

3.16 Auswirkungen des Klimawandels auf die pflanzliche Biodiversität in Agrarökosystemen

HANS-JOACHIM WEIGEL

Auswirkungen des Klimawandels auf die pflanzliche Biodiversität in Agrarökosystemen: Agrarlandschaften repräsentieren die bedeutendsten Landnutzungsformen und sind Lebensraum einer Vielzahl von Pflanzenarten. Diese umfassen die Kulturpflanzenarten und -sorten sowie verschiedene Wildpflanzenarten bzw. Unkräuter auf Wirtschaftsflächen selbst und andere Pflanzenarten (krautige Wildpflanzen, Feldgehölze) sowie andere botanische Taxa auf den nicht bewirtschafteten Flächen. Neben der Vernichtung und Übernutzung von Lebensräumen und unerwünschten Stoffeinträgen wird der Klimawandel als weitere Ursache für Veränderungen bzw. Verluste der pflanzlichen Vielfalt in diesen Räumen angesehen. Der Klimawandel wirkt direkt und indirekt auf diese Vielfalt. Direkt durch Beeinflussung von Wachstum, Phänologie und Verbreitung sowie von inner- und zwischenartlichen Interaktionen der pflanzlichen Organismen und indirekt durch Maßnahmen zum Klimaschutz (Energiepflanzenanbau) und zur Anpassung an den Klimawandel. Letztere bewirken vorwiegend Veränderungen der Art und der Intensität der agrarischen Landnutzung (Arten- und Sortenwahl, Fruchtfolgegestaltung, Management) und können sowohl negative als auch positive Wirkungen auf die pflanzliche Biodiversität ausüben, wie an Beispielen gezeigt wird.

Climate change effects on plant biodiversity in agroecosystems: Agricultural landscapes are important land use systems and provide habitats for a high number of plant species. These include crop species and cultivars, respectively, and wild plant species including weeds, growing on the cultivated areas as well as other plant species on the non-cultivated areas. In addition to loss and overexploitation of habitats and impacts of pollutants, climate change is now being regarded as an additional risk for the decline of plant biodiversity in these landscapes. Climate change is impacting plant biodiversity directly by affecting plant growth, vigour and plant phenology and species distribution in the landscape. Indirect effects of climate change result from climate change mitigation measures such as bioenergy cropping as well as from changes in agricultural land use (species and cultivar selection, crop rotation and management adjustment) in order to adapt agriculture to climate change. Both ways may exert either positive or negative effects on plant diversity as shown by several examples.

Während der global beobachtete Rückgang der biologischen Vielfalt (Biodiversität) hauptsächlich der Veränderung von Lebensräumen durch Intensivierung, Übernutzung und Belastung mit Nähr- und Schadstoffen sowie dem Auftreten invasiver Arten zugeschrieben wird (MEA 2005), rückt zunehmend die Frage nach der Rolle des Klimawandels als mögliche weitere Ursache für den Biodiversitätsrückgang in den Fokus wissenschaftlicher und politischer Aufmerksamkeit. Dies gilt auch für die durch die landwirtschaftliche Flächennutzung bestimmte Vielfalt von Kultur- und Wildpflanzen. Diese sind Teil der Agrobiodiversität und umfassen die Ressourcen von Kulturpflanzen sowie nicht domestizierte (»wilde«) pflanzliche Elemente der Biodiversität in und zwischen Acker- und Grünland-Ökosystemen, die für Ökosystemfunktionen von Produktionssystemen mit entscheidend sind (»assozierte Biodiversität«) bzw. ökologische Dienstleistungen gewährleisten (z.B. Bestäubung, Klimaregulation, Wasserregulation).

Der Klimawandel beeinflusst die pflanzliche Biodiversität in Agrarökosystemen zweifach (Abb. 3.6-1). Die Veränderungen einzelner Klimatelemente wirken sich einerseits direkt auf Kultur- und Wildpflanzenarten bzw. deren Populationen aus, indem sie Wachstum und Phänologie, die Interaktionen mit anderen Organismen sowie die Eignung für ein Verbreitungsgebiet (Areal) beeinflussen (NEWMAN et al. 2011). Direkte Wirkungen resultieren zudem aus Veränderungen der abiotischen Lebensraumbedingungen (z.B. im Boden) für die

Pflanzen infolge des Klimawandels. Andererseits resultieren indirekte Wirkungen des Klimawandels auf die pflanzliche Biodiversität aus Anpassungs- bzw. Vermeidungsmaßnahmen an bzw. gegen den Klimawandel, die zu veränderten Formen und Intensitäten der landwirtschaftlichen Landnutzung führen. Der vorliegende Beitrag beschreibt Beispiele direkter und indirekter Effekte von Elementen des Klimawandels auf strukturelle Aspekte der pflanzlichen Biodiversität in Agrarlandschaften.

Trends des Klimawandels

Klima ist charakterisiert sowohl durch physikalische (z.B. Temperatur, Strahlung) als auch chemische (z.B. CO₂, Stickoxide, Ozon) Klimatelemente bzw. -parameter. Diese Parameter verändern sich von der regionalen bis hin zur globalen Ebene.

Trends der globalen und der für Mitteleuropa und Deutschland beschriebenen Klimaänderungen lassen sich kurz durch folgende wesentliche Entwicklungen charakterisieren (IPCC 2013):

- Die CO₂-Konzentration ([CO₂]) in der Atmosphäre nimmt global gleichmäßig und rasch weiter zu. Die [CO₂] ist seit 1850 von ca. 280 ppm auf heute 400 ppm angestiegen und erhöht sich bis zum Jahr 2050 bzw. 2100 weiter auf 550-600 bzw. 900 ppm.
- Die Durchschnittstemperaturen steigen weiter an und sind verbunden mit einer Zunahme von wärmeren, trockeneren Sommern und von wärmeren und feuchteren Wintern. In Zentraleuropa z.B. wird bis 2050

mit einer Zunahme der Durchschnittstemperaturen um ca. 2 °C und einer Abnahme der Sommerniederschläge um ca. 15% im Vergleich zu heute gerechnet.

