

Hella Kehlenbeck, Sandra Krengel, Petra Seidel, Til Feike, Burkhard Golla, Jürgen Schwarz

## Klimawandel – Modellierung und Anpassungsstrategien im Pflanzenschutz

Climate change – Modeling and adaptation strategies  
for crop protection

### Einleitung

Die mit dem Klimawandel verbundenen und vorhergesagten Veränderungen wirken sich auch auf den Pflanzenschutz aus (MAIXNER et al., 2017). Diese Wirkungen entstehen durch den Einfluss klimatischer Faktoren auf Schadorganismen, (Kultur-) Pflanzen, die Wechselwirkungen zwischen diesen, aber auch auf die trophischen Interaktionen sowie die Synchronisation von Schadorganismus, Gegenspieler und Pflanze. Veränderte Witterungsbedingungen, z.B. Temperatur- und Feuchtigkeitswerte können sich sowohl fördernd als auch hemmend auf das Potential von Schadorganismen auswirken und dadurch Pflanzenproduktionssysteme beeinflussen. Seit jeher zeigen sich erhebliche jährliche und regionale Schwankungen in der Bedeutung von Schadorganismen und der Ausprägung ihrer Ertragsbeeinflussung. Die durch den Klimawandel hervorgerufenen Änderungen werden jedoch neue Reaktionsmuster hervorrufen und bisherige Kenntnisse zumindest teilweise außer Kraft setzen (PETERCORD, 2008). Zur Sicherung des Produktionsstandortes Deutschland müssen deshalb rechtzeitig praktikable Anpassungsstrategien entwickelt werden. So sollten die erwarteten Veränderungen in künftigen Pflanzenschutzstrategien und Anbausystemen dringend berücksichtigt werden.

Ein erster Schritt ist es, vorhandenes und neu generiertes Wissen systematisch zusammen zu führen und zur Verfügung zu stellen, denn die Information aller an diesem Prozess beteiligten Akteure ist eine Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Anpassung der deutschen Landwirtschaft an den Klimawandel. Weitere Schritte

sind retrospektive Analysen vorhandener Datenreihen, um Zusammenhänge zwischen Wetter und Schaderregereauftreten zu analysieren und die Verknüpfung solcher Analysen mit Klimaprojektionen. Daraus können Wirkungen zukünftiger Klimawandelszenarien abgeschätzt werden (STÖSSEL et al., 2013; JUROSZEK und VON TIEDEMANN, 2013). Annahmen und Szenarien der Befallsgefährdung, des Pflanzenschutzes und möglicher Umweltwirkungen sowie die Verknüpfung von Pflanzenwachstumsmodellen mit Schaderregeregerdaten erlauben schließlich die Identifizierung von Anpassungsmöglichkeiten. Um dieses Vorgehen erfolgreich umzusetzen, ist jedoch eine deutliche Verbesserung vorhandener Schaderregeregermodelle, Kulturpflanzenmodelle und Schadensprognose sowie der Datenverfügbarkeit erforderlich. Das Institut für Strategien und Folgenabschätzung leistet hierzu auf vielen Feldern einen Beitrag, der im Folgenden beschrieben wird.

### Grundlagen für Analysen recherchieren, sammeln, bewerten und bereitstellen

Mit der Plattform KLIMAPS informiert das Julius Kühn-Institut (JKI) online und kostenlos zu allen Fragen der Auswirkungen des KLIMAWandels auf die Landwirtschaft, insbesondere den Pflanzenschutz. Informationen aus der Literatur und zu Forschungsprojekten werden von Wissenschaftlern für Erzeuger, Berater, Öffentlichkeit, und Politik aufbereitet und direkt online eingestellt. Die rege Nutzung dieser Datenbank (25 000 bis 35 000 Zugriffe im Monat), sowie in viele Online-Portale aufge-

#### Institut

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

#### Kontaktanschrift

Dr. Hella Kehlenbeck, Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow, E-Mail: [hella.kehlenbeck@julius-kuehn.de](mailto:hella.kehlenbeck@julius-kuehn.de)

#### Zur Veröffentlichung angenommen

21. Dezember 2016

nommene links auf „KLIMAPS-JKI“ belegen den Bedarf (SEIDEL und SELLMANN, 2016). Das Mitwirken aller in der Klimaforschung Tätigen ist ausdrücklich erwünscht. KLIMAPS-JKI leistet einen Beitrag zur Kommunikation der Klimawandelfolgen.

