des Gewichts der Adulten, der Anzahl der Embryonen oder auch eine längere Entwicklungszeit, niedrigere Fruchtbarkeit und eine niedrigere Nettoerproduktionsrate. Weiterhin werden eine erhöhte

Prädisposition der Wirtspflanze gegenüber verschiedenen Pilzkrankheiten an Weizen, Mais und Kartoffel bei Trockenheit/Dürre, Staunässe sowie beim Wechsel von Trockenheit und Hitze mit Starkregen, aber auch mit Bewässerung erwähnt. Berichtet wird schließlich von einer Zunahme der Infektionen, des Befalls und/oder der Befallsdichte bei einigen Pilzkrankheiten des Weizens nach Trockenheit, Dürre und/oder Hitze. Die jeweilige Kultur, Schaderreger, Extremum und Literaturquelle sind der Tab. 2 entnehmbar.

Alle hier dargestellten – keinesfalls gleichgerichteten – Wirkungen können lediglich als Hinweise darauf betrachtet werden, dass entsprechende Wirkungen von Extremwetterereignissen auf Befalls-, Entwicklungs- bzw. Populationsparameter möglich sind. Dieser Wirkungskomplex „Beeinflussung der Schaderreger durch Extrema“ (Tab. 2) ist mit insgesamt 76 gefundenen Hinweisen auch der umfangreichste der fünf oben dargestellten Wirkungskomplexe. Die einzelnen Hinweise aber verteilen sich auf sieben Kulturpflanzengruppen (Weizen, Mais, Gerste, Kartoffeln, Zuckerrüben, Raps und Grünland) und sieben Schaderregergruppen (Pilze, Insekten, Unkräuter, Säugetiere, Bakterien, Schnecken, Nematoden), die 55 verschiedene einzelne Schaderreger umfassen und beziehen sich auf sieben Extrema (Dürre/Trockenheit, Hitze, Starkregen, Überflutung, Staunässe, Hagel, erhöhte Sonneneinstrahlung). Es ist also nicht möglich, verallgemeinernde oder wertende Aussagen zu treffen. Als Fazit lässt sich nicht herausstellen, dass nur mit diesen beschriebenen Wirkungen zu rechnen ist. Andere wurden offenbar bisher noch nicht untersucht bzw. es liegen dazu keine Publikationen vor. Weiter kann hieraus nicht geschlossen werden, welches Extremum besonders wirksam ist oder welche Kulturpflanzenart oder Schaderregergruppe besonders anfällig ist, verschont bleibt oder auch begünstigt wird. Es mag bei oberflächlicher Betrachtung weiter oben stehender Ausführungen naheliegen, z.B. zu verallgemeinern, „Trockenheit und Dürre erhöhen die Prädisposition von Weizen, Mais und Kartoffel der Wirtspflanze gegenüber Pilzkrankheiten“. Wissenschaftlich belastbar ist das aber auf der Grundlage einer einzigen Arbeit zu Weizen, von zwei Arbeiten zu Mais und zwei Arbeiten zur Kartoffel, die fünf ganz verschiedene Pilzkrankheiten (*Fusarium* sp., *Aspergillus* sp., *Alternaria* sp. und *Botrytis* sp.) behandelten und bei unterschiedlichem Erhebungs- bzw. Experimentalrahmen (vier Praxiserhebungen aus Deutschland, Italien und den USA, ein Versuch im Gewächshaus unter kontrollierten Bedingungen) nicht. Es ist genauso vorstellbar, dass z.B. die Prädisposition infolge veränderter Kutikula- oder Epidermiseigenschaften, wie einer Verdickung, verringert wird oder bei anderen Pilzkrankheiten und/oder anderen Kulturpflanzen andere Beobachtungen gemacht werden können. Solche umfassenden Screenings müssten für relevante Kulturpflanzen-Schaderregerkombinationen durchgeführt werden, möglichst unter vergleichbaren Bedingungen. Grundsätzliche Untersuchungen unter kontrollierten Bedingungen (Klimakammer) müssten anhand von Erhebungen im Feld validiert werden.

**Tab. 2. Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf Befalls-, Entwicklungs- bzw. Populationsparameter von Schad-
erregern im Ackerbau**

Extremum	Kultur	Schaderreger	Literaturquelle
direkte Beeinflussung von Befalls-, Entwicklungs- bzw. Populationsparametern			
gesteigerte Aggressivität			
Trockenheit bzw. Dürre	Weizen	<i>Eurygaster integriceps</i>	POPOV et al. (2006)
erhöhte Konkurrenzfähigkeit			
o gegenüber anderen Unkräutern			
Trockenheit bzw. Dürre	Grünland	<i>Cirsium arvense</i> ; <i>Epilobium hirsutum</i> , <i>Senecio inaequidens</i>	VERLINDEN et al. (2013)
o gegenüber anderen Pflanzen im Grünland			
Trockenheit bzw. Dürre	Grünland	<i>Rumex obtusifolius</i>	GILGEN et al. (2010)
geminderte Konkurrenzfähigkeit			
o erhöhte Mortalität im Vergleich zu Gräsern			
Hitze	Grünland	<i>Rumex obtusifolius</i>	MARTINKOVA et al. (2009)
Förderung des Befalls			
Trockenheit bzw. Dürre	Weizen	<i>Zabrus tenebrioides</i> , <i>Eurygaster integriceps</i>	POPOV et al. (2006)
Trockenheit bzw. Dürre und Hitze	Gerste	<i>Diuraphis noxia</i>	OSWALD und BREWER (1997)
	Weizen	<i>Fusarium</i> -Arten, <i>F. pseudograminearum</i> , <i>F. graminearum</i> <i>F. culmorum</i>	MOYA-ELIZONDO (2013)
	Mais	<i>Fusarium</i> sp.	MILLER (2001 und 2008); BRUNS (2003); PARSONS und MUNKVOLD (2010)
	Gerste	<i>Diuraphis noxia</i>	STARY und LUKASOVA (2002)
	Kartoffel	<i>Alternaria solani</i> , <i>A. alternata</i> , <i>B. cinerea</i> <i>Colletotrichum coccodes</i> <i>Streptomyces scabiei</i> <i>Agrotis</i> sp.;	NECHWATAL et al. (2013); (ZELLNER und WAGNER, 2015) BENKER (2013); ZELLNER und WAGNER (2015); BENKER (2015) NECHWATAL et al.(2013); ZELLNER und WAGNER (2015)
Hitze	Mais	<i>Fusarium verticillioides</i> , <i>F. graminearum</i>	REID et al. (1999); MILLER (2001)
	Kartoffel	<i>Rhizoctonia crocorum</i> <i>Aphis frangulae</i>	ZELLNER und WAGNER (2015) BENKER (2013)
	Zuckerrübe	<i>Rhizoctonia solani</i>	HEUPEL (2003)
Trockenheit bzw. Dürre und Hitze	Mais	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>A. parasiticus</i> , <i>Fusarium monilliforme</i>	HORN et al. (1995); FAKHOURY und WOLOSHUK (2001); KEBEDE et al. (2012)
Trockenheit bzw. Dürre	Mais	<i>Aspergillus flavus</i>	BRUNS (2003)
Trockenheit bzw. Dürre	Mais	<i>Tanymecus dilaticollis</i>	POPOV et al. (2006)
Trockenheit bzw. Dürre	Raps	<i>Brevicoryne brassicae</i>	POPOV et al. (2006)
Starkregen, Überflutung, Staunässe, Hagel	Kartoffel	<i>Phytophthora infestans</i> <i>Dickeya</i> sp., <i>Pectobacterium</i> sp.	BENKER (2014 und 2015) NECHWATAL et al. (2014); BENKER (2014 und 2015)
	Kartoffel	<i>Pratylenchus</i> sp., <i>Trichodoridae</i>	BENKER (2014)
Starkregen, Überflutung, Staunässe	Kartoffel	Schnecken	NECHWATAL et al. (2014)
Staunässe	Zuckerrübe	<i>Rhizoctonia solani</i>	STEUERWALD (2009)
Reduktion des Befalls			
Starkregen	Mais	<i>Diabrotica virgifera virgifera</i>	O'NEAL et al. (2001)
Trockenheit bzw. Dürre	Gerste	<i>Rhopalosiphum maidis</i>	OSWALD und BREWER (1997)
Überflutung	Raps	<i>Leptosphaeria maculans</i> , <i>Leptosphaeria</i> <i>biglobosa</i>	PELUOLA et al. (2013)