- Die inter- und intra-annuelle Variabilität des Klimas nimmt zu und Witterungs- bzw. Wetterextreme (Hitzeperioden; Sommerdürren; Starkniederschläge) treten vermehrt auf. So wird z.B. in Zentral-Europa mit einer deutlichen Zunahme der Zahl heißer Sommertage ($T > 30\text{ °C}$) gerechnet.
- In vielen Regionen der Erde nehmen Episoden mit phytotoxischen Ozon-Konzentrationen in der bodennahen Luftschicht zu. In Europa wird z.T. ein Trend steigender Hintergrundkonzentrationen beobachtet.
- Der Meeresspiegel steigt weiter an und wird negative Konsequenzen für viele küstennahe Landnutzungen haben.

Die Einzel- und Wechselwirkungen dieser verschiedenen klimatischen Änderungen auf die pflanzliche Vielfalt abzuschätzen, ist schwierig.

Pflanzliche Biodiversität in der Agrarlandschaft

Global wird ca. ein Drittel, in Europa die Hälfte der Landfläche landwirtschaftlich genutzt. Diese Agrarlandschaften sind geprägt durch die Wirtschaftsflächen selbst (Offenlandflächen bzw. Agrarökosysteme wie Äcker, Wiesen, Weiden) sowie nicht bewirtschaftete, eher naturnahe, unterschiedliche strukturierte Flächen (z.B. Brachflächen, Ackerrandstreifen, Saumbiotope,

Feldraine, Hecken). Deren pflanzliche Vielfalt umfasst verschiedene Kulturpflanzenarten und –sorten sowie Wildpflanzenarten (Unkräuter) auf den Wirtschaftsflächen selbst und Gefäßpflanzenarten (krautige Wildpflanzen, Feldgehölze) sowie andere botanische Taxa (Moose, Farne, Flechten) auf den nicht bewirtschafteten Flächen.

Der Mensch nutzt etwa 20.000 Pflanzenarten für Ernährungs-, Heil- oder Genusszwecke und für technische Anwendungen. Nur rund 160 Arten davon werden in größerem Umfang gezüchtet und angebaut. So beherrschen bei den Ackerkulturen in Mitteleuropa nur wenige Kulturpflanzenarten (z.B. Weizen, Gerste, Hafer, Roggen, Mais, Kartoffel, Zuckerrübe, Raps/Rübsen, Erbsen, Sonnenblumen) das Landschaftsbild. Betrachtet man nur Gefäßpflanzen kommen in Deutschland ca. 3.900 Arten vor, von denen ein hoher Anteil in Kulturlandschaften zu finden ist. Etwa 60% von über 2.500 bewerteten Arten insgesamt sind an landwirtschaftliche Nutzflächen oder von der Nutzung beeinflusste Flächen gebunden (POSCHLOD 2014). Auf Ackerflächen selbst kommen ca. 10% aller europäischen Pflanzenarten vor. Davon sind >80% keine »Unkräuter«, stellen also keine Konkurrenz zur Nutzpflanze dar, sondern sind insofern wertvoll, als sie z.B. für Bestäuber wichtige Nektar- und Pollenquellen darstellen.

Grünlandflächen haben eine herausragende Bedeutung für die pflanzliche Biodiversität (GEROWITT et al. 2013). Europaweit ist ca. ein Drittel (in Deutschland 28%) der landwirtschaftlich genutzten Fläche Grün-

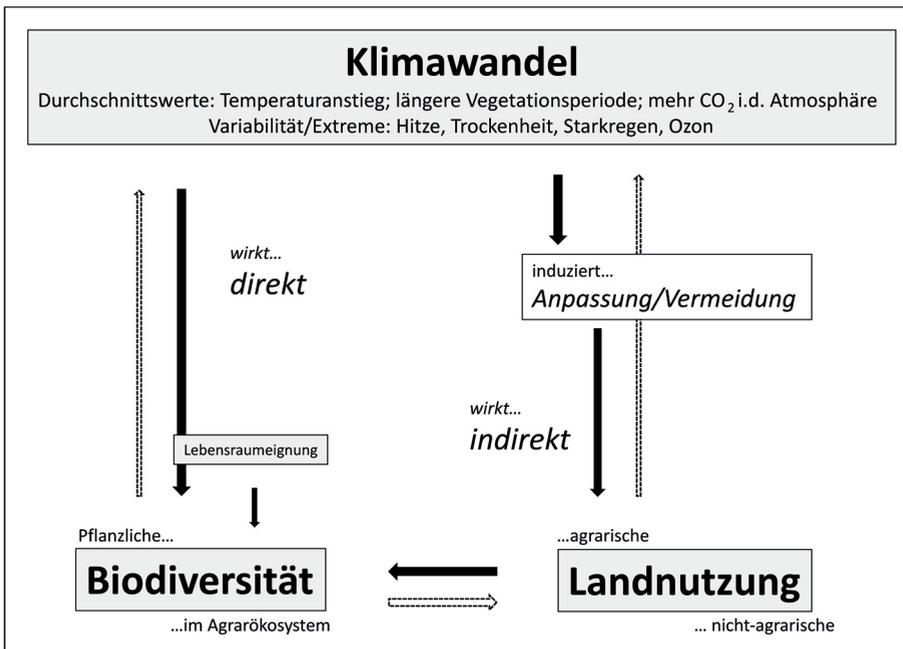


Abb. 3.16-1: Direkte und indirekte Wirkungen (schwarze Pfeile) sowie Rückkoppelungseffekte (graue Pfeile) des Klimawandels auf die (pflanzliche) Biodiversität in Agrarlandschaften.

land. In Deutschland, wo der Grünlandanteil bei 14% der gesamten Landesfläche liegt, kommen über die Hälfte der Farn- und Blütenpflanzenarten in Grünlandbiotopen vor. Etwa 1.000 Pflanzenarten werden im engeren Sinne als Grünlandarten bezeichnet, d.h. sie wachsen vorwiegend oder ausschließlich auf Grünlandflächen. Darunter sind viele hundert gefährdete Arten.

Die Biodiversität (Agrobiodiversität) landwirtschaftlich genutzter Flächen beinhaltet nicht nur Kultur- und Wildpflanzen, sondern ein breites Spektrum von weiteren Artengruppen, die von diesen Pflanzen abhängen, bzw. mit ihnen interagieren und wichtige Ökosystemprozesse sicher stellen. Pflanzen im landwirtschaftlichen Offenland sind daher von sehr hoher Bedeutung für die biologische Vielfalt insgesamt und damit auch besonders wichtig für deren Erhaltung.

