

Wie könnte der Klimawandel das Zusammenspiel von Unkräutern und Feldfrüchten verändern?

How might climate change alter the interactions between weeds and crops?

Kristian Peters* & Bärbel Gerowitt

Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät – Phytomedizin, Satower Str. 48, D-18059 Rostock

*Korrespondierender Autor, kristian.peters@uni-rostock.de

DOI: 10.5073/jka.2012.434.003

Zusammenfassung

Der Klimawandel führt zu vielschichtigen Veränderungen im Agrarökosystem und verändert das Zusammenspiel von Unkräutern und Kulturpflanzen. Unkräuter reagieren individuell auf die Veränderungen. Durch Zu- und Abnahmen, dem Verschwinden und Neuauftreten von Unkrautarten, sowie Veränderungen von Merkmalen und Konkurrenzbeziehungen ergeben sich Umschichtungen im Unkrautartenspektrum, den Abundanzen einzelner Arten und veränderte Schädwirkungen. Doch auch agrarische Reaktionen auf den Klimawandel und Landnutzungswandel beeinflussen dieses Zusammenspiel. Aus den unterschiedlichen Zusammenhängen ergeben sich verschiedene Handlungsmöglichkeiten.

Stichwörter: Feldfrüchte, Klimawandel, Unkräuter, Verschiebungen, Wechselwirkung, Zusammenspiel

Summary

Climate change will affect the agricultural ecosystem on different levels. It also alters interactions of weeds and crops. Each weed reacts on an individual basis to changes. Weeds can show an increase or decrease in abundance, can invade new areas or can completely vanish. They also can change traits to be more competitive. Overall, this will result in a different abundance and composition of weeds, as well as a different damaging potential. Land-use changes and agricultural adoption strategies to climate change will have dramatic influence on the interactions as well. Based on these interactions, there will be various options for dealing with climate change.

Keywords: Climate change, crops, interactions, shifts, weeds

1. Einleitung

Klimawandel wird zu komplexen Veränderungen in Agrarökosystemen führen und das Gefüge von Klima, Pflanze und Landnutzung stark verändern. Bislang gibt es nur wenige Untersuchungen, die die Zusammenhänge von Klima, Unkräutern und agrarischen Anpassungsaspekten zugleich behandeln. Das liegt sicherlich auch daran, dass es schwierig ist, Landnutzungswandel und agrarische Anpassungen im Klimawandel vorherzusagen, da diese u. a. auch politischen Entscheidungen unterliegen. Bisher wenig beachtete indirekte Auswirkungen eines Klimawandels und Rückkopplungseffekte agrarischer Anpassungen haben einen nicht minder großen Einfluss auf die Unkrautartenzusammensetzung im Agrarökosystem. Im Folgenden wird aufgezeigt, wie das Zusammenspiel von Unkräutern und Feldfrüchten von sich ändernden Klimabedingungen beeinflusst werden könnte.

2. Klimawandel

2.1 Prognosen für Deutschland

Dass Klima sich wandelt, ist ein Phänomen, das unseren Planeten mit seinen Pflanzen- und Tierarten immer geprägt hat. Veränderungen treten dabei nie abrupt auf, sondern es sind dynamische Prozesse. Da Klimadaten eine natürliche Streuung aufweisen, sind längerfristige Beobachtungen erforderlich um Trends zu erkennen und abzusichern. Anhand verschiedener Parameter, die u.a. aus den Reaktionen der Vegetation ermittelt werden (z. B. der immer früher auftretende Zeitpunkt der Apfelblüte, siehe MENZEL et al. (2003)) lassen sich diese Trends inzwischen deutlich erkennen. Klimamodelle werden genutzt, um aus gemessenen Trends Prognosen abzuleiten (IPCC, 2010). Dabei entstehen, je nach Zukunftsannahmen, vor allem für die Beeinflussung des Wandels durch

menschliche Aktivitäten, verschiedene Szenarien.

Auswirkungen des Klimawandels äußern sich u. a. in veränderten Temperaturregimen. Für Deutschland wird für das Jahr 2100 ein Temperaturanstieg von ca. 2 °C für die Sommermonate und etwa 2,5 °C für die Wintermonate prognostiziert (basierend auf dem A1B-Szenario des IPCC, siehe dazu IPCC (2010). Während die Sommer i. d. R. auch trockener werden, berechnen die Vorhersagemodelle eine Zunahme der Niederschläge während der Wintermonate in Deutschland.