Tab. 2. Fortsetzung

Extremum	Kultur	Schaderreger	Literaturquelle
Veränderung von Populationsparametern:			
o Anteil Adulter erhöht zuungunsten des Nymphenanteils; veränderte Entwicklungsrate			
Trockenheit bzw. Dürre	Gerste	<i>Rhopalosiphum padi</i>	ASLAM et al. (2013)
o Dauer bis zum Erreichen des Populationsmaximums			
Trockenheit bzw. Dürre	Raps	<i>Baris caerulescens</i>	LERIN und KOUBAITI (1997)
o reduzierte Fruchtbarkeit bei 38°C und geminderte Überlebensrate			
Hitze	Raps	<i>Brevicoryne brassicae</i>	WACHIRA et al. (2012)
o reduzierte Überlebensrate			
Überflutung	Grünland	<i>Tipula paludosa</i> , <i>Tipula oleracea</i> , <i>Tipula vernalis</i> , <i>Tipula obsoleta</i> , <i>Tipula nigra</i> , <i>Tipula fusca</i> <i>Microtus arvalis</i>	WOLLECKE et al. (1996) JACOB (2003)
o wenig beeinträchtigte Überlebensrate			
Überflutung	Grünland	<i>Clethrionomys glareolus</i> , <i>Apodemus flavicollis</i>	JACOB (2003)
o Entwicklungszeit unbeeinträchtigt von Hitzestärke (30°C, 34°C, 38°C) und Dauer der Hitzewelle (1,3,5 Tage)			
Hitze	Raps	<i>Brevicoryne brassicae</i>	WACHIRA et al. (2012)
o Reduktion der Populationsdichte			
Starkregen	Weizen	Blattläuse	KARLEY et al. (2004)
Trockenheit bzw. Dürre	Gerste	<i>Rhopalosiphum padi</i>	JOHNSON et al. (2011)
o Vitalitätsveränderung durch Anpassung an Extrema			
• Unterschiedliche Fähigkeit zu Schwimmen bzw. Tauchen			
Starkregen/Überflutung	Weizen	<i>Rhopalosiphum padi</i> , <i>Diuraphis noxia</i> , <i>Sitobion avenae</i> , <i>Metopolophium dirhodum</i>	ARAYA (1991)
indirekte Beeinflussung von Befalls-, Entwicklungs- bzw. Populationsparametern über Einfluss auf die Wirtspflanzenphysiologie oder Prädisposition:			
kürzere Verweildauer an der Kulturpflanze			
Trockenheit bzw. Dürre	Weizen	<i>Rhopalosiphum padi</i> , <i>Metopolophium dirhodum</i> , <i>Sitobion avenae</i>	HONEK et al. (1998)
Beeinträchtigung von Fruchtbarkeit, Lebensdauer, Reproduktionsperiode, und produzierten Nachkommen/Reproduktionstag, Reproduktionskapazität			
Trockenheit bzw. Dürre	Weizen	<i>Rhopalosiphum padi</i> , <i>Metopolophium dirhodum</i> , <i>Sitobion avenae</i> , <i>Schizaphis graminum</i> , <i>Diuraphis noxia</i>	SUMNER et al. (1983 und 1986); PONS und TATCHELL (1995), DE FARIAS et al. (1995); XING et al. (2003); DAI et al. (2015)
kürzere Entwicklungszeit bis zur Reproduktionsphase, schnellere Rate des Populationswachstums			
Trockenheit bzw. Dürre	Raps	<i>Brevicoryne brassicae</i>	BURGESS et al. (1996)
keine Beeinflussung von Entwicklungszeit der Blattläuse, Nymphenmortalität, Gewicht der Adulten Anzahl der Embryonen			
Trockenheit bzw. Dürre	Weizen	<i>Sitobion avenae</i> / <i>Rhopalosiphum padi</i>	PONS und TATCHELL (1995)
längere Entwicklungszeit niedrigere Fruchtbarkeit und eine niedrigere Nettofortpflanzungsrate			
Trockenheit bzw. Dürre	Weizen	<i>Sitobion avenae</i> / <i>Rhopalosiphum padi</i>	DAI et al. (2015)
erhöhte Prädisposition			
Trockenheit bzw. Dürre	Weizen	<i>Fusarium</i> sp.	BEDDIES und BURGESS (1992)
Trockenheit bzw. Dürre	Mais	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>Aspergillus parasiticus</i>	MAGNUSSEN und PARSİ (2013); PIVA et al. (2006)
Erhöhte Sonneneinstrahlung	Kartoffel	<i>Alternaria</i> sp., <i>Botrytis</i> sp.	NECHWATAL et al. (2013); BENKER (2015)
Wechsel Trockenheit/Hitze und Starkregen bzw. Bewässerung	Kartoffel	<i>Alternaria solani</i> , <i>A. alternata</i>	ZELLNER und WAGNER (2015); BENKER (2015)
Staunässe	Kartoffel	<i>Pectobacterium</i> sp. <i>Dickeya</i> sp.	BENKER (2014 und 2015)

Tab. 2. Fortsetzung

Extremum	Kultur	Schaderreger	Literaturquelle
Zunahme der Infektionen/des Befalls/der Befallsdichte			
Trockenheit bzw. Dürre	Weizen	<i>Fusarium pseudograminearum</i>	SMILEY et al. (1996)
		<i>Fusarium graminearum</i>	HARE und PARRY (1996); BEYER und VERREET (2005)
		<i>Rhizoctonia cerealis</i>	SMILEY et al. (1996); KALBERER und GISI (1997)
Hitze	Weizen	<i>Fusarium pseudograminearum</i>	SMILEY (2009); MOYA-ELIZONDO et al. (2011)
		<i>Fusarium graminearum</i>	XU et al. (2006)

Entscheidender für die Bedingungen der auf wirtschaftlichen Erfolg ausgerichteten Pflanzenproduktion unter Einfluss zunehmender Extremwetterereignisse als die Beeinflussung der Schaderreger *per se* sind die **Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf die durch Schaderreger im Ackerbau an Kulturpflanzen verursachten Schäden** (s. Tab. 3, dort sind auch die jeweilige Kultur, Schaderreger, Extremum und Literaturquelle entnehmbar). Bisher sind Wirkungen von Extremwetterereignissen auf den Ertrag (quantitativ und qualitativ), das physiologische Leistungsvermögen der von Schaderregern befallenen Kulturpflanze und auch die Induktion von Abwehrreaktionen der befallenen Kulturpflanze auf nachfolgenden biotischen Stress bekannt. Berichtet wird bezüglich quantitativer Ertragswirkungen lediglich über eine Verstärkung der Ertragsminderung unter den Bedingungen eines kombinierten Wirkens von Extremwetterereignissen und Schaderregerbefall.

Als qualitative Aspekte werden genannt: eine mögliche Erhöhung des Stickstoffgehaltes der Körner oder der Blätter und Wurzeln bei jeweils reduzierter Trockenmasse. Weiterhin wird häufiger (16 der insgesamt 40 Hinweise) eine erhöhte Mykotoxinbelastung von Körnern, Ähren bzw. Kolben, eine erhöhte Anfälligkeit für eine Mykotoxinbelastung, aber auch eine Minderung der Mykotoxinbelastung bei Befall von Weizen bzw. Mais und Befall mit *Fusarium*- bzw. *Aspergillus*-Arten unter Einwirkungen der Extremwetterereignisse Trockenheit/Dürre bzw. Hitze oder Starkregen erwähnt. In einem Fall wird eine verschlechterte Lagerfähigkeit von Zuckerrüben bei Einwirkung von Hitze und Trockenheit in der Vegetationszeit und gleichzeitigem Befall mit *Rhizoctonia solani* berichtet. **Das physiologische Leistungsvermögen der Kulturpflanze** kann gesteigert oder reduziert sein, wenn Extrema, hier sind nur Informationen zu Trockenheit und Dürre vorliegend, und Schaderreger (hier ein pilzlicher Erreger, *Puccinia recondita*, an Weizen und ein Schadinsekt, *Ostrinia nubilalis*, an Mais) gemeinsam wirken. Festgestellt wurde eine Reduktion der Nettofotosyntheserate, der Stomataleitfähigkeit, der interzellularen CO₂-Konzentration und des Blattwasserpotentials. Ebenso wurden aber auch eine Erhöhung der Netto-

fotosyntheserate und eine Förderung von Kompensationsreaktionen der Kulturpflanzen (gleichfalls für Weizen, Mais, *Puccinia recondita*, *Ostrinia nubilalis* und Trockenheit bzw. Dürre) beschrieben.