Direkte Effekte des Klimawandels

Das Wachstum von Pflanzen hängt von Minimum-, Optimum- und Maximumtemperaturen ab, die je nach Pflanzenart bzw. -genotyp, Standort und Herkunft sehr stark variieren. Temperaturveränderungen wirken daher sehr unterschiedlich auf verschiedene Pflanzenarten. Wassermangel ist für die meisten Pflanzenarten der am stärksten wachstumslimitierende Faktor. Auch Staunässe bzw. Überflutungen beeinträchtigen bei längerfristiger Einwirkung das Wachstum stark negativ. Auf eine erhöhte CO_2 -Konzentration reagieren alle C_3 -Pflanzenarten mit einer Photosynthese-Steigerung, verminderter Transpiration und größtenteils auch mit vermehrtem Wachstum, sofern die übrigen Wachstumsressourcen nicht limitierend sind. C_4 -Pflanzen zeigen keine Photosynthese-Steigerung, aber ebenfalls eine Minderung der Transpiration. Wachstumsstimulationen durch mehr CO_2 werden bei diesen Pflanzen häufig nur bei Wassermangel beobachtet.

Ackerkulturen

Steigende Temperaturen beeinflussen Vegetationsbeginn und die Dauer einzelner phänologischer Stadien bei Pflanzen (Einzelheiten vgl. Kap. 3.10 - CHMIELEWSKY). Blüte und Abreife werden z.B. durch höhere Temperaturen beschleunigt und beginnen früher. Derartige Veränderungen können weiterreichende ökosystemare Folgen haben, da sich die Verfrühung auf trophische Interaktionen, d.h. auf Nahrungsbeziehungen in Ökosystemen, auswirken (SCHWEIGER et al. 2008). Bei Getreide, dessen Entwicklung von Wärmesummen gesteuert wird, führen erhöhte Durchschnittstemperaturen zu einer allgemeinen Entwicklungsbeschleunigung. Davon ist auch die Phase der Kornfüllung betroffen, was zu Ertragsverlusten führen kann. Kritischer als der Anstieg der Durchschnittstemperatur ist die Zunahme von

Wärmeextremen. In den gemäßigten Breiten schädigen bereits kurzzeitig hohe Temperaturen (d.h. Hitzestress = $T > 30^\circ$ bzw. 35°C) bei Getreide die Befruchtung und den Fruchtansatz, verringern die potenzielle Kornzahl und schmälern damit den Ertrag (PORTER & GARWITH 1999). Dagegen wirkt sich die mit der steigenden Durchschnittstemperatur verbundene längere Vegetationsperiode (z.B. bei Mais und Zuckerrüben) günstig aus, da die Wachstumszeit verlängert wird.

In Folge der allgemeinen Erwärmung verändert sich für bestimmte Kulturpflanzenarten die Anbaueignung in einer bestimmten Region. Derartige »Arealverschiebungen« können z.B. daraus resultieren, dass der Anbau bisher Wärme-limitierter Kulturen, wie z.B. (Körner-) Mais, Hirse, Soja aber von Wein und Gemüse in höhere geographische Breiten (d.h. z.B. von Süd- nach Nord-Europa) und in größere Höhenlagen ausgedehnt werden kann. Andererseits kann sich dadurch jedoch auch die Anbau-Eignung für andere Kulturpflanzenarten (z.B. Roggen, Hafer, Kartoffeln) verschlechtern. Daraus ergeben sich im Landschaftskontext neue Fruchtartenspektren und damit neue Biodiversitätsmuster.

Niederschlag bzw. Wasserhaushalt bestimmen innerhalb einer relativ weiten Temperaturspanne, welche Ackerkulturen erfolgreich angebaut werden. Bereits geringe Veränderungen der Niederschlagsmengen wirken deutlich auf das Wachstum von Kulturpflanzen. Steigende Temperaturen erhöhen die Verdunstung (ca. 5% pro $^\circ\text{C}$ Temperaturerhöhung) und beeinträchtigen auch damit den pflanzlichen Wasserhaushalt. Verschiedene Nutzpflanzenarten und auch -sorten einer Art reagieren dabei sehr unterschiedlich auf den Wassermangel. So sind z.B. Sorghumhirse und Roggen toleranter gegenüber Trockenheit als Mais oder Weizen. Viele Arten sind besonders während der Fortpflanzungsphase (Blüte, Bestäubung und Kornfüllung) empfindlich gegenüber Wasserstressbedingungen.

Die Höhe des sog. » CO_2 -Düngeeffektes« bei Ackerkulturen (meist Weizen, Reis, Soja aber auch Gerste, Raps) ist noch umstritten. In Versuchen unter künstlichen Umweltbedingungen mit optimaler Wasser- und Nährstoffversorgung wurden Wachstums- bzw. Ertragszuwächse von 25-30% ermittelt, wenn die CO_2 -Konzentration um 250-300 ppm über den jeweils aktuellen Umgebungswert (350-385 ppm) angehoben wurde (AINSWORTH & MCGRATH 2010). Feldversuche unter realen landwirtschaftlichen Bedingungen mit der sogenannten FACE-Technik (FACE: Free Air Carbon Dioxide Enrichment) ergaben dagegen geringere Wachstumssteigerungen von nur etwa 10-14% (LONG et al. 2006, WEIGEL & MANDERSCHIED 2012).

Bei Ackerkulturen sind Ertragsveränderungen als Folge des Klimawandels aus ökonomischen Gründen

von primärem Interesse. Biodiversitätsrelevante Effekte ergeben sich hier eher aus den Folgewirkungen auf biotische Interaktionen (Pflanze-Tier-Mikroorganismen) im Agrarökosystem. Von Bedeutung sind direkte Effekte, die sich z.B. aus einem veränderten Konkurrenzverhalten zwischen Unkraut- und Nutzpflanzenarten ergeben sowie indirekte Effekte auf der Landschaftsebene, die aus veränderten Anbaumaßnahmen der Landwirte im Zuge des Klimawandels resultieren (s.u.).