Mit dem Klimawandel wird zudem eine Zunahme der Wetterextreme einhergehen (JENTSCH et al., 2009) – sowohl in Anzahl als auch Intensität. Extreme Wetterereignisse wie Stürme, Überflutungen, extreme kurze Hitze- oder Kälteperioden stellen eine zusätzliche, weitgehend unkalkulierbare Gefahr für die Kulturpflanzenbestände dar.

2.2 Landnutzungswandel durch Klimawandel

Dem dynamischen Klimawandel passt sich die Landnutzung natürlich ebenso dynamisch an. Saat- und Erntetermine verschieben sich bei höheren Temperaturen im Herbst und Frühjahr zunächst leicht: Frühjahrssaaten werden immer früher durchgeführt, da auch das Risiko von Spätfrösten sinkt. Herbstsaaten können wegen geringerer Gefahr von Frösten dagegen später im Jahr erfolgen. Ausgeprägte Frühjahrs- oder Frühsommertrockenheiten sprechen für vorgezogene Saattermine, damit die Feldfrüchte die Winterniederschläge vorher bestmöglich nutzen können. Durch das Aufgreifen dieser Prozesse entwickeln Pflanzenzüchter parallel dazu neue angepasste Sorten, die weitere Verschiebungen ermöglichen. Im Zentrum stehen hierbei Kälte- und Trockenheitstoleranz – Beispiele sind die Entwicklungen bei Mais und Zuckerrüben. Aber auch das Vernalisationsbedürfnis und die Reaktion auf Veränderungen der Tageslängen sind in Grenzen züchterisch zu beeinflussen – Beispiel ist z.B. Wechselweizen. Hinzu können ganz neue Arten kommen, deren Anbau durch das Zusammenspiel von züchterischer Anpassung und Klimawandel möglich wird – Beispiel ist der Anbau von Sojabohnen oder Kulturhirsen in Deutschland.

Der Klimawandel wird aber nicht nur die Sortenwahl, Saat- und Erntetermine beeinflussen, sondern auch die Herbizidapplikation. Trockene und warme Bedingungen werden stets blattaktive Wirkstoffe begünstigen. Höhere Niederschläge und weniger klassische Vegetationsruhe im Winter können trotzdem die Notwendigkeit, Bodenherbizide einzusetzen, ansteigen lassen. Gravierend kann der Herbizideinsatz auch mögliche Fruchtfolgen beeinflussen. Herbizide mit einer gewissen Persistenz können bei spätem Einsatz und frühen Ernteterminen Nachbauprobleme verursachen, insbesondere wenn nicht gepflegt wird um Bodenfeuchte zu konservieren. Die Pflanzenschutzmittelzulassung wird hierauf langfristig sicher reagieren, sodass auch Änderungen im verfügbaren Wirkungsspektrum zu erwarten sind.

Des Weiteren können Feldfrüchte auch durch politische Programme im Bereich Klimaschutz oder Klimawandel gefördert werden. Ein prägnantes Beispiel ist die massive Ausweitung des Maisanbaus durch die Subventionierung der Energieerzeugung in Biogasanlagen. Eintretenswahrscheinlichkeiten und Auswirkungen solcher Prozesse auf die Landnutzung sind schwer zu prognostizieren. Das Zusammenspiel von Unkräutern und Feldfrüchten im Klimawandel beeinflussen sie nichtsdestotrotz stark.

Die hier nur kurz angerissenen Anpassungen der agrarischen Nutzung von Ackerstandorten werden auch die Unkräuter massiv beeinflussen, deren Zusammensetzung verändern und Einfluss auf ihre Merkmale ausüben.

3. Unkräuter im Klima- und Landnutzungswandel

3.1 Reaktionsmöglichkeiten

Einige Unkrautarten besitzen eine breite ökologische Amplitude hinsichtlich der Umweltbedingungen und sind fähig, die neuen Klimabedingungen zu ertragen. Einige wenige Arten werden sich den neuen Bedingungen sogar adaptiv anpassen können. Die meisten Arten dagegen sind nicht in der Lage, sich den schnell verändernden Bedingungen anzupassen und daher

gezwungen, in einem gewissen, für sie typischen, Klimahorizont mit zu wandern. Arten, die dies nicht vermögen, laufen Gefahr auszusterben. Generell können Pflanzenarten die direkten und indirekten Auswirkungen des Klimawandels also nur ertragen, sich ihnen anpassen oder sie vermeiden.

