

Torsten Meiners, Stefan Lorenz

Anpassungsstrategien an den Klimawandel – Herausforderungen in der Entwicklung von Maßnahmen in den Bereichen Phytochemie, Vorratsschutz, Umweltverhalten und Auswirkung von Agrarchemikalien

Strategies for adaptation to climate change – Challenges for the development of actions and measures in the fields of Phytochemistry, Stored product protection, and Environmental behaviour and impacts of agrochemicals

69

Einleitung

Klimaveränderungen durch erhöhte Treibhausgasemissionen, Ozonwerte, Salzgehalte, Trockenheit und Wasserlimitierung sowie Starkregenereignisse werden in Zukunft einen großen Einfluss auf unsere Kulturpflanzen haben (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014; WIEBE et al., 2015). Damit werden – je nach Region und zukünftigem Erfolg von Anpassungsstrategien – der Ertrag und die Qualität unserer Nahrungs- und Energiepflanzen gemindert sowie Resistenzen und Qualitäten der bisherigen Kulturpflanzensorten u.a. durch Modifikation ihrer inhaltsstofflichen Eigenschaften potentiell verändert. Ferner wird sich das Anbauspektrum der Kulturpflanzenarten zu Klimasorten mit anderen Qualitäts-, Toleranz- und Resistenzeigenschaften verschieben. Diese Veränderungen werden Auswirkungen auf der Produktionsfläche haben, aber ebenso auch beim Transport, der Lagerung und der Verarbeitung der Pflanzen. Auf dem Feld werden modifizierte Interaktionen mit Schadorganismen (Herbivore, Mikroorganismen, Unkräuter) und deren Gegenspielern veränderte Maßnahmen zum Schutz der Kulturpflanzen erfordern (SEIDEL, 2016). Die einhergehende mögliche Verlängerung der landwirtschaftlichen Saison wird neue Managementmaßnahmen wie neue Anwendungen von Pflanzenschutz- und Düngemitteln erfordern, wobei sich auch die Häufigkeit und

der Zeitraum der Anwendungen im Jahresverlauf verschieben können. Diese geänderten Rahmenbedingungen müssen berücksichtigt werden, um die Biodiversität und die ökologische Funktion ackerbegleitender Vegetation sowie von Boden- und Gewässerorganismen nachhaltig zu erhalten.

Die Frage nach neuen Erkenntnissen und Methoden beim Kulturpflanzenschutz unter veränderten Klimabedingungen ist umso drängender, da die Europäische Union den Gebrauch und die Registrierung von Pflanzenschutzmitteln zunehmend einschränkt (EUROPEAN COMMISSION, 2013) und Alternativen bereits ohne die Herausforderungen der Klimaveränderungen dringend benötigt werden. Verschiedene von Pflanzenzüchtern bereit gehaltene Ressourcen von angepassten Pflanzensorten bieten die Möglichkeit auf veränderte Standortbedingungen zu reagieren. Je nach Stressor lassen sich Pflanzen mit den entsprechenden Eigenschaften (z.B. Toleranzen, Resistenzen) einsetzen. Allerdings müssen sich Pflanzen nicht allein im „luftleeren Raum“ bzw. im Labor bei Veränderung eines Faktors beweisen, sondern widerstandsfähig sein gegenüber multiplen abiotischen und biotischen Faktoren (MEINERS, 2015), welche die Bedeutung des klimabedingten Stressors erhöhen oder verringern können. Hier bedarf es eines umfassenden Ansatzes um effiziente Anpassungsstrategien an die Klimaveränderungen zu entwickeln (Abb. 1). Im Folgenden werden die Strate-

Institut

Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz, Berlin

Kontaktanschrift

Dr. Torsten Meiners, Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz, Königin-Luise-Straße 19, 14195 Berlin, E-Mail: torsten.meiners@julius-kuehn.de