Crop Wild Relatives / Landrassen

Unverzichtbar als genetische Ressourcen insbesondere auch zur Anpassung an den Klimawandel sind die mit unseren gezüchteten Kultur- und Nutzpflanzenarten verwandten wild wachsenden Formen (wildlebende Verwandte von Kulturpflanzen – WVK), wie z.B. (in Europa) Wildgersten, Wildrüben oder Wildkartoffeln (FRESE 2014). Diese werden von Pflanzenzüchtern u.a. als Ausgangsmaterial zur Einkreuzung spezifischer Eigenschaften genutzt. WVK werden hauptsächlich durch Einengung und Vernichtung ihrer Lebensräume bedroht. Eine Bedrohung durch Klimaveränderungen wird vermutet, es liegen dazu aber kaum relevante Informationen vor. Eine Studie unter Verwendung statistischer Habitatmodelle kam zu dem Schluss (THOMAS et al. 2004), dass bis 2050 15-37% der Wildpflanzenbiodiversität (dies wurde von ca. 1.200 repräsentativen Arten abgeleitet) vom Aussterben bedroht sind. Zahlreiche der dabei untersuchten Arten fallen in die Kategorie der WVK. JARVIS et al. (2008) untersuchten mögliche Effekte des Klimawandels auf WVK von Erdnuss (*Arachis*), Kartoffeln (*Solanum*) und Kuhbohne (*Vigna*). Die ebenfalls auf Modellen basierenden Ergebnisse dieser Studie sagen voraus, dass ca. 61% der Erdnuss-, 12% der Kartoffel- und 8% der Kuhbohnenarten innerhalb der nächsten 50 Jahre infolge des Klimawandels aussterben könnten.

Landrassen (Landsorten) sind Rassen von Nutzpflanzen, die sich in einem Gebiet mit traditioneller Landwirtschaft ohne systematische Züchtung gebildet haben und die besonders an die Umweltverhältnisse des Entstehungsgebietes angepasst sind. Inwieweit der Klimawandel für diesen Teil der Agrobiodiversität ein Risiko darstellt und zur »Generosion« beiträgt, ist ebenfalls kaum untersucht und schwer abschätzbar. Grundsätzlich können sich ändernde Klimabedingungen dazu führen, dass bisher gut adaptierte Landrassen bzw. Varietäten nicht mehr geeignet sind und durch neues Material ersetzt werden müssen (JARVIS et al. 2006). Bisher wenig genutzte Landrassen mit geringer Bedeutung können dagegen unter »neuen« Klimabedingungen besonders geeignet bzw. wertvoll werden und damit die pflanzliche Biodiversität positiv beeinflussen.

Speziell im ökologischen Landbau tragen die vielfältigere Nutzung verschiedener Kulturpflanzen in weiteren Fruchtfolgen sowie der Einsatz von Sorten und Rassen mit spezieller Standorteignung grundsätzlich zur Diversifizierung der Pflanzenproduktion bei. Diese Wirtschaftsweise kann witterungsbedingte Totalausfälle mindern und zur Risikostreuung beitragen. Eine zunehmende »Unvorhersagbarkeit« von Witterungsverläufen verlangt andererseits aber nach »Universal-Genotypen« im Ackerbau, die mit hoher Ertragsstabilität unabhängig von speziellen klimatischen Gegebenheiten eingesetzt werden können. Dies liefe dem wünschenswerten Einsatz von »Landrassen« als Beitrag zur Biodiversität entgegen.

Grünland

Grünland-Ökosysteme (Dauergrünland, Intensivgrünland, Trockenrasen, Magerrasen, Feuchtwiesen) zeichnen sich durch das Vorkommen zahlreicher verschiedener Pflanzenarten aus, die grob den funktionellen Artengruppen Gräser, Kräuter und Leguminosen zugeordnet werden können. Die hohe Artenvielfalt erschwert Vorhersagen, wie sich der Klimawandel direkt auf diese Ökosysteme auswirken könnte. Die Wirkungsabläufe der sich verändernden Klimaelemente (Temperatur, Niederschlag, CO₂) auf Wachstum und Entwicklung der einzelnen Grünlandarten entsprechen im Wesentlichen den oben geschilderten Effekten bei den Ackerkulturen. Da allerdings das Ausmaß dieser Effekte zwischen den verschiedenen Bestandesarten sehr unterschiedlich ausgeprägt ist, kann es zu Verschiebungen der Artenzusammensetzung bzw. der Konkurrenzverhältnisse in Grünlandbeständen kommen.

Viele Grünlandarten dürften von der Erwärmung und der damit einhergehenden Verlängerung der Vegetationsperiode profitieren. Die Erwärmung könnte insbesondere Leguminosen fördern, die relativ hohe Temperaturen für optimales Wachstum benötigen, und ihnen dadurch Konkurrenzvorteile in Grünlandbeständen verschaffen. Die meisten Graslandarten in Zentraleuropa gehören dem C₃-Pflanzentyp an und die optimale Wachstumstemperatur dieser Pflanzen wird dann überschritten, wenn die Umgebungstemperaturen auf Werte >25-30 °C ansteigen (DEBOECK et al. 2008). Derartige Temperaturverhältnisse werden in Zukunft zunehmen.

Grünlandökosysteme benötigen pro Einheit produzierter Biomasse mehr Wasser als Ackerkulturen (EHLERS & GOSS 2003) und reagieren daher besonders empfindlich auf Wassermangel. Bei zukünftig zunehmender Trockenheit bzw. dem vermehrten Auftreten von Wasserstressbedingungen kann es zu Wachstumsbeeinträchtigungen bis hin zu Totalverlusten in Grünlandflächen kommen. Dabei dürften grundsätzlich eher tief

wurzelnde Arten (z.B. Hornklee - *Lotus corniculatus*; Rotklee - *Trifolium pratense*; Esparetten – *Onobrychis*) Konkurrenzvorteile gegenüber den Arten mit flachen Wurzelsystemen haben, die meist zu den erwünschten Bestandesbildnern (z.B. auf Weiden: Weidelgras / *Lolium perenne* – Weißklee / *Trifolium repens*) gehören. Trockenheitsverträgliche Gräser und bisher nicht verbreitete Futterleguminosen (z.B. Luzerne - *Medicago sativa* L.) können unter diesen Bedingungen zunehmen. Dauer und Intensität von Trockenheit und Hitze bestimmen, inwieweit insbesondere Gräser wie Deutsches Weidelgras (*Lolium perenne*) oder Wiesenrispe (*Poa pratensis*) geschädigt werden und ob und inwieweit diese sich nach der Stress-Situation wieder erholen. Die durch den Klimawandel verursachten Veränderungen des Wasserhaushaltes von Grünlandbeständen sind generell problematisch, da sowohl Trockenheit als auch Staunässe Wechselwirkungen der Pflanzenarten untereinander und mit anderen Organismen verändern. In Zukunft kann die Zunahme von extremen Niederschlagsereignissen die hochwassergefährdete Grünlandnutzung in Flussauen noch stärker belasten.