Der Klimawandel führt zu Verschiebungen, aus denen dann spürbare Veränderungen resultieren (s. Abb. 1), einige wichtige werden im Folgenden beschrieben. Verschiebungen (*shifts*) sind Prozesse, die vom Klimawandel an der Vegetation hervorgerufen werden und sich mit Zunahme zielgerichtet verstärken. Wir haben drei wichtige Verschiebungsebenen im Agrarökosystem identifiziert. Generell unterscheiden wir geografische (sog. *range shifts*), ökologische (sog. *niche shifts*) und arttypische (sog. *trait shifts*) Verschiebungsprozesse. Treten diese im Agrarökosystem auf, so führen sie zu Veränderungen in dem agrarisch relevanten Zusammenspiel der Arten auf dem Acker. Weil Ackerbau auch voraussetzt, das Unkrautauftreten in irgendeiner Weise zu begrenzen, kommt es zu Rückkoppelungseffekten mit den agrarischen Reaktionen in der Landnutzung.

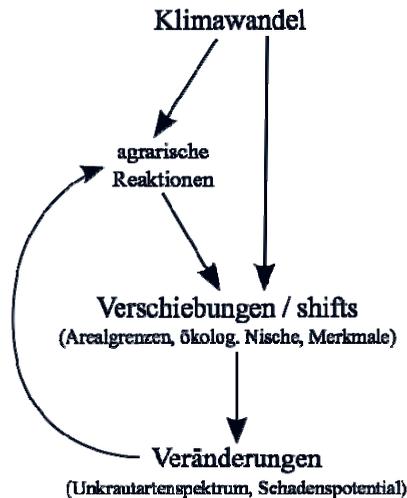


Abb. 1 Ebenen von Unkraut-Verschiebungen ausgelöst durch den Klimawandel.

Fig. 1: Different levels of climate-mediated weed shifts

3.2 Ebenen für Verschiebungen durch Klimaeinflüsse

3.2.1 Verschiebung von Arealgrenzen

Momentan drängen Wärme-angepasste, südlich verbreitete Arten weiter nordwärts. Sie verlagern ihr Verbreitungsareal mit dem Klimawandel und wandern mit einem für sie akzeptablem Klimahorizont. Diesen Mechanismus fasst man unter dem Begriff *range shift* zusammen (WALTHER et al., 2002). Er beschreibt hauptsächlich geografische Verlagerungserscheinungen der Arten.

So ist z. B. in Winterraps zur Zeit eine Zunahme von Storchschnabel-Arten zu verzeichnen. Im Süden Deutschlands ist *Geranium dissectum* (Schlitzblättriger Storchschnabel) bereits verbreitet, während im Norden *Geranium pusillum* (Kleiner Storchschnabel) häufiger in Raps-Kulturen auftritt (GOERKE et al., 2008)¹. Im Zuge der Erwärmung ist anzunehmen, dass *G. dissectum* weiter nördlich wandert und *G. pusillum* mehr oder weniger in den dortigen Rapskulturen ersetzt.

In den letzten Jahren sind beginnende Verschiebungen im Mais besonders auffällig. Hier nehmen v. a. die Unkrauthirs zu. Sie profitieren aber auch vom allgemein zunehmenden großflächigen

¹ Die in diesem Artikel verwendete botanische Nomenklatur richtet sich nach WISSKIRCHEN und HAUPLER (1998). Sie ist u. a. im Internet unter www.floraweb.de abrufbar.

Maisanbau, ihrer nahen Verwandtschaft zu Mais, der einseitigen Herbizidapplikation, Maisdaueranbau oder sehr engen Fruchtfolgen. *Echinochloa crus-galli* (Gewöhnliche Hühnerhirse), verschiedene *Setaria*- und *Digitaria*-Arten (Borsten- und Fingerhirsen), sowie *Sorghum halepense* (Wilde Mohrenhirse) gehören zu den Profiteuren.

Derzeit wandern für Deutschland bisher für Äcker unbekannt Arten ein. *Datura stramonium* (Weißer Stechapfel), *Iva xanthiifolia* (Schlagkraut), *Panicum dichotomiflorum* (Gabelästige Rispenhirse) oder *Setaria faberi* (Farbers Borstenhirse) könnten vom Klimawandel profitieren und sich von Süden kommend weiter nordwärts auf den Äckern ausbreiten.