Zur Veröffentlichung angenommen

21. Dezember 2016

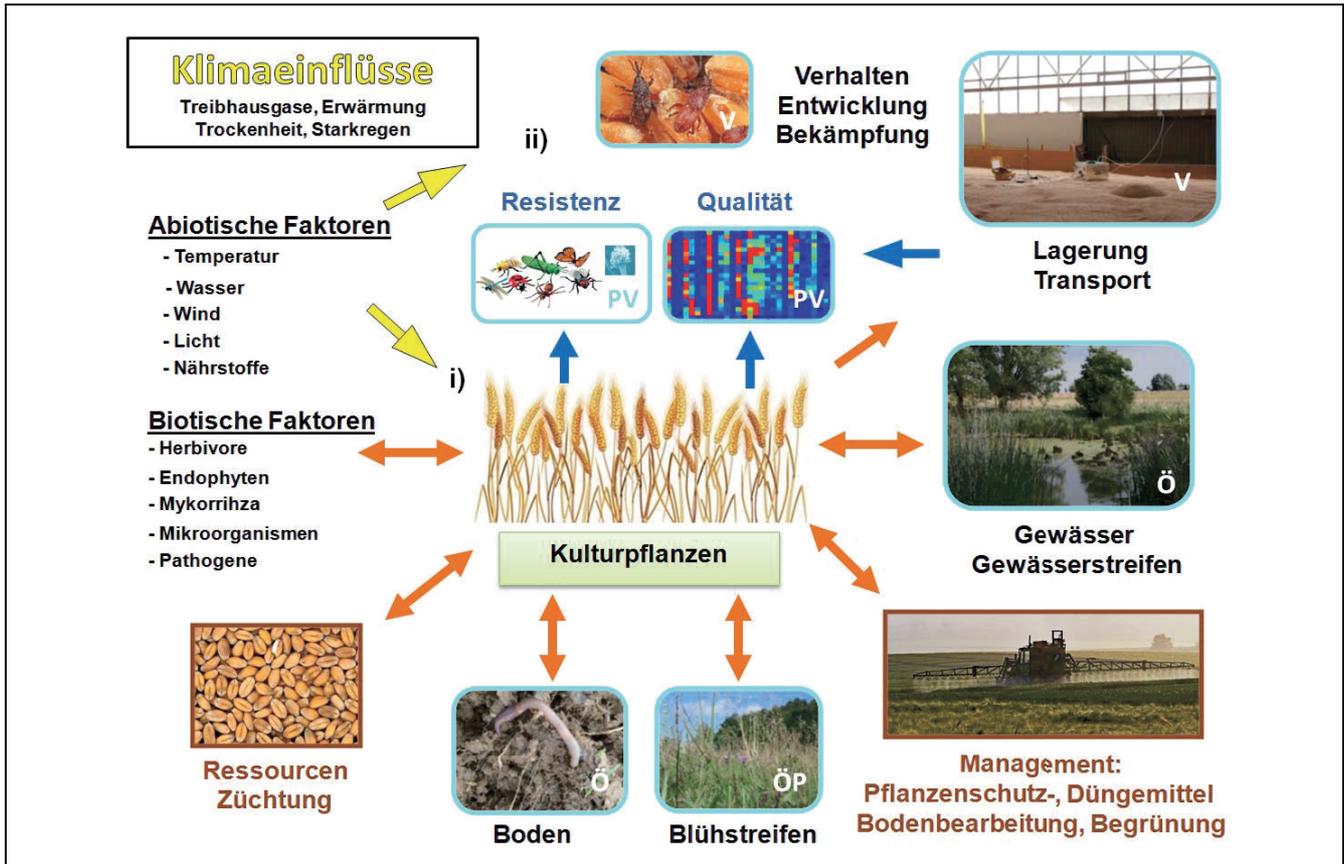


Abb. 1. Forschungsaktivitäten in den Bereichen Umweltverhalten und Auswirkung von Agrarchemikalien (ökologische Chemie – Ö), Phytochemie (P) und Vorratsschutz (V) zur Entwicklung von Anpassungsstrategien an den Klimawandel (i) bei Kulturpflanzen auf dem Feld und (ii) bei der Lagerung und dem Transport von Vorratsgütern. Dargestellt sind direkte (gelbe Pfeile) und indirekte (orangene Pfeile) Klimaeinflüsse auf Kulturpflanzen und daraus resultierende Veränderungen in Resistenz und Qualität (blaue Pfeile). Neben der Wirkung abiotischer Faktoren werden Interaktionen der Kulturpflanze bzw. bereitgestellter Ressourcen (i) mit biotischen Faktoren und Boden, Blühstreifen, Gewässer und Gewässerstreifen unter den jeweils verwendeten Managementmaßnahmen (Pflanzenschutz-, Düngemittelgabe) und (ii) mit Verhalten, Entwicklung und Bekämpfung vorratsschädlicher Organismen berücksichtigt.