Auf dem Versuchsfeld Dahnsdorf (Bundesland Brandenburg) existiert seit 1998 beinahe vollständiges Datenmaterial von wichtigen meteorologischen Größen gemessen durch eine eigene Wetterstation (WITTCHEN et al., 2015a). Die Witterung stellt eine zentrale Einflussgröße der Dauerfeldversuche und ihrer Ergebnisse dar. Betrachtet man in dem Zeitraum von 1998 bis 2012 extreme Witterungsereignisse, so stellt man fest, dass diese im Vergleich zu „früher“ zugenommen haben (WITTCHEN et al., 2015b). So fielen beispielsweise in Dahnsdorf an vier Tagen mehr als 50 mm Niederschlag, während dies an der DWD-Vergleichs-Messstelle Treuenbrietzen im dreißigjährigen Normalwert-Zeitraum (1961/90) nur an einem Tag der Fall war.

Ein weiterer Beitrag zur Kommunikation von Folgen des Klimawandels sind seit 2013 monatlich durchgeführte Analysen zu den Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf Schaderreger, ihre Schadwirkung und Pflanzenschutzmaßnahmen. Die Ergebnisse werden in regelmäßigen Abständen veröffentlicht (SEIDEL, 2014a und b; GÖMANN et al., 2015; SEIDEL, 2016a und b; SEIDEL, 2017 im Druck).

### Identifizierung von Zusammenhängen zwischen Wetter, Schaderregerauftreten und Klimawandelszenarien

#### *Ex-post-Analysen – Analyse retrospektiver, historischer Daten*

Die potentielle Befallsgefährdung beruht auf dem ursächlichen Zusammenhang zwischen an den geographischen Raum gebundene Größen und der Ausprägung der Befallsstärke von Schadorganismen in landwirtschaftlichen Kulturen. So führten JAHN et al. (1996) anhand von Epidemie- bzw. Populationsmodellen einfache statische Hochrechnungen zu Auftreten und Verteilung ausgewählter Schaderreger unter veränderten Temperatur- und Niederschlagsbedingungen durch. Grundlage hierfür waren langjährige Befallsdaten und Modelle aus der Schaderregerüberwachung der DDR. Die Ergebnisse erlaubten erste Einblicke in mögliche Veränderungen im Auftreten von Schaderregern in Deutschland. Im „Atlas der potentiellen Befallsgefährdung durch wichtige Schadorganismen im Ackerbau Deutschlands“ (KLUGE et al., 1999) wurden diese Arbeiten weiterentwickelt. Mit Hilfe Geographischer Informationssysteme (GIS) konnten weitere Einflussfaktoren, wie Anbaustruktur und Boden sowie zusätzliche meteorologische Parameter in die Abschätzung der potentiellen Befallsgefährdung integriert und auf ganz Deutschland übertragen werden. Heute sind die Karten des sogenannten „Befallsatlas“, trotz veränderter Anbaustruktur und veralteter Ausgangsdaten (1977–1990), für Fragen der Klimafolgen für Kulturpflanzen von hohem Interesse und daher als digitale Karten und Web-Dienste im öffentlichen Geoportal des JKI enthalten.

*Ex-ante-Analysen – Projektionen in die Zukunft*  
Ziel weiterführender Arbeiten zu dieser Thematik war es, den Ansatz von KLUGE et al. (1999) methodisch weiterzuentwickeln und auf aktuelle Daten und Klimawandelprojektionen anzuwenden (STÖSSEL, 2015). Auf der Grundlage von Daten der Schaderregerüberwachung des Bundeslandes Sachsen-Anhalt zum Auftreten von Echem Mehltau und Braunrost in Winterweizen in den Jahren 1976 bis 2010 wurde dafür zunächst der Einfluss verschiedenster meteorologischer Variablen auf das Auftreten der beiden Krankheiten mit Hilfe von Korrelationsanalysen (shifting windows correlation approach) quantifiziert. Darauf aufbauend erfolgten die Kalkulation von Regressionsmodellen und die Ableitung von Szenarien zur zukünftigen Befallsgefährdung, indem diese Modelle auf aktuelle Klimasimulationsszenarien angewendet wurden.