Ein Befall mit Schaderregern oder abiotischer Stress können jedoch auch **Abwehrreaktionen auf nachfolgenden biotischen Stress induzieren**, so dass dieser in der Folge weniger schädigend wirkt. Die hier dargestellten Hinweise zur möglichen Beeinflussung des physiologischen Leistungsvermögens der Kulturpflanze und der Induktion von Abwehrreaktionen auf nachfolgenden biotischen Stress demonstrieren eindrucksvoll die enorme Komplexität im Interaktionsgefüge Kulturpflanze – Schaderreger (als biotischer Stressor) und Extremwetterereignis (als abiotischer Stressor). In der Stressphysiologie werden die Reaktionen auf abiotische Stressoren mit Hilfe des sogenannten Allgemeinen Adaptationssyndroms beschrieben. Im Rahmen des Allgemeinen Adaptationssyndroms laufen folgende Reaktionen ab (LARCHER, 2001; SCHLEE, 1992): Ohne Einfluss von Stressoren folgt der Organismus einer gewissen Reaktionsnorm. Ein Stressor versetzt den Organismus in den Alarmzustand, was zunächst eine Vitalitätsminderung bedeutet (Phase I). Der Organismus hat in seinen Reaktionen einen bestimmten Schwankungsbereich, begrenzt durch ein Minimum und ein Maximum. Bei Überschreiten dieser Grenzen stirbt der Organismus. Der vorübergehenden Vitalitätsminderung innerhalb des Schwankungsbereichs schließt sich nach einer kurzen Restitutionsphase eine Widerstandphase (Phase II) an, welche neben Abwehrreaktionen auch Toleranzreaktionen einschließlich von Leistungssteigerungen der Pflanze umfasst, mit dem Ziel einer Anpassung an den Stressor. Nur wenn diese Anpassung nicht erfolgt, tritt die Pflanze in die Erschöpfungsphase (Phase III) ein, verbunden mit irreversiblen Schädigungen. Die Pflanze ist innerhalb der vielfältigen Wechselbeziehungen eines Wirt-Parasit-Systems ebenfalls zu allen durch das allgemeine Adaptationssyndrom beschriebenen Reaktionen befähigt. Sie durchläuft, bevor einer der beiden „Partner“ die Oberhand gewinnt, ebenfalls die Phase II des Allgemeinen Adaptationssyndroms. Die bisherigen Ausführungen zeigen, dass sich auch Wirt-Parasit-Beziehungen mit dem

Tab. 3. Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf den durch Schaderreger im Ackerbau an Kulturpflanzen verursachten Schaden

Extremum	Kultur	Schaderreger	Literaturquelle
Beeinflussung des Ertrages (quantitativ)			
Verstärkung einer Ertragsminderung			
Trockenheit bzw. Dürre	Weizen	Blattläuse: <i>S. graminum</i> <i>Eurygaster integriceps</i> <i>Zabrus tenebrioides</i>	DORSCHNER et al. (1986); KINDLER et al. (2002 und 2003) POPOV et al. (2006) POPOV et al. (2006)
Trockenheit bzw. Dürre und Hitze	Gerste	<i>Diuraphis noxia</i>	STARY und LUKASOVA (2002)
Trockenheit bzw. Dürre nach der Blüte und während der Kornbildung	Weizen	<i>Fusarium pseudograminearum</i> , <i>F. graminearum</i> , <i>F. culmorum</i>	GREY et al. (1991); SMILEY et al. (2005); MOYA-ELIZONDO (2013)
Trockenheit bzw. Dürre während der Keimung	Weizen	<i>F. culmorum</i> , <i>Cochliobolus sativus</i>	GREY et al. (1991)
Starkregen, Überflutung, Staunässe	Kartoffel	<i>Pratylenchus sp.</i> , <i>Trichodoridae</i>	BENKER (2015)
Starkregen, Staunässe	Kartoffel	Schnecken	NECHWATAL et al. (2014)
Trockenheit bzw. Dürre, Hitze	Kartoffel	Feldmäuse	ZELLNER und WAGNER (2015); BENKER (2015)
Beeinflussung des Ertrages (qualitativ)			
erhöhte Stickstoffgehalte des Korns bei reduzierter Trockenmasse			
Trockenheit und Hitze während Kornfüllung	Weizen	<i>Puccinia recondita</i>	DEBAEKE et al. (1996)
Reduktion der Trockenmasse, Erhöhung des Stickstoffgehalts in Blättern und Wurzeln			
Trockenheit bzw. Dürre	Gerste	<i>R. padi</i>	ASLAM et al. (2013)
erhöhte Mykotoxinbelastung der Körner, Ähren bzw. Kolben			
Trockenheit und Hitze, aber: ab BBCH 87 begünstigt Regenfall die Mykotoxinbelastung!	Weizen	<i>F. graminearum</i> , <i>F. pseudograminearum</i>	CLEAR et al. (2006); HOOKER et al. (2002); WEST et al. (2012)
Starkregen zum Ährenschieben, zur Ernte	Weizen	<i>F. graminearum</i>	HOOKER et al. (2002); MILLER (2008)
Trockenheit bzw. Dürre und Hitze	Mais	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>Aspergillus parasiticus</i> , <i>F. verticillioides</i>	HORN et al. (1995); FAKHOURY und WOLOSHUK (2001); ABBAS et al. (2002); BETRAN und ISAKEIT (2004); MAGNUSSEN und PARSİ (2013); SHAN und WILLIAMS (2014); PIVA et al. (2006); WINDHAM et al. (2009); KEBEDE et al. (2012); REID et al. (1999); MILLER (2001)
deutlich erhöhte Anfälligkeit für Aflatoxin- und Fumonisin-Belastung			
Hitze	Mais	<i>Aspergillus flavus</i>	ABBAS et al. (2002)
Minderung der Mykotoxinbelastung			
Starkregen	Mais	<i>Aspergillus flavus</i>	WINDHAM et al. (2009)
Verschlechterung der Lagerfähigkeit			
Trockenheit/Hitze	Zuckerrübe	<i>Rhizoctonia solani</i>	KENTER et al. (2006)
Beeinflussung physiologischer Leistungsparameter der Kulturpflanze			
Reduktion von Nettofotosynthese und Blattwasserpotential			
Trockenheit bzw. Dürre	Weizen	<i>Puccinia recondita</i>	BETHENOD et al. (2001)
Reduktion der Fotosyntheseparameter: Nettofotosyntheserate, Stomataleitfähigkeit, interzelluläre CO₂-Konzentration			
Trockenheit bzw. Dürre	Mais	<i>Ostrinia nubilalis</i> (ab 5 Larven/Pflanze)	GODFREY et al. (1991a)
Erhöhung der Nettofotosyntheserate			
Trockenheit bzw. Dürre	Mais	<i>Ostrinia nubilalis</i> (bei 1 Larve/Pflanze)	GODFREY et al. (1991a)
Förderung von Kompensationsreaktionen der Pflanze			
Trockenheit bzw. Dürre	Weizen	<i>Puccinia recondita</i>	BETHENOD et al. (2001)
Induktion von Abwehrreaktionen auf nachfolgenden biotischen Stress			
Trockenheit bzw. Dürre	Mais	<i>Diabrotica balteata</i> <i>Fusarium verticillioides</i>	VAUGHAN et al. (2015)