gien dargestellt, mit denen die Fachbereiche des Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz als Teil des Julius Kühn-Instituts (JKI) in seinen Kernbereichen auf den veränderten Forschungsbedarf reagieren, um zukünftigen durch Klimawandel bedingten Herausforderungen Rechnung zu tragen.

Fachbereich Phytochemie

Im Fachbereich Phytochemie am JKI wird die Diversität pflanzlicher Inhaltsstoffe sowie deren Bedeutung hinsichtlich Qualität, Resistenz und Stresstoleranz von Kulturpflanzen untersucht. Daneben werden die durch Umwelteinflüsse oder Klimaveränderungen induzierten Veränderungen pflanzlicher Stoffwechselforgänge mit modernen chromatographischen Verfahren in Kombination mit Massenspektrometrie (GC-MS/LC-MS) sowie mit analytischen Schnellmethoden auf Basis der Infrarot- und Ramanspektroskopie untersucht. Dabei werden Qualitäts- und Resistenzparameter identifiziert und bewertet (KRÄHMER et al., 2016; ULRICH et al., 2015) (Abb. 1). Mit

Hilfe der heute verfügbaren hochleistungsfähigen Metabolitanalytik (z.B. Flugzeitmassenspektrometer, UHPLC-TOF) können auch für sehr komplexe Merkmale wie die sensorische Qualität chemische Marker gefunden und für die Züchtungspraxis bereitgestellt werden (ULRICH und OLBRIGHT, 2016). Durch Assoziation von genetischer Variation mit metabolischen Phänotypen können gegebenenfalls genetische Kontrollstellen für die Stoffwechselprodukte in Kooperation mit der Züchtungsforschung und der Pflanzengenetik identifiziert werden (VOGT et al., 2013). Mittels Metaboliten-Profilings werden so Genbank-Akzessionen analysiert um geeignete Wildtypen- bzw. alte Sorten zu selektieren, die die Qualitäts- und Resistenzeigenschaften von Kulturpflanzen unter veränderten Klimaeinflüssen verbessern können. Metabolische Marker (z.B. für Trockenstress oder für Insekten- und Pilzresistenz) erlauben ein schnelles Screening resistenter Sorten oder Chemotypen. Mit den erwähnten Schnellmethoden lässt sich eine klimabedingte geänderte Verteilung von Inhaltsstoffen in der Pflanze feststellen, die zu veränderten Qualitäten oder Resistenzen im ernterelevanten Pflanzenteil führen kann. Toxine, die durch klima-

bedingten veränderten Befall der Pflanze durch Schadorganismen oder durch die veränderten abiotischen Bedingungen durch die Pflanze selbst entstehen (WU und MITCHELL, 2016), werden durch chromatographische Methoden quantitativ bestimmt. Somit können anschließend Maßnahmen zur Reduzierung dieser Toxine in Lebens- und Futtermitteln erarbeitet werden. Klimabedingte Veränderungen inhaltsstofflicher Eigenschaften und damit einhergehende Resistenz können auch über die Erhebung der Befallssituation bei inhaltsstofflichen Varietäten im Feld oder durch Biotests mit diesen ermittelt werden. Darüber hinaus lassen sich mit Genbank-Screenings auch Elitepflanzen zur Gewinnung biobasierter Produkte (z.B. natürlicher Pflanzenschutzmittel) auffinden, die bei veränderter Gefährdungslage (neue oder Ausbreitung vorhandener Schädlingearten, Krankheiten und Unkräuter) eingesetzt werden können. Nicht zuletzt können inhaltsstoffliche Veränderungen von Pflanzen als Bestandteil eines Indikatorsystems zur Bewertung von Maßnahmen zur Anpassung an die Klimaveränderungen berücksichtigt werden.