### Modellierung zukünftiger Szenarien der Befallsgefährdung des Pflanzenschutzes und möglicher Umweltszenarien

Nicht nur die Auswirkungen des Klimawandels auf das Auftreten von Schaderregern und daraus entstehende Konsequenzen für den Pflanzenschutz und Pflanzenbau sind von Interesse, sondern auch die möglichen ökologischen Folgen dieser Änderungen. Das Projekt „Konsequenzen des Klimawandels für die Nachhaltigkeitsziele beim Pflanzenschutzmitteleinsatz“ widmete sich dieser Thematik (HEMETZBERGER und FREIER, 2015), indem zunächst eine Abschätzung des zukünftigen Befallsgeschehens und notwendiger Veränderung im Pflanzenschutz für drei Modellregionen in Deutschland vorgenommen wurde. Grundlage waren Literaturrecherchen und Experteneinschätzungen. Zusätzlich erfolgte die Berechnung von Anbauszenarien mit dem Modell MODAM (ZALF), welches die Vorzüglichkeit des Anbaus von Kulturen unter Einbindung verschiedenster Faktoren simuliert. Auf Basis von Daten zur Intensität der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln aus dem Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz wurden exemplarische Szenarien für den heutigen und zukünftigen Pflanzenschutz in den drei Modellregionen berechnet, mit Klimaprojektionsdaten verschnitten und mittels GIS-Modellierungen (ZALF) und SYNOPS Kalkulationen (JKI-SF) erste Abschätzungen möglicher ökologischer Auswirkungen vorgenommen.

### Modellierung und Monitoring von Vegetationsmerkmalen mittels Fernerkundungsmethoden

Fernerkundungsdaten aus dem Erdbeobachtungsprogramm Copernicus (LILIENTHAL und GREEF, 2017) eröffnen erweiterte Möglichkeiten, die Veränderung von Klimabedingungen auf das Kulturpflanzenwachstum zu untersuchen. Beispielsweise können Zeitreihenanalysen zum Monitoring der relativen Ertragsentwicklung von Teilschlagarealen, abgebildet über Vegetationsindizes, eingesetzt werden.

Ein rein fernerkundungsbasierter Ansatz klassifizierte 3% von 52 700 ha Ackerfläche eines Untersuchungsgebietes in Mecklenburg-Vorpommern über deren spektrale und temporale Eigenschaften als Teilschlagareale, die wiederkehrend (2009 und 2014) negativ vom mittleren normalisierten differenzierten Vegetationsindex NDVI des jeweiligen Schlags abweichen (ENGLHART et al., 2016; vgl. Abb. 1). Damit lassen sich beispielsweise die Veränderungen von Minderertragsarealen unter dem Einfluss von Klimaänderungen verfolgen.

### Pflanzenwachstumsmodelle und Schadorganismen

Prozess-basierte Pflanzenwachstumsmodelle ermöglichen die Untersuchung veränderter Klimabedingungen auf Kulturpflanzenwachstum, -entwicklung und -erträge in „virtuellen Experimenten“ (MUNZ et al., 2014). Basierend auf zukünftigen Klimaszenarien können neben der Untersuchung des Klimawandeleinflusses auf die Kulturpflanzen im derzeitigen Anbausystem auch mögliche Anpassungsstrategien entwickelt und getestet werden (z.B. TRNKA et al., 2015; VANUYTRECHT et al., 2014). Mögliche Anpassungsstrategien, die in virtuellen Experimenten untersucht werden können, umfassen u.a. zusätzliche Bewässerung, Verschiebung des Anbauzeitraums und die Sortenwahl.

### Weiterer Forschungsbedarf

Die aufgezeigten methodischen Ansätze zeigen, wie vielfältig die Herangehensweise zur Abschätzung der Konsequenzen des Klimawandels für den Pflanzenschutz sind

und sein müssen, um die komplexen Interaktionen verschiedenster Faktoren in Zukunftsszenarien abzubilden. Sie alle beruhen auf einer Vielzahl von Bausteinen und sind hoch komplex. Dennoch und gerade auf Grund dieser Komplexität bestehen derzeit noch erhebliche Limitationen in der Abschätzung zukünftiger, klimawandelbedingter Änderungen für den Pflanzenschutz und die Landwirtschaft allgemein.

Forschungsbedarf besteht daher gleichermaßen bei der Weiterentwicklung der Methoden und der Grundlagenforschung zu Ursache-Wirkungszusammenhängen, um ein besseres Verständnis der Zusammenhänge zu erlangen. Dies schließt die Erweiterung der Datengrundlagen aus Schaderreger-Monitorings und gezielten Versuchen (Labor, Klimakammern und Freiland) ein.