Reaktionsschema des Allgemeinen Adaptationssyndroms erklären lassen und es Gemeinsamkeiten in der Reaktion auf abiotische und biotische Stressoren gibt (SEIDEL, 1996a und b). Wirken mehrere Stressoren auf die Pflanze ein, müssen deren Wirkungen also nicht zwingend schädigend oder gar additiv schädigend wirken. Je nach dem, in welcher Phase des Anpassungsprozesses an den Stress sich die Pflanze gerade befindet, wie stark die Stressoren sind und welche spezifischen Anpassungsreaktionen induziert wurden, ist es auch möglich, dass auf weitere Stressoren bereits angepasst reagiert wird, sie weniger oder gar nicht schädigend wirken oder die Pflanze sogar eine Steigerung ihres Leistungsvermögens als Folge der Anpassungsreaktionen generiert. Unter praktischen Bedingungen ist die Pflanze im Allgemeinen vielfältigen Belastungen, d.h. dem Wirken multipler Stressoren ausgesetzt. In der Regel findet ein Befall mit verschiedenen Schaderregern statt und Umwelteinflüsse kommen hinzu. Untersuchungen zu den Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf den durch Schaderreger verursachten Schaden an Kulturpflanzen müssen dieser beschriebenen Komplexität der Anpassungsreaktionen an Stressoren gerecht werden. Das wird auch durch die hier dargestellten gegensätzlichen Ergebnisse „Beeinflussung des physiologischen Leistungsvermögens der Kulturpflanze“ und der „Induktion von Abwehrreaktionen auf nachfolgenden biotischen Stress“ in Tab. 3 bekräftigt. Weitere verallgemeinernde Aussagen oder Schlussfolgerungen dieser zum Wirkungskomplex „durch Schaderreger unter Extremwettereinfluss verursachte Schäden an der Kulturpflanze“ sind auf der Grundlage der ermittelten 40 Hinweise aus der Literatur nicht solide. Diese 40 Hinweise verteilen sich auf Untersuchungen an fünf Kulturpflanzengruppen (Weizen, Mais, Gerste, Kartoffel und Zuckerrübe) mit insgesamt sechs Schaderregergruppen (Pilze, Insekten, Säugetiere, Bakterien, Schnecken, Nematoden) mit zusammen 21 verschiedenen Schaderregern und das Wirken von 5 verschiedenen Extremwetterereignissen (Trockenheit/Dürre, Hitze, Starkregen, Staunässe, Überflutung). Alle Funde können lediglich als Hinweise darauf genommen werden, dass mit solchen positiven oder negativen Effekten zu rechnen ist, was weitere Effekte nicht ausschließen muss. Sie wurden lediglich noch nicht untersucht, publiziert und/oder gefunden.

Wechselseitige Beeinflussungen scheint es auch **im Wirkungsgefüge Pflanzenschutzmaßnahmen – Extrema – Schaderreger** zu geben (s. Tab. 4, dort ist auch die jeweilige Kultur, der Schaderreger, das Extremum und die Literaturquelle entnehmbar). Das betrifft sowohl chemische als auch alternative Pflanzenschutzmaßnahmen, inklusive vorbeugender Pflanzenschutzmaßnahmen:

Es gibt Hinweise darauf, dass Pflanzenschutzmaßnahmen die Wirkung von Extrema auf Schaderreger verändern können. Hier wurden bisher ausschließlich Hinweise zur Wirkung von Pflanzenschutzmaßnahmen bei Trockenheit/Dürre auf die Schaderregerentwicklung oder den durch sie verursachten Schaden untersucht bzw. gefunden und es wurden sowohl eine Befallsförderung trotz Pflanzenschutzmaßnahme als auch keine Beeinflussun-

gen oder Verstärkung der Befallsminderung durch die Pflanzenschutzmaßnahme festgestellt. Ausgewertet werden konnten zu dieser Fragestellung sieben verschiedene Arbeiten zu drei verschiedenen Kulturen (Weizen, Gerste, Mais), sieben verschiedenen Schaderregern (Pilze, Insekten) und fünf verschiedenen Pflanzenschutzmaßnahmen (Sortenwahl, Aussattermin, Unkrautbekämpfung, Schadinsektenbekämpfung, Antagonistenanwendung).

Pflanzenschutzmaßnahmen gegen Schaderreger können – drei ersten gefundenen Hinweisen zum Faktor Sortenwahl (Resistenz und Toleranz) folgend – **den durch Extrema verursachten Schaden an Kulturpflanzen beeinflussen** (s. Tab. 4): Trockenheitsschäden an Weizen können bei gegen Blattläusen (hier *Schizaphis graminum*) anfälligen Sorten größer sein als bei resistenten, eine Aflatoxinresistenz kann bei Mais zu Lasten der Hitze- und Trockenheitsresistenz gehen und es scheinen dieselben Gengruppen an einer Trockenheitstoleranz und Resistenz gegen den Fusarium Crown Rot-Komplex bei Weizen beteiligt zu sein. Auch dies ist ein Beleg für die weiter oben dargestellte Komplexität der Stressreaktion bei Wirkung multipler Stressoren.

Extremwetterereignisse scheinen auch **Pflanzenschutzmaßnahmen im Ackerbau** sowohl hinsichtlich ihrer Durchführbarkeit als auch Wirksamkeit beeinflussen zu können. Extrema wirken nach ersten Hinweisen auf die Wirksamkeit von Pflanzenschutzmaßnahmen direkt:

Eine Wirkungsreduktion wurde festgestellt für die Faktoren

- Sortenwahl (Abnahme der Wirksamkeit von Resistenzgenen der Gerste gegen das Gelbverzwergungsvirus BYDV der Gerste bei Einwirken von Trockenheit/Dürre und/oder Hitze)
- Insektizidanwendung (Hitze über 30°C mindert Transportprozesse in Pflanzen, hier Kartoffeln, und damit auch die Wirkung systemischer Insektizide)
- Maßnahmen des Ökologischen Landbaus (hier *Coniothyrium minitans* Anwendung in Raps durch Starkregen und Wirksamkeit von Chitin und Federmehl zur Erhöhung der antiphytopathogenen Widerstandsfähigkeit der Böden bei Zuckerrübenanbau) sowie die
- Anwendung gentechnisch veränderter Organismen (hier Beeinträchtigung der Resistenz der Expression des Bt-Proteins gegenüber *Ostrinia nubilalis* in Mais durch Trockenheit/Dürre).

Auch von positiven Wirkungen auf Pflanzenschutzmaßnahmen unter Extremaeinfluss wird im Falle des Faktors Sortenwahl berichtet: Unter Einfluss von Trockenheit bzw. Dürre werden insektenresistente Maishybriden weniger stark von *Fusarium verticillioides* befallen und haben eine geringere Mykotoxinbelastung.

Weiterhin können **andere Nebenwirkungen von Pflanzenschutzmaßnahmen** unter Extremaeinfluss auftreten. Hier wird von stärkeren phytotoxischen Nebenwirkungen von Herbiziden auf Kartoffeln nach Starkregen, Überflutung und Staunässe berichtet. Die genann-

Tab. 4. Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf Pflanzenschutzmaßnahmen einschließlich von Wechselwirkungen