Grünlandarten reagieren ebenso wie Ackerkulturarten auf die Zunahme der atmosphärischen CO_2 -Konzentration mit positiven Wachstumseffekten. Auf nicht Nährstoff-limitierten Böden profitieren vor allem Leguminosen-Arten von einer CO_2 -Erhöhung (CAMPBELL et al. 2000), da sie zur N_2 -Fixierung befähigt sind und damit höhere Wachstumsleistungen im Vergleich zu nicht N_2 -fixierenden Arten zeigen. Aus diesem Verhalten sind Verschiebungen in den Artanteilen bzw. in den Konkurrenzverhältnissen in den Grünlandbeständen möglich (LÜSCHER et al. 1998, TEYSSONNEYRE et al. 2002). Dabei entsprechen die Wirkungen auf den Bestand nie der Summe der Wirkungen auf die Einzelpflanzen. CO_2 -Anreicherungsversuche in verschiedenen Graslandökosystemen (Weide-Neuseeland; Prärieökosysteme-USA) zeigten überraschender Weise nicht, dass C_3 -Arten – wie erwartet (s.o.) - stärker auf mehr CO_2 reagieren als C_4 -Arten und letztere dadurch verdrängen. Dies wurde u.a. auf indirekte CO_2 -Effekte auf den Wasserhaushalt der Bestände zurückgeführt. Zusammenfassen bleibt festzustellen, dass sich in multifaktoriellen Systemen wie Grünlandbeständen die Wechselwirkungen zwischen Temperatur-, Niederschlags- und CO_2 -Veränderungen mit unseren heutigen Methoden kaum vorhersagen lassen.

Unkräuter /Ackerwildkräuter

Wildpflanzen, die als Unkräuter bezeichnet werden, besitzen im Gegensatz zu Kulturpflanzenarten eine breite ökologische Amplitude, d.h. sie zeichnen sich durch eine hohe Anpassungsfähigkeit gegenüber Umwelt-

und damit auch gegenüber Klimaveränderungen aus. Unkräuter werden dadurch auch sehr individuell auf eine Klimaänderung reagieren, was eine generelle Abschätzung von Effekten erschwert. PETERS et al. (2014) betrachten die Effekte des Klimawandels auf Unkräuter als grundsätzliche Verschiebungsprozesse, die sowohl auf der Ebene der Merkmalsausprägung der Pflanzen als auch der Ebene der Besetzung von ökologischen Nischen und der Ebene der Verbreitungsareale ablaufen.

Viele Unkrautarten stammen aus warm-trockenen Gebieten der Erde und werden dadurch gegenüber Arten aus gemäßigten Zonen von steigenden Temperaturen profitieren. Dies gilt besonders für Arten des C_4 -Typs (z.B. Borstenhirse *Setaria* spp., Hühnerhirse – *Echinochloa crus-galli*), die gegenüber C_3 -Arten ein höheres physiologisches Temperaturoptimum haben. Aber auch wärmeliebende C_3 -Unkräuter (Gänsefußarten – *Chenopodium* spp.; Bingelkraut – *Mercurialis annua*) werden begünstigt. Milde Winter könnten zudem sog. Herbstkeimer (z.B. Acker-Fuchsschwanz, Klettenlabkraut) fördern. Im Gegensatz zur hiesigen Situation, wo die meisten Unkrautarten C_3 -Pflanzen sind, gehört global gesehen die Mehrzahl der Unkrautarten dem C_4 -Typ an. Es ist also möglich, dass diese wärme-angepassten Arten sich weiter ausbreiten. Zunehmende Trockenheit bzw. längere Trockenperioden im Frühjahr und Sommer können insbesondere Arten mit unterirdischen Speicher- und Überdauerungsorganen wie Disteln (z.B. *Cirsium arvense*) und Windenarten (z.B. *Convolvulus* spp.) tolerieren und damit konkurrenzstärker werden.

In Analogie zu den Kulturpflanzenarten (s.o.) sollten von einer CO_2 Zunahme in der Atmosphäre vor allem die C_3 -Unkrautarten profitieren, während C_4 -Arten davon keinen Nutzen ziehen. Die genannten Reaktionen auf die einzelnen Elemente des Klimawandels führen insgesamt sowohl zu Änderungen der Konkurrenzbeziehungen innerhalb der Unkrautarten als auch zwischen Unkräutern und Kulturpflanzen. Da es sich bei den meisten Anbaukulturen in gemäßigten Breiten um C_3 -Pflanzen handelt, die am meisten gefürchteten Unkräuter jedoch überwiegend dem C_4 -Typus angehören, ist bei alleiniger Betrachtung des CO_2 -Effektes ein Konkurrenznachteil der C_4 -Unkräuter zu erwarten. Offen bleibt, inwieweit dieser Effekt durch die höhere Temperaturunempfindlichkeit und die relativ größere Trockenstress-Resistenz der C_4 -Unkräuter kompensiert wird (BUNCE & ZISKA 2000). In C_4 -Kulturen, wie z.B. Mais oder Hirse, deren Begleitflora zum C_3 -Typus gehört, könnte der Anteil an Unkräutern aufgrund des CO_2 -Effektes in Zukunft zunehmen, aber auch hier ist die jeweilige Reaktion der Unkrautarten auf die gleichzeitige Temperaturerhöhung und auf die zunehmende Trockenheit entscheidend.