Einige Unkrautarten vermögen diesem schnellen Wandel jedoch nicht standzuhalten. Es besteht die Gefahr, dass diese aussterben – ein Problem vieler derzeit gefährdeter Arten.

3.2.2 Verschiebung der ökologischen Nische

Ökologisch wird sich auch eine Verschiebung der realisierten Nische vollziehen – ein Prozess den man unter dem Begriff *niche shift* zusammenfassen kann (NOGUÉS-BRAVO, 2009). Gerade das Klima ist einer der wichtigsten Faktoren, der die fundamentale Nische einer Art (also die theoretische Bandbreite an Bedingungen, unter die eine Art vorkommen kann) begrenzt. Die realisierte Nische ist das Ergebnis zahlreicher limitierender Faktoren der Umwelt und Organismen, die die Nische weiter eingrenzen. Verschiebt sich der Umweltfaktor Klima, so verschiebt sich auch die realisierte Nische.

Darüber hinaus tendierten viele Arten zu einem Nischenkonservatismus (PEARMAN et al., 2008) und verlieren die Fähigkeit, sich außerhalb ihrer ökologischen Nische zu entwickeln, da sie sich über Zeit an diese angepasst haben. Durch den Klimawandel werden einige Arten aus ihrem Optimum gedrängt und können sich außerhalb ihrer bislang realisierten Nische nur noch suboptimal entwickeln – ein Problem vieler seltener Ackerunkräuter. Invasive Arten dagegen zeigen das Phänomen, sich den rapide verändernden Bedingungen außerordentlich schnell anpassen zu können. Einige sind sogar fähig, eine aktive Veränderung ihrer Nische zu vollziehen. So ist dies zumindest für *Centaurea maculosa* (Rispen-Flockenblume) dokumentiert (BROENNIMANN et al., 2007). Diese in Amerika verbreitete Unkrautart hat demnach aktiv ihre Nische zu trockeneren Bedingungen verschoben.

Zudem könnte ein rapider Klimawandel auch zu frei werdenden Räumen innerhalb der Nische führen, wovon ebenfalls besonders invasive Arten profitieren können, die diese Freiräume schnell einnehmen (BROENNIMANN et al., 2007).

3.2.3 Verschiebung von Unkrautmerkmalen

Der Klimawandel wird primär über abiotische Faktoren wie Bodenfeuchte, Beschattungsgrad, Temperatur des Bodens und in Bodennähe Einfluss auf die Merkmalsausprägungen der Unkräuter ausüben. Diese reagieren darauf artspezifisch mit morphologischen und physiologischen Anpassungen, was sich in anderen Merkmalsausprägungen äußert. Jedoch gibt es auch eine Reihe von sekundären Faktoren, hierunter sind Merkmale hinsichtlich der Konkurrenz besonders wichtig. Für ein Unkraut stellt die Feldfrucht den größten Konkurrenten dar.

Es kann daher davon ausgegangen werden, dass in jeder Feldfrucht für die Unkräuter bestimmte Kombinationen an Merkmalen von Vorteil sind (GUNTON et al., 2011), um sich gegen diese zu behaupten. Ein passendes Keimfenster, schnelles Wachstum, schnelle Entwicklung und eine hohe Samenproduktion stellen oft die wichtigsten morphologischen Merkmale dar. Treten bspw. durch den Klimawandel die ersten Winterfröste im Jahr später ein oder sind die Temperaturen allgemein etwas höher, so bekommen solche Unkrautarten einen Vorteil, die Merkmale hinsichtlich verzögerter Keimung im Herbst, spätes Wachstum oder Entwicklung / Überdauerung im Winter aufweisen. Im Frühjahr und Sommer werden dagegen Unkrautarten mit Merkmalen hinsichtlich Wärme- und Trockenheitsanpassung von den sich verändernden Klimabedingungen profitieren.