Fachbereich Vorratsschutz

Im Bereich Vorratsschutz werden umweltschonende Verfahren zur Vermeidung, Früherkennung und Bekämpfung vorratsschädlicher Insekten entwickelt und bewertet. Hier ist in Bezug auf die Auswirkungen von Klimaveränderungen ein Forschungsbedarf zu erkennen (MOSES et al., 2015).

Zunächst ist zu vermuten, dass sich etablierte Vorratsschädlinge an abiotische Veränderungen anpassen können und so ihr Schadpotential erhalten bleibt oder sich sogar erhöht. Zum einen können höhere Temperaturen mehr Entwicklungszyklen pro Jahr ermöglichen, zum anderen kann es zu relevanten Populationsentwicklungen von Schädlingearten kommen, deren Vermehrung und Etablierung unter den aktuell vorherrschenden Temperaturen nicht möglich war. Gängige Bekämpfungsmaßnahmen können durch abiotische Veränderungen an Wirksamkeit verlieren, zum Beispiel durch einen schnelleren chemischen wie metabolischen Abbau von Vorratsschutzmitteln.

Ein weiterer Aspekt ist die Anpassung von Vorratsschädlingen und die Etablierung anderer/neuer gelagerter Pflanzenerzeugnisse (Abb. 1), wie Soja und Süßlupine. Hier ist eine Kooperation auf dem Gebiet der Züchtungsforschung anzustreben, um zum Beispiel resiliente Weizensorten mit veränderter Kornhärte oder einem veränderten Spektrum an Duftstoffen testen zu können.

Um auf eine gesicherte Datengrundlage zurückgreifen zu können, sollte die Erfassung von Vorratsschädlingen und deren Verbreitung in Deutschland vorgenommen werden. Ebenso können Verbesserungen in der Lagerungstechnik hin zu einer schädlingdichten Lagerung oder Lagerung bei tiefen Temperaturen nicht nur in tropischen, sondern auch in gemäßigten Breiten zur Vermeidung von Verlusten im Ursprungsland bzw. auf dem Transportweg beitragen. Diese Maßnahmen dienen so letzt-

endlich auch einer Krisenprävention (z.B. bei Extremwetterlagen und Fehlernten). Generell ist bei unsicheren Ertragsaussichten eine Erhöhung der strategischen Reserven in den verschiedenen Regionen der Erde, soweit realisierbar, empfehlenswert.