Extremum	Kultur	Schaderreger	Literaturquelle
Wirkung von Pflanzenschutzmaßnahmen auf den Einfluss von Extrema auf Schaderreger/den durch sie verursachten Schaden			
Sortenwahl			
o keine Beeinflussung durch Trockenheitstoleranz			
Trockenheit bzw. Dürre	Weizen	Blattläuse <i>Diuraphis noxia</i>	DE FARIAS et al. (1995)
o Zunahme der intrinsischen Rate des Populationswachstums bei Anfälligkeit der Sorte gegenüber Blattläusen bei Trockenheit			
Trockenheit bzw. Dürre	Weizen	<i>Schizaphis graminum</i>	SUMNER et al. (1986)
o stärkere Trockenheitsschäden an <i>D. noxia</i> anfälligen Sorten und stärkerer Befall bei Trockenheit			
Trockenheit bzw. Dürre	Gerste	<i>Diuraphis noxia</i>	OSWALD und BREWER (1997)
Aussaattermin			
o höherer Befall mit Thripsen und mit <i>F. verticillioides</i> sowie eine höhere Fumonisin B1-Belastung bei späterer Aussaat			
Trockenheit bzw. Dürre	Mais	<i>Fusarium verticillioides</i>	PARSONS und MUNKVOLD (2010)
Unkrautbekämpfung			
o Konkurrenz durch Unkräuter sowie durch Unkrautwuchs, dichte Bestände begünstigen eine Infektion und Mykotoxinbelastung			
Trockenheit bzw. Dürre und Hitze	Mais	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>A. parasiticus</i> und <i>Fusarium moniliforme</i>	BRUNS (2003)
Schadinsektenbekämpfung/Insektizidanwendung			
o Befall mit Schadinsekten begünstigt eine Infektion und Mykotoxinbelastung, Bekämpfung mindert Infektion und Mykotoxinbelastung			
Trockenheit bzw. Dürre und Hitze	Mais	<i>Aspergillus flavus</i> , <i>A. parasiticus</i> und <i>Fusarium moniliforme</i>	BRUNS (2003)
Antagonistenanwendung			
o mikrobielle Antagonisten senken Infektion bei Bodenfeuchte jenseits 0,3 MPa bis 0,6 MPa			
Trockenheit bzw. Dürre	Weizen	<i>Fusarium pseudograminearum</i>	I.c. in SMILEY (2009)
Wirkung von Pflanzenschutzmaßnahmen gegen Schaderreger auf den durch Extrema verursachten Schaden			
Sortenwahl			
o Zunahme der Schäden durch Trockenheit bei anfälligen Sorten			
Trockenheit bzw. Dürre	Weizen	<i>Schizaphis graminum</i>	KINDLER et al. (2002 und 2003)
o dieselben Gengruppen sind an Trockenheitstoleranz und FCR Resistenz beteiligt			
Trockenheit bzw. Dürre	Weizen	<i>Fusarium pseudograminearum</i> , <i>F. graminearum</i> , <i>F. culmorum</i>	MA et al. (2015)
o Aflatoxinresistenz kann zulasten der Hitze- und Trockenheitsresistenz gehen			
Trockenheit bzw. Dürre	Mais	<i>Aspergillus flavus</i>	KEBEDE et al. (2012)
Wirkung von Extrema auf die Wirksamkeit von Pflanzenschutzmaßnahmen			
Sortenwahl			
o Abnahme der Wirksamkeit von Resistenzgenen:			
• Yd2 (Toleranz gegen BYDV)			
Trockenheit bzw. Dürre und/oder Hitze	Gerste	BYDV	SIP et al. (2004)
o Insektenresistentere Hybride weniger stark von <i>F. verticillioides</i> befallen und hatten eine geringere Fumonisin B1-Belastung			
Trockenheit bzw. Dürre	Mais	<i>Fusarium verticillioides</i>	PARSONS und MUNKVOLD (2010)
Fungizidanwendung			
o Nichtbefahrbarkeit der Flächen			
Starkregen, Überflutung, Staunässe	Kartoffel	<i>Phytophthora infestans</i>	OSMERS und BRUNS (2015); BENKER (2014 und 2015)

ten Extrema führten zu einem stärkeren Einwaschen der Herbizide in die Dämme, so dass die gerade auflaufenden Kartoffeln betroffen waren.

Die **Durchführbarkeit von Pflanzenschutzmaßnahmen** kann nach den gefundenen Beobachtungen ebenso beeinträchtigt sein: Fungizid- und Herbizidanwendung

Tab. 4. Fortsetzung

Extremum	Kultur	Schaderreger	Literaturquelle
Herbizidanwendung			
o Durchwuchskartoffeln (= Infektionsreservoir) in Getreidefeldern nicht bekämpfbar			
Starkregen, Überflutung, Staunässe	Kartoffel	<i>Phytophthora infestans</i>	BENKER (2014 und 2015)
o Phytotoxische Nebenwirkungen an auflaufenden Kartoffelpflanzen nach starkem Einwaschen der Herbizide in die Dämme			
Starkregen, Überflutung, Staunässe	Kartoffel	<i>Phytophthora infestans</i>	BENKER (2013)
Insektizidanwendung			
o Systemische Insektizide wirkten nicht, da Transportprozesse in Pflanze stark reduziert			
Hitze über 30°C	Kartoffel	<i>Aphis frangulae</i>	BENKER (2013)
Maßnahme des Ökologischen Landbaus: Reduzierte Wirkung			
o Chitin bzw. Federmehl zur Erhöhung der Widerstandsfähigkeit der Böden gegen Schaderreger			
Überflutung oder Spätfrost	Zuckerrübe	<i>Rhizoctonia solani</i>	POSTMA et al. (2014)
o Coniothyrium minitans-Anwendung			
Starkregen	Raps	<i>Leptosphaeria sp.</i>	YANG et al. (2007)
Anwendung gentechnisch veränderter Organismen			
o Beeinträchtigung der Resistenz des Mais gegenüber <i>Ostrinia nubilalis</i> durch Trockenstress, die Expression des Bt-Proteins im Maisgewebe wird beeinflusst			
Trockenheit bzw. Dürre	Weizen	<i>Ostrinia nubilalis</i>	TRAORE et al. (2000)

in Kartoffeln waren bei Starkregen, Überflutung und Staunässe infolge einer Nichtbefahrbarkeit der Flächen nicht zu den angezeigten Terminen möglich.

Auch diese dargestellten Beobachtungen (nur je ein Fallbeispiel wurde gefunden!) können lediglich als Hinweise betrachtet werden, dass es zu solchen Veränderungen von Durchführbarkeit und Wirksamkeit kommen kann. Weder sind sie hinsichtlich der vorstellbaren Möglichkeiten an Wirkungen vollständig, noch können sie verallgemeinert werden. Sie genügen jedoch, um darauf aufmerksam zu machen, dass solche Möglichkeiten beim Bemühen um Anpassung an die Folgen des Klimawandels oder schon deren Abschätzung zu berücksichtigen sind.

Bereits die vorliegenden Erhebungen zum **Wirkungsgefüge Pflanzenschutzmaßnahmen – Extrema – Schaderreger** zeigen die enorme zu berücksichtigende Komplexität bei der weiteren Untersuchung der Wirkung von Extremwetterereignissen auf biotische Gefahrenpotentiale.

Wirkungen von Maßnahmen zur Vermeidung von Schäden an Kulturpflanzen durch Extremwetterereignisse auf Schaderreger, deren Schadwirkung und/oder Pflanzenschutzmaßnahmen sind in Tab. 5 (dort zu finden sind auch die jeweilige Kultur, der Schaderreger, das Extremum und die Literaturquelle) aufgeführt. Alle ermittelten Hinweise beschäftigen sich mit Fragen zur Wirkung von einer Maßnahme gegen das Wirken von Trockenheit/Dürre, nämlich der Beregnung, auf Schaderreger, auf den Ertrag bei Befall oder auf Pflanzenschutzmaßnahmen. Beregnung beeinflusst Schaderreger

direkt, in diesen beiden beschriebenen Fällen (s. Tab. 5 oben) in Form einer Befallsreduktion, aber auch indirekt, über eine veränderte Physiologie der Wirtspflanze. Für den Befall des Weizens mit *Diuraphis noxia* wurde sowohl eine Erhöhung als auch eine Minderung der Populationsdichte dieser Blattlausart bei Trockenheit/Dürre und durchgeführter Beregnung festgestellt. Eine erhöhte Kompensationsfähigkeit des Weizens nach Beregnung bei Trockenheit/Dürre gegenüber den durch *Fusarium culmorum* und *Cochliobolus sativus* verursachten Schäden stellten GREY et al., 1991 fest. Ertragsverluste bei Mais wurden nach Beregnung bei Trockenheit/Dürre und *Ostrinia nubilalis*-Befall gemindert. Die Wirksamkeit von Pflanzenschutzmaßnahmen kann durch eine zur Minderung der Schäden durch Trockenheit/Dürre und Hitze durchgeführte Beregnung ebenfalls beeinflusst sein. Sowohl für Maßnahmen des Biologischen Pflanzenschutzes (hier erhöhte Effizienz des Eiparasitoiden *T. evanescens* gegenüber *O. nubilalis* an Mais, ein Hinweis) als auch die Wirkung einer Sortenwahl (hier Toleranz bzw. Resistenz gegen Trockenheit, geminderte Anfälligkeit gegenüber *Aspergillus sp.* bei Mais, erhöhte Anfälligkeit gegenüber *Rhizoctonia solani* und *Macrophomina phaseolina* bei Zuckerrübe) wurden beobachtet.