Bislang kaum beachtet ist der Einfluss der Tageslänge bei möglichen Verschiebungsereignissen. Einige Unkrautarten sind in der Lage, die Photoperiode bereits im Keimstadium zu ermitteln und somit ihre Entwicklung der Tageslänge und der verbleibenden Vegetationsdauer anzupassen

(SWANTON et al., 1999). Das Keimfenster der Unkrautarten wird besonders beim Anbau von Winterkulturen von Bedeutung sein. Das Keimfenster vieler Unkrautarten reicht bisher nicht in den Winter hinein. Sollte sich der Aussaatzeitpunkt durch den Klimawandel stark nach hinten verschieben, so werden allzeit keimfähige Arten wie *Capsella bursa-pastoris* (Hirtentäschelkraut) oder *Stellaria media* (Vogel-Sternmiere) gefördert. Andere Arten müssten ihr Keimfenster entsprechend der Tageslänge erst anpassen oder reagieren mit einem unter- oder überdurchschnittlichen Wachstum.

Auch der Zeitpunkt der Herbizidapplikation kann einen Einfluss ausüben. Durch eine Verschiebung des Applikationstermins werden andere Unkrautarten begünstigt, deren Keimfenster z. B. nach der letzten Behandlung liegt. Im Mais werden dadurch bspw. Wärme-Keimer begünstigt, die erst nach der letzten Herbizid-Applikation auflaufen. *Amaranthus retroflexus* (Zurückgekrümmter Fuchsschwanz), *Setaria*- (Borstenhirse-Arten), *Digitaria*- (Fingerhirse-Arten) oder *Chenopodium*-Arten (Gänsefuß-Arten) haben oft eine ausgesprochene späte Keimung (OTTE et al., 2006). Laut GUNTON et al. (2011) üben solche Termine auch einen starken Einfluss auf die weitere Individualentwicklung und später ausgebildete Unkrautmerkmale aus.

C₄-Pflanzen verfügen über einen CO₂-Konzentrationsmechanismus in den Leitbündelscheidenzellen. Ein erhöhter Anteil von CO₂ in der Atmosphäre wird sie daher wenig in ihrer Physiologie beeinflussen. C₃-Pflanzen dagegen werden deutlich stärker begünstigt. Dieser Vorteil wird jedoch weitestgehend durch höhere Temperaturen kompensiert, da die Physiologie der C₄-Pflanzen eher für warme Temperaturen optimiert ist (BUNCE und ZISKA, 2000). Noch ist der Großteil der hiesigen Unkrautarten vom C₃-Typ. Weltweit gesehen sind jedoch die meisten Unkrautarten C₄-Pflanzen (ZISKA & RUNION, 2007). Es ist damit zu rechnen, dass der Anteil an Wärme-angepassten C₄-Arten durch z. B. Einwanderung zunehmen wird. Somit erreichen uns mit dem Klimawandel bestens an warme und trockene Bedingungen angepasste Unkrautarten.

3.3 Resultierende Veränderungen

Alle der o. g. drei Verschiebungsprozesse wirken sich so auf die Situation auf den Äckern aus, dass wir Veränderungen wahrnehmen. Hinsichtlich der Unkräuter werden wir vor allem einen Wandel in der Zusammensetzung der Unkrautarten und eine Veränderung in deren Merkmalsausprägungen bemerken.

3.3.1 Veränderung des Unkrautartenspektrums

Durch die o.g. Verschiebungsprozesse ergeben sich Umschichtungen in den Dominanzstrukturen der Unkräuter. Einige Arten nehmen an Bedeutung zu, andere nehmen ab. Bestimmte (heute meistens bereits gefährdete) Arten verschwinden völlig, während einwandernde Arten neu in das System eindringen. Neben den Konkurrenzbeziehungen ändert sich auch die Abundanz der Arten. Der Klimawandel betrifft jedoch nicht jede Feldfrucht und deren assoziierten Unkräuter gleichermaßen. Eine ältere Untersuchung von SCHROEDER et al. (1993) zeigte die Unterschiede in der Unkrautartenzusammensetzung einzelner Kulturen. Jede Kultur verfügt demnach über ein charakteristisches Unkrautspektrum mit für sie typischen Arten. Es ist anzunehmen, dass diese individualistisch auf den Klimawandel reagieren und somit auf unterschiedliche Weise vom Klimawandel betroffen sind.