Arealverschiebungen von Unkrautarten und damit auch Änderungen der pflanzlichen Biodiversität in Agrarlandschaften aufgrund des Klimawandels sind in den hiesigen Breiten bereits beobachtbar. Wärme-liebende Arten aus dem Süden (z.B. Storchschnabelarten – *Geranium* spp. – in Winterraps) breiten sich nordwärts aus und bisher für Ackerflächen unbekannt Arten, ebenfalls aus dem Süden kommend, tauchen nordwärts auf.

Weitere direkte Effekte

Sonstige direkte Effekte des Klimawandels auf die pflanzliche Biodiversität in Agrarlandschaften können nur angedeutet werden. Bodennahes Ozon wirkt direkt auf die Vegetation und ist für Pflanzen potenziell toxisch. Vielfach wurden Schäden in Form von sichtbaren Blattschäden, Wachstumsminierungen, reduzierten Reproduktionsraten an Kultur- und Wildpflanzen nachgewiesen. Wildpflanzen- und Kulturpflanzenarten bzw. -sorten unterscheiden sich stark in der Ozon-Empfindlichkeit, was zu Verschiebungen von Artenzusammensetzungen in Beständen führen kann (BERGMANN et al. 2015). Klimaveränderungen wirken sich darüber hinaus direkt auf die jeweiligen abiotischen Lebensraumbedingungen bzw. Standorteigenschaften für Pflanzen aus. Feuchtwiesen z.B. sind landwirtschaftlich extensiv bewirtschaftete Lebensräume mit einer hohen Vielfalt von Pflanzenarten (z.B. Seggen, Binsen, Gräser, viele krautige Arten). Hier sind die oberen Bodenschichten grundwasserbeeinflusst bzw. zeitweise überschwemmt. Geringere Niederschlagsmengen, die Zunahme der Verdunstung durch erhöhte Temperaturen und damit Änderungen der klimatischen Wasserbilanz während der Vegetationsperiode im Zuge des Klimawandels können die pflanzliche Vielfalt dieser Feuchtstandorte direkt beeinträchtigen, indem die Böden vermehrt austrocknen und das Pflanzenwachstum schädigen. Zunehmende Hitzeperioden könnten darüber hinaus auch in landwirtschaftlich genutztem Offenland zu erheblichen Vegetationsbränden und damit zum Verlust pflanzlicher Biodiversität führen. Grundsätzlich ist festzuhalten, dass sowohl für Kultur- und Wildpflanzenarten als auch pflanzliche Lebensgemeinschaften oder Ökosysteme das Wissen über die voraussichtlichen direkten Wirkungen der sich gleichzeitig ändernden Klimaelemente (erhöhte Temperaturen, Wassermangel, mehr CO₂) bzw. deren Interaktionen und die daraus resultierenden Folgen für die pflanzliche Biodiversität sehr begrenzt ist.

Indirekte Effekte des Klimawandels

Im Zuge des Klimawandels werden vielfache Maßnahmen zu dessen Vermeidung (z.B. Klimaschutzmaßnahmen wie Energiepflanzenanbau) und zur Anpassung

(z.B. neue Fruchtfolgen) eingesetzt bzw. empfohlen. Daraus ergeben sich indirekte Auswirkungen auf die pflanzliche Biodiversität in Kulturlandschaften, die negative oder positiv sein können. Klimaschutzmaßnahmen stehen häufig im Zielkonflikt mit dem Biodiversitätsschutz und verstärken den ohnehin durch die landwirtschaftliche Intensivierung hervorgerufenen pflanzlichen Artenverlust (MEYER et al. 2014). Für die Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel ist generell davon auszugehen, dass eine stärkere Diversifizierung der Pflanzenproduktion eine sinnvolle Risikostrategie wäre und damit gleichzeitig auch positive Beiträge zu einer höheren biologischen Vielfalt leisten könnte (PETERSEN & WEIGEL 2015). Relevant im landwirtschaftlichen Kontext sind insbesondere Landnutzungsänderungen, die auf großen Flächen wirksam werden oder Lebensräume mit besonderem Biodiversitätswert beeinträchtigen.

Energiepflanzenanbau

Ein Beispiel für die Wechselwirkung zwischen Klimaschutzmaßnahmen und der biologischen Vielfalt ist die Intensivierung des großflächigen Anbaus von Biomassepflanzen (z.B. Raps, Mais). Hierbei ergeben sich negative Effekte auf die biologische Vielfalt, wenn zugunsten des Anbaus dieser Pflanzen Fruchtfolgen vereinfacht bzw. verengt, Grünlandflächen umgebrochen, Stilllegungsflächen und Flächen mit hohem Naturwert in Anspruch genommen werden und bisher extensiv bewirtschaftete agrarische Wirtschaftsflächen in intensiv bewirtschafteten Biomasseanbau umgewandelt werden (HEISSENHUBER et al. 2015). Auch wenn etablierte Ackerflächen zum Anbau von Energiepflanzen herangezogen werden, dafür aber die für die eigentliche Nahrungs- oder Futtermittelproduktion fehlenden Flächen an anderer Stelle neu in Nutzung genommen werden müssen, sind negative Effekte auf die Biodiversität möglich, da damit wertvolle Pflanzenhabitate verloren gehen.

Positive Biodiversitätseffekte in Agrarlandschaften durch den Anbau von Energiepflanzen ergeben sich immer dann, wenn dadurch ein breiteres Spektrum an Nutzpflanzenarten entsteht als beim alleinigen Anbau der »traditionellen« Kulturen. Auch der Anbau von Mischkulturen (z.B. aus Mais und Sonnenblumen) wirkt in diese Richtung. Kurzumtriebs-Plantagen (KUP) z.B., die insbesondere in ausgeräumte, strukturalarme Landschaften integriert werden, können zur Diversifizierung des Artenspektrums, von Lebensräumen und des Landschaftsbildes insgesamt beitragen (Abb. 3.16-2). In KU-Plantagen aus Weide und Pappel in Schweden und Deutschland fanden z.B. BAUM et al. (2012) signifikant höhere Artenzahlen von Gefäßpflan-

zen als in umgebenden reinen Ackerflächen und Nadel- oder Mischwäldern. Zu Konflikten mit dem Schutzziel Biodiversität kommt es beim Anbau von KUP auf naturschutzfachlich bedeutsamen Flächen (z.B. Feuchtwiesen, Fluss- und Bachauen, Brachflächen). Positive Beiträge für die pflanzliche Biodiversität kann der Anbau von Wildpflanzenmischungen zur Biogasgewinnung liefern (KIRMER et al. 2016). In die gleiche Richtung wirkt auch die Durchwachsene Silphie (*Silphium perforatum*), ein mehrjähriger Neophyt, der nicht nur eine ökonomische Alternative zu Maisanbau darstellt, sondern nach erfolgreicher Etablierung auch positive Effekte auf die Ackerbegleitflora haben kann (DAUBER et al. 2016).

