
Einleitende Referate

Keynote presentations

Zum Nutzen von Artenvielfalt bei Ackerunkräutern für das Unkrautmanagement

About the value of species diversity in arable weeds for weed management

Bärbel Gerowitt

Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät,
Phytomedizin, Satower Str. 48, 18051 Rostock
baerbel.gerowitt@uni-rostock.de



DOI 10.5073/jka.2016.452.001

Zusammenfassung

Ackerunkräuter gehören zur ackerbaulichen Landnutzung – wir definieren diese Pflanzen durch ihre Zugehörigkeit zu dem System. Sie sind daran so stark angepasst, dass sie diese Nutzungsform existenziell brauchen. Ackerunkräuter sind Teil der gesamten Biodiversität auf dem Acker, sie haben als Primärproduzenten wichtige Funktionen. In diesem Text wird nur die Bedeutung von Artenvielfalt bei Unkräutern für das Unkrautmanagement herausgearbeitet.

Ackerbausysteme können dahingehend unterschieden werden, wie viele verschiedene Methoden in ihnen für das vorbeugende und direkte Unkrautmanagement eingesetzt werden. Historische ackerbauliche Nutzungen werden dafür grob in drei Perioden geordnet, die sich durch unterschiedliche Vielfalt hinsichtlich des Unkrautmanagements und auftretenden Ackerunkrautarten unterscheiden.

Eine vielfältige Gestaltung von Ackerbausystemen und Artenvielfalt bei Unkräutern bedingen sich offensichtlich gegenseitig, dies wird in einem einfachen Bild abstrakt skizziert. Anbausysteme, die durch Einfach gekennzeichnet sind, führen zu Dominanzbeständen weniger Arten. Bei überwiegender Nutzung eines Instruments im Unkrautmanagement wird konsequenterweise die genetische Vielfalt in den Dominanzarten genutzt, um eine effektive Ressourcennutzung in diesen Ökosystemen zu gewährleisten. Aktuell sind Herbizide dieses Instrument; herbizidresistente Biotypen in den Unkrautpopulationen sind das Resultat. Artenvielfalt bei Ackerunkräutern als Produktionsziel kann helfen, diese Entwicklungen zu verhindern.

Stichwörter: Ackerbau, Biodiversität, Herbizidresistenz, Kulturgeschichte, Unkrautbekämpfung

Abstract

Arable weeds accompany arable land use – we define them based on their affiliation to arable systems. They are adapted to such a degree that most of them cannot exist without arable land use. Weeds are part of the total biodiversity on arable fields, as primary producers they are basic for important functions within the ecosystem. This paper elaborates the relevance of species diversity in arable weeds for their management.

Arable systems can be regarded for the number of different methods for preventive and direct weed control which are realized. Historical arable land use is roughly divided into three periods, which differ concerning the diversity of weed management and the occurring diversity in weed species.

Obviously divers weed management in arable systems and diversity in weed species depend on each other, this is illustrated with a simple abstract picture. Arable systems, which are characterised by simpleness, favor the domination of few species which ensure an effective use of the resources within the ecosystem. One consequence under continuous pressure of an overused tool in weed management is that the genetic diversity within a dominating weed population is exploited to ensure this resource use. Current herbicides represent this tool – the results are herbicide resistant biotypes within the weed populations. Species diversity in arable weeds as a rationale within arable production can assist to prevent this development.

Keywords: Arable cropping, biodiversity, herbicide resistance, land use history, weed control

Einleitung

Terrestrische Standorte, die durch menschliche Störungen und Eingriffe gekennzeichnet sind, werden von Ackerunkräutern besiedelt. Ackerunkräuter sind also keine festgelegte Taxa, sondern

wir definieren sie über das System, in dem sie vorkommen. Gemeinsam ist den Arten der Ackerunkräuter, dass sie wiederkehrende Eingriffe durch Bodenbearbeitung und Ernte von Kulturpflanzen gut ertragen können, ja sogar benötigen (SCHOLZ, 1996). Mit diesen Eingriffen geht eine möglichst vollständige Entfernung des lebenden Pflanzenmaterials einher, so dass theoretisch immer wieder die Ausgangsbedingungen entstehen könnten. ELLENBERG (1950) bezeichnet Ackerunkrautgemeinschaften denn auch als „Dauer-Pioniergemeinschaften“. Zusammen mit den angebauten Kulturpflanzen sind Ackerunkräuter die Primärproduzenten und bilden somit die Basis für Nahrungsnetze am Standort Acker.