Getreide bspw. beherbergt größtenteils "klassische" archaeophytische Unkrautarten, die seit langem kulturbegleitend sind und sich den hiesigen Klimabedingungen und Bewirtschaftungsmethoden über einen langen Zeitraum angepasst haben (HILBIG und BACHTHALER, 1992). Dagegen beherbergen junge Kulturfrüchte wie Mais und Winterraps eine relativ hohe Anzahl an "modernen" Stickstoffliebenden Arten und neophytischen Unkräutern (PYSEK und RICHARDSON, 2007). So ist für Mais festzustellen, dass dort eine Vielzahl an Unkrautarten ursprünglich aus wärmeren Regionen stammt, sodass zukünftige wärmere und trockenere Bedingungen ihnen im Sommer zugute kommen. Hier findet sich auch die größte Anzahl an in jüngerer Zeit eingeschleppten Arten wie bspw. *Abutilon theophrasti* (Chinesische Samtpappel) oder *Sorghum halepense*.

Des Weiteren sind einige Kultur-begleitende Unkräuter sowohl vom Habitus als auch genetisch relativ eng mit der Kulturart assoziiert. Im Winterraps finden sich außerordentlich viele Brassicaceen als

Unkräuter wie z. B. *Sisymbrium*-Arten (Rauken), *Descurainia sophia* (Besenrauke), *Capsella bursa-pastoris* oder *Thlaspi arvense* (Acker-Hellerkraut) sowie Nährstoff-liebende Arten wie *Stellaria media* oder *Galium aparine* (Kletten-Labkraut). Im Mais dagegen gibt es auffällig viele Unkrauthirsen der gleichen Familie, die sogar im Erscheinungsbild demjenigen von Mais ähneln können (*Sorghum halepense* oder *Echinochloa crus-galli*). Hierfür muss jedoch nicht zwingend der Klimawandel verantwortlich sein. Von selektiven Herbizidbehandlungen ist z.B. bekannt, dass sie den Selektionsdruck auf solche Faktoren zu erhöhen. Es überlagern sich also agrarische Eingriffsmethoden und Landnutzungswandel mit den Auswirkungen des Klimawandels.

3.3.2 Veränderung der potentiellen Schädigung

Bedingt durch die o. g. Verschiebungen und individuellen Reaktionen der Unkräuter ändert sich auch die potentielle Schädigung des Unkrauts, die es auf die Feldfrucht ausüben kann. Die Gründe dafür sind jedoch vielfältig und einzelne Mechanismen sind oft schwierig voneinander zu trennen, da direkte und indirekte Auswirkungen des Klimawandels sich mit agrarischen Bewirtschaftungsstrategien und den individuellen Reaktionen der Unkräuter überlagern (MCDONALD et al., 2009).

Einige Unkrautarten werden nicht nur in ihrer Abundanz zunehmen, sondern auch potentiell mehr Schädigung erzielen, da sie individuell durch ein z. B. verstärktes Wachstum oder einer größeren Biomasseproduktion konkurrenzstärker werden. MCDONALD et al. (2009) berichten für die USA von *Abutilon theophrasti* und *Sorghum halepense* in Mais – beides Unkräuter, die momentan auch an Bedeutung in Deutschland gewinnen. Andere Unkrautarten können dem Klimawandel oder agrarischen Anpassungen weniger standhalten und verringern ihre Konkurrenzkraft. Somit werden in Zukunft z. T. andere Arten eine Rolle spielen und einige Arten werden eine andere Durchsetzungskraft haben als heute.

4. Handlungsfelder

Selbst vergleichsweise simple Zusammenhänge wie derjenige zwischen Temperatur und Saattermin zeigen, welche komplexen Auswirkungen jede kleine Veränderung haben kann. Daher ist es sinnvoll, die Wirkweisen des Klimawandels in Parameter zu zerteilen und diese einzeln zu analysieren.

Klimaparameter (wie z. B. die atmosphärische CO₂-Konzentration) können wir technisch ermitteln. Wie können wir jedoch an Unkräutern und Kulturpflanzen den Wandel bestimmen? Welche Parameter sind an ihnen zu messen? Veränderungen auf genetischer Ebene aufzuzeigen ist sehr schwierig, da sich Änderungen meistens erst nach einiger Zeit genetisch manifestieren (FRANKS et al., 2007). Daher müssen wir uns auf phänologische, morphologische oder anatomische Merkmale der Pflanzen konzentrieren. Um die Auswirkungen des Klimawandels an Pflanzen zu bestimmen, eignen sich besonders morphologische Parameter wie z. B. Keimrate, Entwicklungsgeschwindigkeit, Wuchshöhe, Blühzeitraum, Biomasse und Samenanzahl. Diese Parameter sollten stets in Abhängigkeit zu unterschiedlichen Klimaten gestellt werden, damit sich Zusammenhänge ableiten lassen. Als phänologisches Merkmal ist z. B. die Blühphase, das Voranschreiten der Rapsblüte oder die Blühdauer ein wichtiger Indikator für die Entwicklungsgeschwindigkeit der Kulturpflanzen als auch der Unkräuter. Die auf diese Weise gewonnenen Daten sind die Voraussetzung und der Grundstein für alle weiteren Arbeitsschritte, um damit komplexere Zusammenhänge zu erklären.