Wieweit sich der Anbau von Bioenergiepflanzen positiv oder negativ auf die pflanzliche Vielfalt in Agrarlandschaften auswirkt, ist bisher vergleichsweise wenig untersucht. Grundsätzlich hängen Effekte auf die Biodiversität beim Anbau dieser Pflanzen stark von den jeweiligen regionalen Randbedingungen, der konkreten Lage der Flächen, der Landnutzungsvorgeschichte, dem intrinsischen Biodiversitätswert der betreffenden Energiepflanze und dem landwirtschaftlichen Management ab (DAUBER & BOLTE 2014).

Landwirtschaftliche Anpassungsmaßnahmen

Für die Landwirtschaften der Industrieländer bestehen vielfältige Möglichkeiten zur Anpassung an den Klimawandel. Relevant sind hierbei alle Ebenen der landwirtschaftlichen Produktion von der Auswahl der einzelnen Kultur über das gesamtbetriebliche Management bis hin zu den vor- und nachgelagerten Produktionszweigen und dem internationalen Agrarhandel. Anpassungsmaßnahmen mit unmittelbarer Relevanz bzw. Konsequenz für die Biodiversität in Agrarlandschaften sind z.B.



Abb. 3.16-2: Agroforstsysteme für Energieholz als Maßnahme zum Klimaschutz können die Biodiversität in Agrarlandschaften bereichern (© Jens Dauber).

- Änderungen von Aussaatterminen, Saaddichten, Reihenabstand, aus den sich z.B. Konsequenzen für das veränderte Auftreten von Unkräutern ergeben.
- Der Anbau von neuen, klimaangepassten (wärmeliebenden und wassereffizienten) Kulturarten bzw. -sorten und die Einführung neuer Fruchtfolgen sowie die Nutzung der verlängerten Vegetationsperiode durch Zweikulturanbau (bei guter Wasserversorgung), was insgesamt zu neuen Vegetationsmustern in der Landschaft führen kann.
- Die Änderung von Dünge- und insbesondere Pflanzenschutzmaßnahmen aufgrund veränderter Entwicklungsverläufe der Nutzpflanzen, was wiederum die gesamte Ackerbegleitflora beeinflussen kann.
- Änderungen der Bodenbearbeitung zur Verbesserung der Wasserregulation (Trockenheit/Nässe) sowie der Ausbau von Be- und u.U. Entwässerungssystemen. Hiervon gehen Änderungen der abiotischen Standortbedingungen für bisher standortangepasste Nichtnutzpflanzen aus.

All diese Maßnahmen ziehen indirekte Auswirkungen auf die pflanzliche Biodiversität in der Agrarlandschaft nach sich. Eine stärker diversifizierte Nutzpflanzenproduktion (z.B. im Rahmen von Agroforst-, Silvopastoral- und Mehrkulturnutzungs-Systemen) erhöht nicht nur grundsätzlich die Resilienz der Produktionssysteme gegenüber Klimaveränderungen, sondern auch die pflanzliche Biodiversität.

Schlussfolgerung

Die pflanzliche Vielfalt in Agrarlandschaften wird auch weiterhin in erster Linie durch die markt- und politikgetriebene Art und Intensität der landwirtschaftlichen Flächennutzung bestimmt werden. Zusätzlich zu diesen Einflüssen wird sich der Klimawandel sehr unterschiedlich auswirken. Die direkten Wirkungsmuster einzelner Klimaelemente (Temperatur, Niederschlag, CO₂) sind bei Kultur- und Wildpflanzen zwar meist ähnlich, die Stärke der Effekte variiert jedoch deutlich zwischen Arten und Sorten. Indirekt wirkt der Klimawandel auf die pflanzliche Biodiversität über den Anbau von Bioenergiepflanzen aus Gründen des Klimaschutzes und hat hier negative und positive Effekte, je nachdem wie einseitig oder divers dieser Anbau gestaltet wird. Setzt sich im Ackerbau eine stärkere Diversifizierung des Anbauspektrums von Kulturpflanzen als Risikoversicherung gegenüber negativen Klimawirkungen durch, so kann dies ebenfalls indirekt positive Beiträge für die pflanzliche Vielfalt bedeuten. Insgesamt wird es durch den Klimawandel Gewinner und Verlierer bei der Vielfalt der Pflanzenarten in der Agrarlandschaft geben.