Auch für diese Zusammenstellung von möglichen Wirkungen von Maßnahmen zur Vermeidung von Schäden an Kulturpflanzen durch Extremwetterereignisse auf Schaderreger, deren Schadwirkung und/oder Pflanzenschutzmaßnahmen gilt, dass eine Verallgemeinerung dieser Aussagen aus den insgesamt 10 Hinweisen nicht angezeigt ist. Eindeutig ist, dass solche Wirkungen auf-

Tab. 5. Wirkungen von Maßnahmen zur Vermeidung von Schäden durch Extremwetterereignisse an Kulturpflanzen auf Schaderreger bzw. Pflanzenschutz

Extremum	Kultur	Schaderreger	Literaturquelle
Wirkung von Beregnung auf Schaderreger			
direkt			
o Reduktion des Befalls			
Trockenheit/Dürre und Hitze	Kartoffel	<i>Streptomyces scabiei</i>	BALLMER et al. (2012); ZELLNER und WAGNER (2015)
indirekt (über eine veränderte Wirtspflanzenphysiologie)			
o Populationsdichte erhöht			
Trockenheit bzw. Dürre	Weizen	<i>Diuraphis noxia</i>	DE FARIAS et al. (1995)
o Populationsdichte gemindert			
Trockenheit bzw. Dürre	Weizen	<i>Diuraphis noxia</i>	ARCHER et al. (1995)
o Kompensationsfähigkeit der Pflanze erhöht			
Trockenheit bzw. Dürre	Weizen	<i>Fusarium culmorum</i> , <i>Cochliobolus sativus</i>	GREY et al. (1991)
Wirkung von Beregnung auf den Ertrag bei Befall			
Minderung von Ertragsverlusten			
Trockenheit bzw. Dürre	Mais	<i>Ostrinia nubilalis</i>	GODFREY et al. (1991b)
Wirkung von Beregnung auf Pflanzenschutzmaßnahmen			
Biologischer Pflanzenschutz			
o Effizienz des Eiparasitoiden <i>T. evanescens</i> bei Flutungsbewässerung größer als bei Sprenglerberegnung			
Trockenheit	Mais	<i>Ostrinia nubilalis</i>	OZTEMIZ und KORNOSOR (2007)
Sortenwahl-Toleranz und Resistenz gegenüber abiotischen Stressoren			
o Toleranz gegen Hitze und Trockenheit geht einher mit niedrigem Aflatoxingehalt			
Trockenheit bzw. Dürre und Hitze	Mais	<i>Aspergillus</i> sp.	KEBEDE et al. (2012)
o Regelung von mit Abwehr von <i>Aspergillus flavus</i> -Infektionen in Beziehung stehenden Genen durch abiotische Stressoren			
Trockenheit bzw. Dürre und Hitze	Mais	<i>Aspergillus flavus</i>	GUO et al. (2008)
o Trockenheitstoleranz erhöht Anfälligkeit			
Trockenheit bzw. Dürre	Zuckerrübe	<i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Macrophomina phaseolina</i>	MAHMOUDI und GHASHGHAIE (2013)

treten können, in einer Anpassungsforschung untersucht werden müssen und in der Praxis gegebenenfalls zu berücksichtigen sind.

Ein Befall mit Schaderregern kann jedoch auch die Anpassung der Kulturpflanze an durch Extremwetterereignisse ausgelösten abiotischen Stress beeinflussen (s. Tab. 6, dort sind auch die jeweilige Kultur, der Schaderreger, das Extremum und die Literaturquelle entnehmbar). Es liegen hier nur drei Hinweise vor. In allen beschriebenen Fällen kommt es zu einer verminderten Anpassung von Getreide an Trockenheit und Dürre bei Befall mit *Schizaphis graminum* bzw. *Diuraphis noxia* oder an Überflutung und Frost bei Befall mit dem Gelbverzwergungsvirus BYDV. Grundsätzlich vorstellbar ist aber auch eine unveränderte oder sogar erhöhte Anpassung (z.B. infolge erhöhter Anpassungsbereitschaft durch den befallsinduzierten Vorstress der Kulturpflanze). Somit muss dieser Wirkungskomplex noch weiter erforscht werden, bevor belastbar verallgemeinert werden kann oder für den praktischen Pflanzenschutz anwendbare Schlussfolgerungen gezogen werden können.

Schlussfolgerungen

Die Auswertung der Literatur zeigt:

Extremwetterereignisse können derzeit wichtige oder infolge des Klimawandels in Deutschland wichtige werdende Schaderreger im Ackerbau, den durch diese Schaderreger verursachten Schaden sowie Pflanzenschutzmaßnahmen beeinflussen. Der Einfluss auf Schaderreger, Ertrag und physiologisches Leistungsvermögen sowie Stresstoleranz der Kulturpflanzen kann direkt oder indirekt, hemmend oder fördernd sein. Das Ergebnis der jeweiligen spezifischen Wirkung hängt vom Schaderreger (Art und Schaderregerparameter), der Kulturpflanze, ihrem Ontogenesestadium, der Art und Stärke des Extremwetterereignisses, dem Wirken weiterer abiotischer und biotischer Stressoren und anderen Umweltbedingungen aber auch den Kulturbedingungen ab. Mit anderen Worten: die Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf Schaderreger, Schaden und Pflanzenschutz sind Bestandteil eines sehr komplexen, interaktiven und damit sehr variablen Wirkungsgefüges. Derzeit sind weder alle not-

Tab. 6. Auswirkungen eines Schaderregerbefalles auf die Anpassung der Kulturpflanze an abiotischen Stress, verursacht durch Extremwetterereignisse

Extremum	Kultur	Schaderreger	Literaturquelle
geminderte Anpassung			
Trockenheit bzw. Dürre	Weizen	<i>Schizaphis graminum</i>	DORSCHNER et al. (1986)
geminderte Anpassung auch bei späterer ausreichender Wasserversorgung			
Trockenheit bzw. Dürre	Gerste	<i>Diuraphis noxia</i>	RIEDEL (1989)
geminderte Kältehärtigkeit, additive Wirkung von Überflutung und Infektion			
Überflutung, Frost	Gerste	BYDV	ANDREWS und PALIWAL (1986)

wendigen ein- und ausgehenden Parameter zur Beschreibung oder gar Analyse dieses systemaren Wirkungsgefüges, noch die Art und Kausalität aller möglichen Interaktionen oder deren Quantifizierung hinreichend bekannt oder ermittelt worden. Die bisher durchgeführten Untersuchungen lassen nur wenig belastbare Aussagen zu.

Die gefundenen Hinweise zur möglichen Beeinflussung von Schaderregern, Schaden und Pflanzenschutzmaßnahmen durch Extremwetterereignisse zeigen, dass das Wirken von Extremwetterereignissen bei der Abschätzung von Folgen des Klimawandels und der Ableitung von Anpassungsmaßnahmen sowie der Entwicklung von Strategien für die Pflanzenproduktion und den Pflanzenschutz zukünftig berücksichtigt werden muss.

Trotz einer festzustellenden Zunahme von Untersuchungen zu den Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf Schaderreger, Schaden und Pflanzenschutz sind die gefundenen Hinweise und Daten eher punktuell und insgesamt zu wenig systematisch, um zu verallgemeinern. Untersuchungen zum Themenfeld „Extremwetterereignisse – Schaderreger – Kulturpflanze – Schaden – Pflanzenschutz“ müssen unbedingt verstärkt werden, um belastbare Erkenntnisse und Primärdaten zu gewinnen. Ebenso notwendig ist die Analyse und Ableitung kausaler Zusammenhänge.