Fachbereich Umweltverhalten und Auswirkung von Agrarchemikalien

Agrarchemikalien stehen im Fokus der klimarelevanten Forschung dieses Bereichs. Der Einfluss von Umwelt- und Klimaänderungen wird Eintrag, Verhalten, Verbleib und Auswirkungen von Pflanzenschutz- und Düngemitteln in der Agrar- und Kulturlandschaft und in Nahrungsketten zukünftig wahrscheinlich verändern (Abb. 1). Dadurch können die Verbreitung, Diversität und Funktion von Schaderregern und Nichtzielorganismen (Bodenmikro- und Bodenmakroorganismen, Gewässerorganismen, Nützlinge) als auch deren Sensitivität beeinflusst werden. So kann die Bekämpfung klimabedingter „Einwanderer“ wie dem Maiswurzelbohrer negative Effekte auf heimische Bienen haben (GEORGIADIS et al., 2012). Strategisch müssen die Auswirkungen der Klimaänderungen sowohl unmittelbar auf Feldebene als auch auf größeren Skalen bis zur Landschaftsebene unter Berücksichtigung von Böden, angrenzenden Gewässern, Gewässerrand- und Blühstreifen (LORENZ et al., 2016; STRASSEMAYER et al., 2017) betrachtet werden. Ergebnisse aus wärmeren Regionen lassen sich nicht ohne weiteres auf die zu erwartenden Bedingungen in Deutschland übertragen, da sowohl die Böden als auch die Pflanzengemeinschaften und Bodenorganismen charakteristische Unterschiede aufweisen. Ziel muss daher sein, das Verständnis der biologischen und chemischen Zusammenhänge in klimaveränderten Agrarökosystemen zu verbessern, um veränderten Stoffeinträgen, -umwandlungen und -austrägen (z.B. Abdrift, Erosion) (NOYES et al., 2009) Rechnung zu tragen und zielgerichtete Managementmaßnahmen zu entwickeln. Die chemische Analytik profitiert hierbei von modernen chromatographischen Gerätesystemen der HPLC-MS/MS und GC-MS/MS sowie der Atomemissionsspektroskopie (ICP-OES). Diese technische Ausstattung ermöglicht es, die Gehalte von Umweltkontaminanten zu quantifizieren und so durch Klimabedingungen veränderte Abbauprozesse im Agrarökosystem zu erfassen und zu interpretieren um damit neue Handlungsoptionen für Risikominimierungsmaßnahmen vorzuschlagen. Eine gekoppelte wirkungsbezogene biologische Analytik und die Anwendung moderner Gerätesysteme, wie z.B. Verhaltensmonitoring-Systeme, auf experimentellen Versuchsflächen oder in Gewässersokosmen ermöglicht es, die von den Stoffen nach Klimaveränderung ausgehenden veränderten Risiken oder die Wiederherholung von Ökosystemen abzuschätzen (FRIEDEMANN et al., 2016). Diese Erkenntnisse bilden die Basis für künftige Anwendungen von Pflanzenschutzmitteln und die Ableitung von Handlungsoptionen/-hilfen für Anpassungsmaßnahmen, die dann in enger Zusammenarbeit mit Partnern in der Praxis validiert werden können.

Ausblick

Die Analyse von a) Qualitäts- und Resistenzparametern von Kulturpflanzen, b) der Ausbreitung und Entwicklung vorrattschädlicher Organismen, und c) Transportwegen, Verbleib und Abbau sowie Auswirkungen organischer und anorganischer Substanzen unter geänderten Klimabedingungen liefert Daten, welche die Grundlage für Modelle zur Auswirkung der Klimaveränderung auf den Kulturpflanzenanbau bilden. Solche Modelle würden zukünftig die Möglichkeit bieten, neue Parameter und Handlungsoptionen z.B. für Pflanzenzucht, Pflanzen- und Vorratsschutz bereitzustellen, welche das Potential bieten, die durch Klimaveränderungen drohenden Risiken für den Ertrag und die Qualität unserer Nahrungs- und Energiepflanzen zu minimieren. Die breite inhaltliche und methodische Ausrichtung des Instituts für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz und seine Vernetzung mit den Partnerinstituten am JKI ermöglicht die Betrachtung der Wertschöpfungskette pflanzlicher Ressourcen (Züchtung-Anbau-Lagerung-Verarbeitung) und unterstützt somit die Bewertung neuer, an zukünftige Klimaveränderungen angepasster Sorten und Anbausysteme.