4.1 Forschung

Aus den gewonnenen Daten können Voraussagen und komplexere Zusammenhänge abgeleitet werden. Beispielsweise lassen sich die Verschiebungen in den Verbreitungsarealen einzelner Arten (*range shifts*) anhand Klimaprojektionen und individuellen Reaktionsnormen für jedes Unkraut abschätzen. Veränderungen der potenziellen Schädigung einzelner Unkräuter lassen sich anhand morphologischer Parameter abschätzen. Ein Austausch bestimmter Unkrautarten gegen andere (sog. *substitutions*) kann anhand von Wechselwirkungen mit ökologischen Parametern geschätzt werden (MCDONALD et al., 2009). Bestimmte Klimabedingungen können eine Anpassung der Herbiziddosen erfordern. Solche können ebenfalls geschätzt und extrapoliert werden. Aus den Schätzungen lassen

sich Modelle erstellen, aus denen sich wiederum genauere Prognosen ableiten lassen. Unseres Erachtens bislang wenig beachtet ist der Einfluss der Tageslänge auf mögliche klimatische oder agrarische Verschiebungseignisse. Er sollte in zukünftigen Prognosen einbezogen werden.

4.2 Praxis

Anhand von gewonnenen Daten und Prognosemodellen lassen sich dann konkrete Schlussfolgerungen für die Praxis ableiten und Gegenmaßnahmen entwickeln. Herbizid-Dosierungen und -Wirkstoffe können dem Klimawandel angepasst und optimiert werden. Eine mechanische Unkrautbekämpfung kann zielgerichteter erfolgen. Veränderungen in der Periodizität lassen bestimmte Aussaattermine und Auflauftermine günstiger erscheinen. Durch fortlaufendes Monitoring können die Wanderungsbewegungen der Unkrautarten erfasst werden und frühzeitig evtl. Maßnahmen ergriffen werden.

Danksagung

Diese Studie wurde im Rahmen des KLIFF-Forschungsverbunds durchgeführt. Wir danken dem Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur für die Förderung.