Extremwetterereignisse selbst sind teilweise methodisch schwierig oder sehr aufwendig zu erfassen oder in konkreten Versuchen zu simulieren. Außerdem können im Verlaufe einer Vegetationsperiode mehrere gleich- oder verschiedenartige Extremwetterereignisse auf die Kulturpflanze einwirken und sich in ihrer Wirkung gegenseitig beeinflussen (verstärkend, mindernd, aufhebend). Das erhöht die Komplexität des zu untersuchenden Systems.

Die beschriebene enorme Komplexität des Systems „Extremwetterereignisse – Schaderreger – Kulturpflanze – Schaden – Pflanzenschutz“ erfordert die Entwicklung eines abgestimmten experimentellen Untersuchungssystems aus Versuchen zu singulären und kombinierten Extrema unter kontrollierten Bedingungen, Semifreilandbedingungen und Feldversuchen. Gleichzeitig müssen Verfahren zur statistischen Analyse und zur Modellierung angewendet und weiterentwickelt werden, da

sich die große Komplexität nicht vollständig und versetzt über den Zeitlauf der Ontogenese der Kulturpflanzen experimentell abbilden lässt bzw. durchzuführen und zu handhaben ist. Generierte Daten aus den Versuchen der genannten Versuchsebenen müssen immer unmittelbar in die genutzten und zu entwickelnden Modelle einfließen, zu deren Weiterentwicklung dienen und mittels der Modelle generierte Daten, erkannte Zusammenhänge und Prozesse wiederum in die Experimente münden. Durch einen solchen multidisziplinären Ansatz mit einer großen, abgestimmten Methodenvielfalt kann die Versuchsdurchführung effektiviert und der Erkenntnisgewinn forciert werden. Dieses interdisziplinäre anspruchsvolle Versuchsnetz gilt es gemeinsam aufzubauen.

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.

ALEXANDER, L.V., J.M. ARBLASTER, 2009: Assessing trends in observed and modeled climate extremes over Australia in relation to future projections. *International Journal of Climatology* **29**, 417-435.

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.

ANONYM, 2009: Blattkrankheiten Grundlagen. <http://www.liz-online.de>, hier <Themen/Pflanzenschutz> wählen, Stand 17.03.2009.

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.

BALLMER, T., T. HEBEISEN, R. WÜTHRICH, F. GUT, 2012: Potential der Tröpfchenbewässerung im Kartoffelbau bei veränderten Klimabedingungen. *Agrarforschung Schweiz* **3** (5), 244-251.

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.

BENKER, M., 2013: Pflanzenschutz-Rückblick 2013. *Westdeutsches Land. Kartoffelbau* **64** (12), 14-18.

BENKER, M., 2014: Pflanzenschutz-Rückblick 2014. *Westdeutsches Land. Kartoffelbau* **65** (12), 14-17.