In mindestens zwei wissenschaftlichen Herangehensweisen nehmen Ackerunkräuter eine zentrale Stelle ein: Eine eher botanische geprägte Sichtweise wird in Disziplinen wie Vegetationskunde und Pflanzensoziologie gepflegt, während die Unkrautforschung für eine agronomisch geprägte Sicht steht. Verlängert man die wissenschaftlichen Herangehensweisen in praktische Implementierungen, gehört zur erstgenannten Sicht der Natur- und Landschaftsschutz und zur zweitgenannten die Unkrautbekämpfung.

Unkrautgemeinschaften auf dem Acker werden durch die vorkommenden Arten geprägt. Das Ziel Artenvielfalt also viele Arten zu haben, ist meistens mit dem Blickwinkel des Natur- und Landschaftsschutzes verbunden und wenig mit dem der Unkrautbekämpfung. Ein nachhaltiges Unkrautmanagement im Ackerbau ist definiertes Ziel der Politik (BMEL, 2013) - entsprechende Maßnahmen müssen langfristig in die Praxis eingebracht werden. Dieser Beitrag setzt sich damit auseinander, ob ein Nutzen von Artenvielfalt bei Ackerunkräutern auch für Fragen des Unkrautmanagements umrissen werden kann.

Dazu werden zunächst einige Begriffe geklärt. Nach einem kurzen historischen Rückblick zum Zusammenhang von Unkrautmanagement im Ackerbau und Artenvielfalt wird ein einfaches Bild des Wirkungsgefüges gewagt, das auch hilft, aktuelle Entwicklungen zu beleuchten.

Biodiversität, Diversität, Artenvielfalt

Der Begriff Biodiversität steht für die Vielfalt von Genen, Arten und Lebensräumen (MEA, 2005). Biodiversität als Oberbegriff integriert vor allem Funktionen innerhalb der betrachteten Systeme. Es handelt sich dabei um Funktionen wie die Bereitstellung von Nahrung und Wasser (*provisioning*), die Regulation von Stoffkreisläufen, Nahrungsnetzen und Kalamitäten (*regulating*), das Angebot von immateriellen und kulturellen Gütern wie Erholung und Ästhetik (*edifying*) sowie die Unterstützungsleistungen des Systems z. B. bei der Primärproduktion und der Bodenbildung (*supporting*). Studien konnten einen positiven Zusammenhang von Artenzahl und einem besseren Funktionieren bzw. einer höheren Produktivität von Ökosystemen nachweisen (siehe z. B. HOOPER, et al., 2005). Obwohl äußerst interessant für den Standort Acker und den besiedelnden Ackerunkräutern und mit einigen Beispielen belegt (BURKLE und ALARCÓN, 2011; CABALLERO-LOPEZ et al., 2010; EVANS et al., 2010; MARSHALL et al., 2003), adressiert dieser Beitrag nicht die gesamte Ebene der Biodiversität im Acker.

Hier wird die Ebene der Pflanzenarten und Biotypen betrachtet, das heißt, es geht „nur“ um Diversität bei Ackerunkräutern auf Art- und genetischer Ebene. Diversität bedeutet „Anders-Sein“ und wird häufig in Form von Indices, Ähnlichkeitskoeffizienten oder dem Gegenteil, Nicht-Ähnlichkeitskoeffizienten ausgedrückt. Artenvielfalt fokussiert die Artebene. Dabei kann es schlicht um die Anzahl an verschiedenen Arten gehen, unabhängig davon, welche dies sind und in welchen Dimensionen sie auftreten. Hier unterscheidet man α -, β - und γ -Diversität. α ist die Artenzahl einer einzelnen Parzelle oder eines Feldes. γ ist die Summe aller Arten einer Landschaft, Gemarkung oder Region. Die β -Diversität steht für die Arten, mit denen sich innerhalb der γ -Diversität die α -Diversität einer Fläche von der einer anderen unterscheidet. Eine vielfältige Landschaft verfügt in der Regel über höhere β - und γ -Diversitäten als eine einseitige – auch bei Ackerunkräutern (GABRIEL et al., 2005).

Insbesondere die Methoden um Ähnlichkeiten oder eben Nicht-Ähnlichkeiten haben auch eine außerordentliche Bedeutung erlangt, wenn es darum geht, die großen Datenmengen zur Diversität innerhalb von Populationen, die mit Hilfe von genetischen Markern erzeugt werden können, zu verarbeiten und zu ordnen (SLOTTA, 2008).