Pflanzenwachstumsmodelle sind ein essentielles Werkzeug in der Klimafolgenforschung. Eine Limitation der meisten Pflanzenwachstumsmodelle besteht jedoch darin, zukünftige Veränderungen im Schaderregerauftreten und die entsprechenden Schaderregerwirkungen nicht abbilden zu können.

Es existiert hier erhöhter Forschungsbedarf im Bereich der Pflanzenwachstumsmodellierung, der auch die Erhebung von Basisdaten (z.B. in Klimakammern) sowie die Kopplung von dynamischen Schaderregermodellen mit Pflanzenwachstumsmodellen umfasst. Die in der Praxis häufig auftretende Interaktion von biotischem und abiotischem Stress (z.B. Trockenheit und/oder Hitze) muss dabei besonders berücksichtigt werden.

### Literatur

ENGLHART, S., M. STÄNGEL, A. KROLL, B. GOLLA, J. FRANKE, 2016: Inventory of potential ecological focus areas in agricultural landscapes in the context of the common agricultural policy reform. SETAC

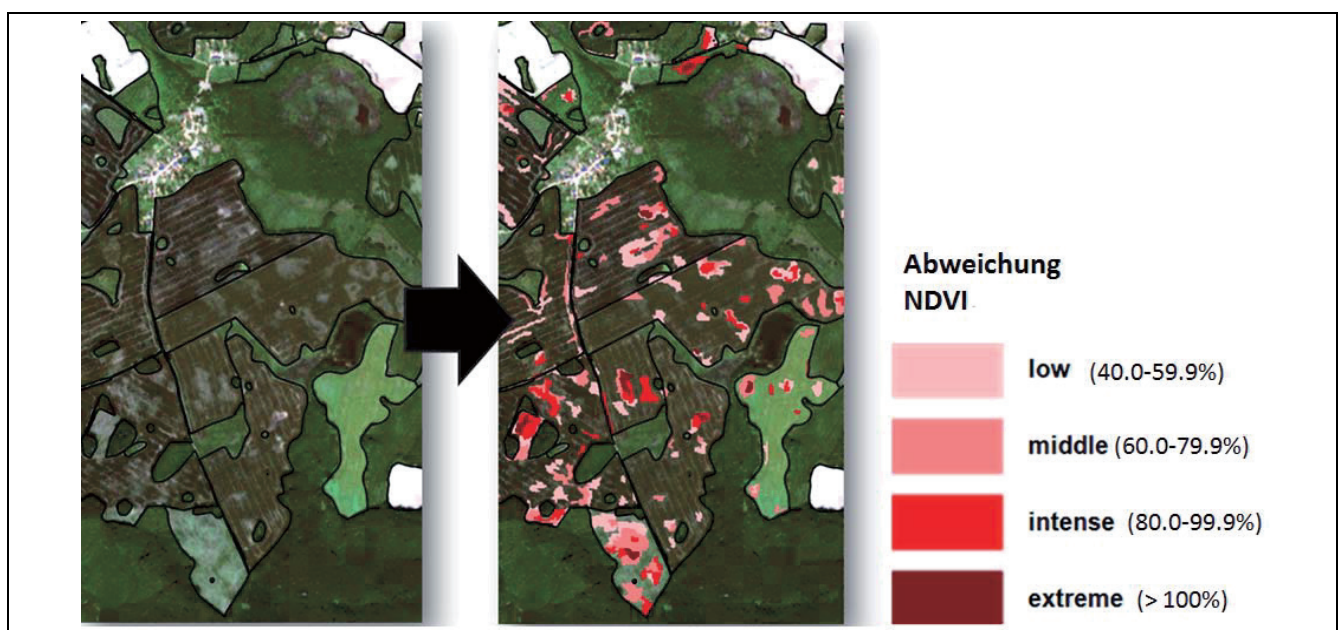


Abb. 1. Teilschlagareale mit wiederkehrender Abweichung (2009, 2014) vom mittleren normalisierten differenzierten Vegetationsindex (NDVI) des jeweiligen Schlags (ENGLHART et al., 2016).