- BENKER, M., 2015: Pflanzenschutz-Rückblick 2015. Westdeutschland. Kartoffelbau **66** (12), 14-17.
- 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.
- BETRAN, F.J., T. ISAKEIT, 2004: Aflatoxin accumulation in maize hybrids of different maturities. *Agronomy Journal* **96** (2), 565-570.
- 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.
- CHRISTENSEN, J.H., B. HEWITSON, A. BUSUIOC, A. CHEN, X. GAU, I. HELD, R. JONES, R. KOLLI, W. KWON, R. LAPRISE, V. MAGAÑA RUEDA, L. MEARN, C. MENÉNDEZ, J. RÄISÄNEN, A. RINKE, A. SARR, P. WHETTON, 2007: Regional climate projections. In: SOLOMON, S., D. QIN, M. MANNING, Z. CHEN, M. MARQUIS, K.B. AVERYT, M. TIGNOR, H.L. MILLER: *Climate Change 2007, The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 847-940.
- 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.
- 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.
- DWD, 2013: Deutscher Wetterdienst. Klimastatusbericht 2012 vom 1.06.2013. Deutscher Wetterdienst Offenbach. (Abfragedatum 23.05.2016: http://www.dwd.de/GGTSPU-styx2.jki.bund.de-3309-12287830-gvpwhCT9R7FOiCR-DAT/DE/leistungen/klimastatusbericht/publikationen/ksb_2012.pdf?__blob=publicationFile%26v=5), www.ksb.dwd.de, ISSN 1437-76910 103 S.
- EIBLMEIER, P., J.L. VON GLEISSENTHAL, J. LEPSCHY, 2007: Risk evaluation of deoxynivalenol levels in Bavarian wheat from survey data. *Journal of Plant Diseases and Protection* **114**, 69-75.
- FAKHOURY, A.M., C.P. WOLOSCHUK, 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.
- 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.
- GILGEN, A.K., U. FELLER, 2013: Drought Stress alters Solute Allocation in Broadleaf Dock (*Rumex obtusifolius*). *Weed Science* **61** (1), 104-108.
- GILGEN, A.K., C. SIGNARBIEX, U. FELLER, N. BUCHMANN, 2010: Competitive advantage of *Rumex obtusifolius* L. might increase in intensively managed temperate grasslands under drier climate. *Agriculture Ecosystems & Environment* **135** (1-2), 15-23.
- 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.
- GOURLI, S.M., A.M. SIBLEY, D.B. LOBEL, 2013: Global crop exposure to critical high temperatures in the reproductive period: historical trends and future projections. *Environmental Research Letters* **8**, 10 S.
- 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. MUßHOFF, 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. Thünen Report **30**, Braunschweig, 312 S.
- 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.
- HELD, I.M., B.J. SODEN, 2006: Robust responses of the hydrological cycle to global warming. *Journal of Climate* **19**, 5686-5699.
- 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.
- HOOKER, D.C., A.W. SCHAAFSA, L. TAMBURIC-ILINCIC, 2002: Using weather variables pre- and post-heading to predict deoxynivalenol content in winter wheat. *Plant Disease* **86**, 611-619.
- 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.
- HEUPEL, M., 2003: Späte Rübenaufwühlung durch *Rhizoctonia solani* AG 2-2 IIB – Ein Rückblick. *Phytoprotektion* **33** (3), 57.
- 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.
- IPCC, 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. MACJ, G.K. PLATTNER, S.K. ALLEN, M. TIGNOR, P.M. MIDGLEY PM (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 528 S.
- IPCC, 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 of Climate Change. Cambridge, New York, Cambridge University Press, 1-29.
- JACOB, J., 2003: The response of small mammal populations to flooding. *Mammalian Biology* **68** (2), 102-111.
- 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.
- KENTER, C., C. HOFFMANN, B. MÄRLÄNDER, 2006: Sugarbeet as raw material – advanced storage management to gain good processing quality. *Zuckerindustrie* **131** (10), 706-720.
- 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.
- LARCHER, W., 2001: Ökophysiologie der Pflanzen. Leben, Leistung und Stressbewältigung der Pflanzen in ihrer Umwelt. 6., neu bearb. Aufl., Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer, 408 S.
- LERIN, J., K. KOUBAITI, 1997: Modelling winter oilseed rape plant infestation by *Baris coerulescens* (Coleoptera: Curculionidae). *Environmental Entomology* **26** (5), 1031-1039.
- LUMB, V.M., M.C.M. PÉROMBELON, D. ZUTRA, 1986: Studies of a wilt disease of the potato plant in Israel caused by *Erwinia chrysanthemi*. *Plant Pathology* **35**, 196-202.
- 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. PARSİ, 2013: Aflatoxins, hepatocellular carcinoma and public health. *World Journal of Gastroenterology* **19** (10), 1508-1512.
- MAHMOUDI, S.B., S. GHASHGHAIE, 2013: Reaction of sugar beet S1 lines and cultivars to different isolates of *Macrophomina phaseolina* and *Rhizoctonia solani* AG-2-2IIIB. *Euphytica* **190** (3), 439-445.
- 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.
- MARTINKOVA, Z., A. HONEK, S. PEKAR, J. STROBACH, 2009: Weather and survival of broadleaved dock (*Rumex obtusifolius* L.) in an unmanaged grassland. *Journal of Plant Diseases and Protection* **116** (5), 214-217.
- MERZ, U., R. SCHWARZEL, A. KEISER, 2009: Der Pulverschorf der Kartoffel. *Kartoffelbau* **60** (8), 1-6.
- 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, Issue 2*, 219-230.
- MOHR, S., 2013: Änderung des Gewitter- und Hagelpotentials im Klimawandel. Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie (KIT). In: KOTTMEIER, Ch. (Hrsg.): Wissenschaftliche Berichte des Instituts für Meteorologie und Klimaforschung des Karlsruher Instituts für Technologie, Band 58, Karlsruhe, KITScientific Publishing, 246 S.
- MORNHINWEG, D.W., P.P. BREGITZER, D.R. PORTER, F.B. PEAIRS, 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., 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.
- NECHWATAL, J., St. WAGNER, M. ZELLNER, 2013: Pflanzenschutz-Rückblick 2013. Süddeutschland. *Kartoffelbau* **64** (12), 8-13.
- NECHWATAL, J., St. WAGNER, M. ZELLNER, 2014: Pflanzenschutz-Rückblick 2014. Süddeutschland. *Kartoffelbau* **65** (12), 8-13.
- VAN OLDENBORGH, G.J., S. DRIJFHOUT, A. VAN ULDEN, R. HAARMA, A. STERL, C. SEVERIJNS, W. HAZELEGER, H. DIJKSTRA, 2009: Western Europe is warming much faster than expected. *Climate of the Past* **5**, 1-12.
- 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 pherocon AM traps in soybeans. *Journal of Economic Entomology* **94** (1), 98-105.
- OSMERS, K., H. BRUNS, 2015: Pflanzenschutz-Rückblick 2015. Norddeutschland. *Kartoffelbau* **66** (12), 18-21.
- 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.
- OZTEMİZ, S., S. KORNOŞOR, 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.
- PELUOLA, C., W.G.D. FERNANDO, C. HUVENAARS, C. KUTCHER, R. LAHLALI, G. PENG, 2013: Effect of flooding on the survival of *Leptosphaeria* spp. in canola stubble. *Plant Pathology* **62**, 1350-1356.
- PIVA, G., P. BATTILANI, A. PIETRI, 2006: Emerging issues in southern Europe: Aflatoxins in Italy. *The Mycotoxin Factbook: Food & Feed Topics*, 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.
- POSTMA, J., M.T. SCHILDER, L.H. STEVENS, 2014: The potential of organic amendments to enhance soil suppressiveness against *Rhizoctonia solani* disease in different soils and crops. *Acta Horticulturae* **1044**, 127-132.
- POTTER, K.A., H.A. WOODS, S. PINCEBOURDE, 2013: Microclimatic challenges in global change biology. *Global Change Biology* **19**, 2932-2939.
- PRETTEL, L.E., 2011: Impact of weather and climate extremes. New York, Nova Science Publishers Inc., 235 S.
- REICHLER, T., 2009: Changes in the atmospheric Circulation as indicator of climate Change. In: *Climate Change: Observed Impacts on Planet Earth*. (Ed. LETCHER, T.M.) Chapter 7, 145-164, Amsterdam, Elsevier, 468 S., zitiert in Deutscher Wetterdienst. Klimastatusbericht 2012 vom 1.06.2013. Deutscher Wetterdienst Offenbach. (Zugriff am 23.05.2016: http://www.dwd.de/GGTSPU-styx2.jki.bund.de-3309-12287830-gvpwh-CT9R7TFOiCR-DAT/DE/leistungen/klimastatusbericht/publikationen/ksb_2012.pdf?blob=publicationFile%26v=5)www.ksb.dwd.de ISSN 1437-76910, 103 S.
- RICHERZHAGEN, D., P. RACCA, C. KUHN, B. KLEINHENZ, B. HAU, 2012: Einfluss des Klimawandels auf die Blattentwicklung und das Erstauftreten von *Cercospora-Blattflecken* (*Cercospora beticola*) an Zuckerrüben in Niedersachsen. 58. Deutsche Pflanzenschutztagung, 10.-14. September 2012, Braunschweig, Julius-Kühn-Archiv **438**, 436-437.
- RICHERZHAGEN, D., P. RACCA, B. KLEINHENZ, 2013: Künftig nicht mehr Mehltau. *DLG-Mitteilungen* **4**, 70-71.
- RIEDEL, W.E., 1989: Effects of the Russian wheat aphid infestation on barley plant-response to drought stress. *Physiologia Plantarum* **77** (4), 587-592.
- ROUFFIANGE, J., D. GERARDIN, I. KELLENBERGER, S. SCHAEERER, B. DUPUIS, 2013: Empfindlichkeit der Kartoffel gegenüber der durch *Dickeya* spp. verursachten Stängelfäule. *Agrarforschung Schweiz* **4** (10), 424-431.
- SCHLEE, D., 1992: Ökologische Biochemie. 2., überarb. und erw. Aufl., Jena (u.a.), Gustav Fischer Verlag, 587 S.
- SEIDEL, P., 1996a: Toleranz von Pflanzen gegen Streß – das Stiefkind der Phytopathologischen Forschungen? Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, **18**, 31 S.
- SEIDEL, P., 1996b: Tolerance responses of plants to stress – the unused reserve in plant protection? *Plant Research and Development* **44**, 81-99, Institute for Scientific Co-operation, Tübingen, 110 S.
- 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. 2016b: Extremwetterereignisse und ihre Auswirkungen auf Schaderreger in Weizen, Gerste und Mais. *Journal für Kulturpflanzen* **68**, im Druck.
- Seidel, P. 2016c: Extremwetterereignisse und ihre Auswirkungen auf Schaderreger in Kartoffeln, Zuckerrüben, Raps und Grünland. *Journal für Kulturpflanzen* **68**, im Druck.
- 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.
- STARÝ, 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.
- STEUERWALD, M., 2009: Rhizoctonia: Die Gefahr lauert im Untergrund. *top agrar* **5**, 48-49.
- 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.
- TOTH, I., J.M. VAN DER WOLF, G. SADDLER, E. LOJKOWSKA, V. HE 'LIAS, M. PIRHONEN, L. TSROR, J.G. ELPHINSTONE, 2011: *Dickeya* species: an emerging problem for potato production in Europe. *Plant Pathology* **60**, 385-399.
- 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.
- TRAPP, R.J., N.S. DIFFENBAUGH, A. GLUHVOŠKY, 2009: Transient response of severe thunderstorm forcing to elevated greenhouse gas concentrations. *Geophysical Research Letters* **36**, L01 703.
- COUMOU, D., V. PETOUKHOV, S. RAHMSTORF, S. PETRI, H.J. SCHELLENHUBER, 2014: Quasi-resonant circulation regimes and hemispheric synchronization of extreme weather in boreal summer. *PNAS* **111** (34), 12331-12336.
- TSROR, L., O. ERLICH, S. LEBIUSH, U. ZIG, J.J. VAN DE HAAR, 2006: Recent outbreak of *Erwinia chrysanthemi* in Israel – epidemiology and monitoring in seed tubers. In: ELPHINSTONE, J.G., WELLER, S., THWAITES, R., PARKINSON, N., STEAD, D.E., SADDLER, G., eds. *Proceedings of the 11th International Conference on Plant Pathogenic Bacteria*, 10-14 July 2006, Edinburgh, Scotland, 70.
- VERLINDEN, M., A. VAN KERKHOVE, I. NIJS, 2013: Effects of experimental climate warming and associated soil drought on the competition between three highly invasive West European alien plant species and native counterparts. *Plant Ecology* **214** (2), 243-254.
- WACHIRA, R.J., R. MEYHÖFER, H.-M. POEHLING, 2012: Effects of magnitude and frequency of heat waves on the population dynamics of cabbage aphid *Brevicoryne brassicae*. *Julius-Kühn-Archiv* **438**, 438.
- 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.
- YANG, L., H.J. MIAO, G.Q. LI, L.M. YIN, H.C. HUANG, 2007: Survival of the mycoparasite *Coniothyrium minitans* on flower petals of oil-seed rape under field conditions in central China. *Biological control* **40** (2), 179-186.
- ZELLNER, M., S. WAGNER, 2015: Pflanzenschutz-Rückblick 2015. *Süd-deutschland. Kartoffelbau* **66** (12), 8-13.