Literatur

- AINSWORTH, E. A. & J. M. MCGRATH (2010): Direct effects of rising atmospheric carbon dioxide and ozone on crop yields. In: Lobell D., Burke M (eds). Climate change and food security. Adapting agriculture to a warmer world. Advances in Global Change Research 37, Springer, 109-130, 2010.
- BAUM, S., A. BOLTE & M. WEIH (2012): Short Rotation Coppice (SRC) plantations provide additional habitats for vascular plant species in agricultural mosaic landscapes. *BioEnergy Research*, 5, 573-583, 2012.
- BERGMANN, E., J. BENDER & H. J. WEIGEL (2015): Assessment of the impacts of ozone on biodiversity in terrestrial ecosystems. Part II: Literature review of the current state of knowledge on the impact of ozone on biodiversity in terrestrial ecosystems. Umweltbundesamt, Texte 71/2015, 139 pp., 2015.
- BUNCE, J. A. & L. H. ZISKA (2000): Crop ecosystem responses to climate change: Crop/Weed Interactions. Climate Change and Global Crop Productivity. CABI, Cambridge 2000.
- CAMPBELL, B. C., D. M. STAFFORD-SMITH, A. J. ASH, J. FUHRER et al. (2000): A synthesis of recent global change research on pasture and rangeland production: reduced uncertainties and their management implications. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 82, 39-55, 2000.
- DE BOECK, H. J., C. M. H. M. LEMMENS, C. ZAVALLONI, B. GIELEN et al. (2008): Biomass production in experimental grasslands of different species richness during three years of climate warming. *Biogeosciences* 5, 585-59, 2008.
- DAUBER, J. & A. BOLTE (2014): Bioenergy: Challenge or support for the conservation of biodiversity? *GCB Bioenergy* 6, 180-182, 2014.
- DAUBER, J., A. L. MÜLLER, S. SCHITTENHELM, B. SCHOO et al. (2016): Agrarökologische Bewertung der Durchwachsenen Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) als eine Biomassepflanze der Zukunft. Schlussbericht zum Vorhaben FKZ 11NR044 gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger. 126 S., 2016.
- EHLERS, W. & M. GOSS (eds.) (2003): Water Dynamics in Plant Production. CABI Publishing, 2003.
- FRESE, L. (2014): Erhalt der genetischen Vielfalt wildlebender Verwandter unserer Kulturarten (WVK) in ihren natürlichen Lebensräumen. – ANLiegen Natur 36(2), 58-66, 2014.
- GEROWITT, B., S. SCHRÖDER, L. DEMPFFLE, E. M. ENGELS et al. (2013): Wissenschaftlicher Beirat für Biodiversität und Genetische Ressourcen beim BMELV, 2013: Biodiversität im Grünland – unverzichtbar für Landwirtschaft und Gesellschaft. Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats für Biodiversität und Genetische Ressourcen beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 20 S, 2013.
- HEISSENHÜBER, A., W. HABER & C. KRAMER (2015): 30 Jahre SRU – Sondergutachten »Umweltprobleme der Landwirtschaft« - eine Bilanz. Umweltbundesamt, Texte 28/2015, 30 S, 2015.
- IPCC (2013): Summary for Policymakers. In: Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor et al. (eds.). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. [online] http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf.
- JARVIS, D., T. MAR & L. SEARS (eds.) (2006): Enhancing the use of crop genetic diversity to manage abiotic stress in agricultural production systems. Proceedings of a workshop, 23-27 May 2005, Budapest, Hungary. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, 2006.
- JARVIS, A., A. LANE & R. HIJMANS (2008): The effect of climate change on crop wild relatives. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 126, 13-23, 2008.
- KIRMER, A., M. PFAU, S. MANN, M. SCHRÖDTER et al. (2016): Erfolgreiche Anlage mehrjähriger Blühstreifen auf produktiven Standorten durch Ansaat wildkräuterreicher Samenmischungen und standortangepasste Pflege. *Natur und Landschaft* 91, 03, 2016.
- LONG, S. P., E. A. AINSWORTH, A. D. B. LEAKEY, J. NÖSBERGER et al. (2006): Food for thought: Lower-than expected crop yield stimulation with rising CO₂ concentrations. *Science* 312, 1918-1921, 2006.
- LÜSCHER, A., G. R. HENDREY & J. NÖSBERGER (1998): Long-term responsiveness to free air CO₂ enrichment of functional types, species and genotypes of plants from fertile permanent grassland. *Oecologia* 113, 37-45, 1998.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment) (2005): Ecosystem and Human Well-Being. Synthesis, Washington.
- MEYER S., K. WESCHÉ, B. KRAUSE, C. BRÜTTING et al. (2014): Diversitätsverluste und floristischer Wandel im Ackerland seit 1950. *Natur und Landschaft* 89, 392-398, 2014.
- NEWMAN, J. A., M. ANANAD, H. A. L. HENRY, S. HUNT et al. (eds.) (2011): Global Change Biology. CABI Publishing, 289 pp, 2011.
- PETERSEN, U. & H. J. WEIGEL (2015): Klimaresilienz durch Agrobiodiversität? Literaturstudie zum Zusammenhang zwischen Elementen der Agrobiodiversität und der Empfindlichkeit von landwirtschaftlichen Produktionssystemen gegenüber dem Klimawandel. Thünen-Report 25, 125 S, 2015.
- PORTER, J. R. & M. GARWITH (1999): Temperatures and the growth and development of wheat: a review. *European Journal of Agronomy* 10(1), 23-36, 1999.
- PETERS, K., L. BREITSAMETER & B. GEROWITT (2014): Impact of climate change on weeds in agriculture: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 707-721, 2014.
- POSCHLOD, P. (2014): Kulturlandschaft, Landnutzungswandel und Vielfalt – Mechanismen und Prozesse der Entstehung und Entwicklung unserer Kulturlandschaft und die Notwendigkeit einer Genbank für »Wildpflanzen für Ernährung und Landwirtschaft (WEL)«. Handbuch Genbank WEL, Hoppea, Denkschr. Anst. Bot. Ges. Sonderband (2014), 7-40, 2014.
- SCHWEIGER, O., J. SETTELE, O. KUDRNA, S. KLOTZ et al. (2008): Climate change can cause spatial mismatch of trophically interacting species. *Ecology* 89 (12), 3472-3479, 2008.
- TEYSSONNEYRE, F., C. PICON-COCHARD, R. FALCIMAGNE & J. F. SOUSSANA (2002): Effects of elevated CO₂ and cutting frequency on plant community structure in a temperate grassland. *Global Change Biology* 8, 1034-1046, 2002.
- THOMAS, C. D., A. CAMERON, R. E. GREEN, M. BAKKENES et al. (2004): Extinction risk from climate change. *Nature* 427, 145-148, 2004.
- WEIGEL H. J. & R. MANDERSCHIED (2012): Crop growth responses to free air CO₂ enrichment and nitrogen fertilization: rotating barley, ryegrass, sugar beet and wheat. *European Journal of Agronomy* 43, 97-107, 2012.

Kontakt:

Prof. Dr. Hans-Joachim Weigel
Thünen Institut für Biodiversität, Braunschweig
hans.weigel@thuenen.de

Weigel, H.-J. (2016): Auswirkungen des Klimawandels auf die pflanzliche Biodiversität in Agrarökosystemen. In: Lozán, J. L., S.-W. Breckle, R. Müller & E. Rachor (Hrsg.). Warnsignal Klima: Die Biodiversität. pp. 196-203. Online: www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de. doi:10.2312/warnsignal.klima.die-Biodiversitaet.32.