- Europe 26th Annual Meeting, Nantes, France. Abstract Book, S. 354.
- 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, Y., 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.
- HEMETZBERGER, J., B. FREIER, 2015: A literature-based approach to estimate the effect of climate change on plant protection: The example winter wheat. *Berichte aus dem Julius Kühn-Institut* **181**, 23-24.
- JAHN, M., E. KLUGE, S. ENZIAN, 1996: Influence of climate diversity on fungal diseases of field crops – evaluation of long-term monitoring data. *Aspects of Applied Biology* **45**, 247-252.
- JUROSZEK, P., A. VON TIEDEMANN, 2013: Climate change and potential future risks through wheat diseases: A review. *European Journal of Plant Pathology* **136**, 21-33.
- KLUGE E, S. ENZIAN, V. GUTSCHE, 1999: Atlas der potentiellen Befallsgefährdung durch wichtige Schadorganismen im Ackerbau Deutschland, Hrsg. Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin und Braunschweig, ISBN 3-930037-01-7.
- LILIENTHAL, H., J.-M. GREEF, 2017: Monitoring landwirtschaftlicher Flächen mit Satellitenfernerkundung. *Journal für Kulturpflanzen* **69** (2), 76-79.
- MAIXNER, M., M. HOMMES, P. ZWARGER, 2017: Klimawandel – Auswirkungen auf den Pflanzenschutz dieses Heft. *Journal für Kulturpflanzen* **69** (2), 53-55.
- MUNZ, S., T. FEIKE, Q. CHEN, W. CLAUPEIN, S. GRAEFF-HÖNNINGER, 2014: Understanding interactions between cropping pattern, maize cultivar and the local environment in strip-intercropping systems. -- *Agricultural and Forest Meteorology* 195-196, 152-164.
- PETERCORD, R., 2008: Waldschutz und Klimawandel – „Wettlauf“ mit den Schädlingen? *LWF Wissen* **63**, 61-69.
- SEIDEL, P., 2014b: Extremwetterlagen und Schaderreger – extreme Wissenslücken. 2. Apfel, Spargel, Wein und Hopfen. *Gesunde Pflanzen* **66**, 93-101.
- SEIDEL, P., 2014a: 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 (Impacts of extreme weather events on pests, damage caused by pests and plant protection measures – first hints). *Journal für Kulturpflanzen* **68** (9), 253-269.
- SEIDEL, P., 2016b: 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). *Journal für Kulturpflanzen* **68** (11), 313-327.
- SEIDEL, P., 2017: Extremwetterereignisse und ihre Auswirkungen auf Schaderreger in Kartoffeln, Zuckerrüben, Raps und Grünland (Extreme weather events and their effects on plant pests infesting potato, sugar beet, rape and grassland). *Journal für Kulturpflanzen* **69**, (im Druck).
- SEIDEL, P., J. SELLMANN, 2016: 6 years KLIMAPS-JKI: database on climate change and agriculture turns out to be a major success. *Journal of Plant Diseases and Protection* **123** (3), 141-143.
- STÖSSEL, B., 2015: Weather-disease relationships and future disease potential of leaf rust and powdery mildew in Saxony-Anhalt. Dissertation Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- STÖSSEL, B., B. FREIER, F. WECHSUNG, 2013: Study on the influence of weather periods on the occurrence of leaf rust and powdery mildew in winter wheat using an interval-based correlation approach (Untersuchung des Einflusses der Witterung auf das Auftreten von Braunrost und Ephem Mehltau an Winterweizen mit Hilfe eines intervallbasierten Korrelationsansatzes). *Journal für Kulturpflanzen* **65** (8), 315-327.
- TRNKA, M., P. HLAVINKA, M.A. SEMENOV, 2015: Adaptation options for wheat in Europe will be limited by increased adverse weather events under climate change. -- *Journal of The Royal Society Interface* **12**.
- VANUYTRECHT, E., D. RAES, P. WILLEMS, M.A. SEMENOV, 2014: Comparing climate change impacts on cereals based on CMIP3 and EU-ENSEMBLES climate scenarios. *Agricultural and Forest Meteorology* 195-196, 12-23.
- WITTCHEN, U., SCHWARZ, J., PALLUTT, B., 2015a: Versuchsfeld Dahnsdorf – 15 Jahre agrarmeteorologische Messungen, Teil 1: Allgemeines. *Journal für Kulturpflanzen* **67** (5), 153-161.
- WITTCHEN, U., J. SCHWARZ, B. PALLUTT, 2015b: Versuchsfeld Dahnsdorf – 15 Jahre agrarmeteorologische Messungen, Teil 4: Extreme Witterungsereignisse. *Journal für Kulturpflanzen* **67** (5), 184-201.