Literatur

- BROENNIMANN, O., U.A.TREIER, H. MÜLLER-SCHÄRER, E. THUILLER, A.T.PETERSON UND A. GUISAN, 2007: EVIDENCE OF CLIMATIC NICHE SHIFT DURING BIOLOGICAL INVASION. *ECOLOGY LETTERS* **10**, 701–709.
- BUNCE, J. A. UND L.H. ZISKA, 2000: CROP ECOSYSTEM RESPONSES TO CLIMATIC CHANGE: CROP/WEED INTERACTIONS. *CLIMATE CHANGE AND GLOBAL CROP PRODUCTIVITY*, CABI, CAMBRIDGE.
- FRANKS, S. J., S. SIM UND A.E. WEIS, 2007: RAPID EVOLUTION OF FLOWERING TIME BY AN ANNUAL PLANT IN RESPONSE TO A CLIMATE FLUCTUATION. *PNAS* **104**, 1278–1282.
- GOERKE, K., U. RICHTER, M. SCHULTE UND B. GEROWITT, 2008: REGIONALE UNTERSCHIEDE IN DER RAPSUNKRAUTFLORA DEUTSCHLANDS. *GESUNDE PFLANZEN* **60**, 151–158.
- GUNTON, R. M., S. PETIT UND S. GABA, 2011: FUNCTIONAL TRAITS RELATING ARABLE WEED COMMUNITIES TO CROP CHARACTERISTICS. *JOURNAL OF VEGETATION SCIENCE* **22**, 541–550.
- HILBIG, W. UND G. BACHTHALER, 1992: WIRTSCHAFTSBEDINGTE VERÄNDERUNGEN DER SEGETALVEGETATION IN DEUTSCHLAND IM ZEITRAUM VON 1950-1990 – 2, *ANGEWANDTE BOTANIK* **66**, 201–209.
- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE), 2010: FOURTH ASSESSMENT REPORT: CLIMATE CHANGE 2010, IPCC, GENEVA, SWITZERLAND.
- JENTSCH, A., J. KREYLING, J. BOETTCHER-TRESCHKOW UND C. BEIERKUHLEIN, 2009: BEYOND GRADUAL WARMING: EXTREME WEATHER EVENTS ALTER FLOWER PHENOLOGY OF EUROPEAN GRASSLAND AND HEATH SPECIES. *GLOBAL CHANGE BIOLOGY* **15**, 837–849.
- MCDONALD, A, S. RIHA, A. DITOMMASO UND A. DEDAETANO, 2009: CLIMATE CHANGE AND THE GEOGRAPHY OF WEED DAMAGE: ANALYSIS OF U.S. MAIZE SYSTEMS SUGGESTS THE POTENTIAL FOR SIGNIFICANT RANGE TRANSFORMATIONS. *AGRICULTURE, ECOSYSTEMS AND ENVIRONMENT* **130**, 131–140.
- MENZEL, A., G. JAKOBI, R. AHAS, H. SCHEIFINGER UND N. ESTRELLA, 2003: VARIATIONS OF THE CLIMATOLOGICAL GROWING SEASON (1951-2000) IN GERMANY COMPARED WITH OTHER COUNTRIES. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY* **23**, 793–812.
- NOGUÉS-BRAVO, D., 2009: PREDICTING THE PAST DISTRIBUTION OF SPECIES CLIMATIC NICHEs. *GLOBAL ECOLOGY AND BIOGEOGRAPHY* **18**, 521–531.
- OTTE, A., S. BISSELS UND R. WALDHARDT, 2006: SAMEN-, KEIMUNGS- UND HABITATEIGENSCHAFTEN: WELCHE PARAMETER ERKLÄREN VERÄNDERUNGSTENDENZEN IN DER HÄUFIGKEIT VON ACKERWILDKRÄUTERN IN DEUTSCHLAND? *ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ SONDERHEFT XX*, 507–516.
- PEARMAN, P.B., A. GUISAN, O. BROENNIMANN UND C.F. RANDIN, 2008: NICHE DYNAMICS IN SPACE AND TIME, *TRENDS IN ECOLOGY AND EVOLUTION* **23**, 149–158.
- PYSEK, P. UND D.M. RICHARDSON, 2007: TRAITS ASSOCIATED WITH INVASIVENESS IN ALIEN PLANTS: WHERE DO WE STAND? In: *BIOLOGICAL INVASIONS*, SPRINGER, HEIDELBERG, BERLIN, 97–125.
- SCHROEDER, D., H. MUELLER-SCHAERER UND C.S.A. STINSON, 1993: A EUROPEAN WEED SURVEY IN 10 MAJOR CROP SYSTEMS TO IDENTIFY TARGETS FOR BIOLOGICAL CONTROL. *WEED RESEARCH* **33**, 449–458.
- SWANTON, C.J., J.Z. HUANG, W. DEEN, M. TOLLENAAR, A., SHRESTHA UND H. RAHIMIAN, 1999: EFFECTS OF TEMPERATURE AND PHOTOPERIOD ON *SETARIA VIRIDIS*. *WEED SCIENCE* **47**, 446–453.
- WALTHER, G.-R., E. POST, P. CONVEY, A. MENZEL, C., PARMESAN, T.J.C. BEEBEE, J.-M. FROMENTIN, O. HOEGH-GULDBERG UND F. BAIRLEIN, 2002: ECOLOGICAL RESPONSES TO RECENT CLIMATE CHANGE. *NATURE* **416**, 389–395.

25. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 13.-15. März 2012, Braunschweig

WISSKIRCHEN, R. UND H. HAUPLER, 1998: STANDARDLISTE DER FARN- UND BLÜTENPFLANZEN DEUTSCHLANDS, EUGEN ÜLMER, 765 S.

ZISKA, L.H. UND G.B. RUNION, 2007: FUTURE WEED, PEST, AND DISEASE PROBLEMS FOR PLANTS. IN: AGROECOSYSTEMS IN A CHANGING CLIMATE, TAYLOR & FRANCIS, 261–287.