Literatur

- EUROPEAN COMMISSION, 2013: European Commission, Commission Implementing Regulation (EU) No 485/2013 of 24 May 2013 Amending Implementing Regulation (EU) No 540/2011, as Regards the Conditions of Approval of the Active Substances Clothianidin, Thiamethoxam and Imidacloprid, and Prohibiting the Use and Sale of Seeds Treated with Plant Protection Products Containing those Active Substances. Official Journal of the European Union, Vol. **139**, 12-26. Available online at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32013R0485>.
- FRIEDEMANN, A., W. PESTEMER, S. LORENZ, 2016: Kombinationswirkung der Pflanzenschutzmittel Caramba (a.i. Metconazol) und Calypso (a.i. Thiacloprid) auf das Aktivitätsverhalten des Mexikanischen Bachflohkrebses (*Hyalomma azteca*) bei unterschiedlichen Seditmentcharakteristika. *Julius-Kühn-Archiv* **454**, 512-513.
- GEORGIADIS, P.-T., J. PISTORIUS, U. HEIMBACH, M. STÄHLER, K. SCHWABE, 2012: Staubabdrift bei der Aussaat von Mais und Raps – Auswirkungen auf Honigbienen. *Julius-Kühn-Archiv* **438**, 106.
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Eds.: FIELD, C.B., V.R. BARROS, D.J. DOKKEN, K.J. MACH, M.D. MAstrandrea, T.E. BILIR, M. CHATTERJEE, K.L. EBI, Y.O. ESTRADA, R.C. GENOVA, B. GIRMA, E.S. KISSEL, A.N. LEVY, S. MACCracken, P.R. MASTRANDREA, L.L. WHITE), Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 1132 pp.
- KRÄHMER, A., C. BÖTTCHER, A. RODE, T. NOTHNAGEL, H. SCHULZ, 2016: Quantifying biochemical quality parameters in carrots (*Daucus carota* L.) – FT-Raman spectroscopy as efficient tool for rapid metabolite profiling. *Food Chemistry* **212**, 495-502.
- LORENZ, S., J.J. RASMUSSEN, A. SÜSS, T. KALETTKA, B. GOLLA, P. HORNEY, M. STÄHLER, B. HOMMEL, R.B. SCHÄFER, 2016: Specifics and challenges of assessing exposure and effects of pesticides in small water bodies. *Hydrobiologia*, doi: 10.1007/s10750-016-2973-6.
- MEINERS, T., 2015: Chemical ecology and evolution of plant-insect interactions: a multitrophic perspective. *Current Opinion in Insect Science* **8**, 22-28.
- MOSES, J.A., D.S. JAYAS, K. ALAGUSUNDARAM, 2015: Climate change and its implications on stored food grains. *Agricultural Research* **4**, 21-30.
- NOYES, P.D., M.K. MCELWEE, H.D. MILLER, B.W. CLARK, L.A. VAN TIEM, K.C. WALCOTT, K.N. ERWIN, E.D. LEVIN, 2009: The toxicology of climate change: environmental contaminants in a warming world. *Environment International* **35**, 971-986.
- SEIDEL, P., 2016: Auswirkungen von Extremwetterereignissen auf Schaderreger, ihre Schädwirkung und Pflanzenschutzmaßnahmen – erste Hinweise. *Journal für Kulturpflanzen* **68**, 253-269.
- STRASSEMEYER, J., D. DAEHMLow, A.R. DOMINIC, S. LORENZ, B. GOLLA, 2017: SYNOPSIS-WEB, an online tool for environmental risk assessment to evaluate pesticide strategies on field level. *Crop Protection*, doi: 10.1016/j.cropro.2016.11.036
- ULRICH, D., T. NOTHNAGEL, H. SCHULZ, 2015: Influence of cultivar and harvest year on the volatile profiles of leaves and roots of carrots (*Daucus carota* spp. *sativus* Hoffm.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **63**, 3348-3356.
- ULRICH, D., K. OLBRIGHT, 2016: A search for the ideal flavor of strawberry – Comparison of consumer acceptance and metabolite patterns in *Fragaria* × *ananassa* Duch. *Journal of Applied Botany and Food Quality* **89**, 223-234.
- VOGT, J., D. SCHILLER, D. ULRICH, W. SCHWAB, F. DUNEMANN, 2013: Identification of lipoxygenase (LOX) genes putatively involved in fruit flavour formation in apple (*Malus* × *domestica*). *Tree Genetics & Genomes* **9**, 1493-1511.
- WU, F., N.J. MITCHELL, 2016: How climate change and regulations can affect the economics of mycotoxins. *World Mycotoxin Journal*, 1-12.
- WIEBE, K., H. LOTZE-CAMPEN, R. SANDS, A. TABEAU, D. VAN DER MENSBRUGGHE, A. BIEWALD, B. BODIRSKY, S. ISLAM, A. KAVALLARI, D. MASON-D'croz, C. MÜLLER, A. POPP, R. ROBERTSON, S. ROBINSON, H. VAN MELJ, D. WILLENBOCKEL, 2015: Climate change impacts on agriculture in 2050 under a range of plausible socioeconomic and emissions scenarios. *Environmental Research Letters* **10**, 085010.