Hinter den Artenzahlen stehen natürlich konkrete Arten, die in wissenschaftlich dokumentierten Fällen in der Regel auch erfasst sind. Das sind Listen, in denen die Arten identifiziert sind, meistens mit der zusätzlichen Information, mit welchen Dimensionen (Mengen, Dichten, Deckungsgrade, Biomasse) sie vorkommen. Pflanzensoziologie ist die klassische Wissenschaft, die Muster in diesen Listen sucht und damit das gemeinsame Auftreten von Arten und Mengen in pflanzensoziologischen Einheiten ordnet (BRAUN-BLANQUET, 1951). Die daraus entstehende Systematik ist einerseits komplex, andererseits in ihren Prinzipien flexibel, da sie auf Änderungen reagieren muss. Daneben schreiten die Methoden der statistisch-explorativen, multivariaten Verfahren für die Auswertung von Artenlisten aus Vegetationsaufnahmen von Ackerunkräutern voran und ermöglichen es, mehr quantitative Informationen aus ihnen zu ziehen (HANZLIK und GEROWITT, 2016).

Artenvielfalt bei Unkräutern ist bisher kein agrarisches Ziel oder Konzept. Andererseits sind gerade ackerbauliche genutzte Ökosysteme Objekt vieler Untersuchungen zum Thema Unkrautartenvielfalt. Es überwiegt allerdings perspektivisch die Sicht darauf, wie wenig moderner Ackerbau mit dem Ziel Artenvielfalt in Einklang zu bringen ist (BAESSLER und KLOTZ, 2006; STORKEY und WESTBURY, 2007; MEYER et al., 2012, u.v.a.m.).

Unterhalb der Vielfalt der Arten adressiert Diversität auch die genetische Vielfalt innerhalb von Arten. Innerartliche Diversität spielt in der Nutzpflanzenkunde eine große Rolle, ist sie doch Basis für alle züchterische Arbeit. Genetische Diversität in Ackerunkrautarten wurde für sexuell reproduzierende Arten als logisch und notwendig vorausgesetzt und beschrieben (STEWART et al., 2009), mit einzelnen Merkmalsausprägungen haben sich in der Vergangenheit weder der Naturschutz noch die Unkrautforschung besonders herausgehoben beschäftigt. Dies hat sich in jüngerer Zeit fundamental geändert. Im Naturschutz klären Arbeiten zur genetischen Diversität zunehmend die Schutzperspektiven ausgewählter Arten (PETIT et al., 2015). Aus agronomischer Perspektive hat die Detektion genotypischer Ausprägungen, die spontane Resistenz gegenüber Herbiziden innerhalb von Unkrautpopulationen ermöglichen, inzwischen einen überragenden wissenschaftlichen Stellenwert erreicht (DELYE et al., 2010; POWELS and YU, 2010).

Ackerbau „heute“ „gestern“ „vor-gestern“

Auf den ersten Blick sind im Ackerbau die meistens einjährig wiederkehrenden, fundamentalen Ereignisse über die Zeiten gleichgeblieben: Die Vegetation wird weitgehend entfernt, der Boden wird bearbeitet, eine neue, kurzlebige Vegetation etabliert sich. Im Detail haben sich aber sowohl die Vorzüglichkeit bestimmter Kulturpflanzen, die fundamentalen Eingriffe am Beginn und Ende der Anbauperiode, vor allem aber auch die Maßnahmen dazwischen geändert. Daraus resultieren Veränderungen im Ackerbau welche die zeitliche Abfolge von Kulturpflanzen, die Bearbeitung der Böden, die Führung der Kulturpflanzenbestände, die Methoden der Unkrautkontrolle sowie Ernte und Produktmanagement betreffen.

Ein für diesen konzeptionellen Aufsatz ausreichendes Referenzstadium für „gestern“ ist mit der Zeit nach der Auflösung des mittelalterlichen Flurzwangs, der Besommerung der Brache mit neuen Kulturpflanzen aber vor der Verfügbarkeit von herbiziden Wirkstoffen zur chemischen Unkrautbekämpfung genügend genau beschrieben. Die Kontrolle von Ackerunkräutern hatte einen hohen Stellenwert und bestimmte sehr stark die Gestaltung der Ackerbausysteme, es wurden so viele verfügbare präventive, ackerbauliche Maßnahmen wie möglich genutzt, um Ertragsverluste durch Unkräuter so gering wie möglich zu halten. Dieser Ackerbau war aber keinesfalls extensiv im genauen Sinne. Durch eine ausgeklügelte Fruchtfolge und viel Aufwand an Arbeitsenergie wurde der Acker mit vielen Fruchtarten und viel Bodenbearbeitung intensiv genutzt. Für Arbeiten, die sich mit Ackerunkräutern aus Sicht des Natur- und Artenschutzes

beschäftigen, ist dieser Zeitraum in der Regel Referenzzeitraum, weil die Artenvielfalt auf dem Acker ihren Höhepunkt erreicht hatte. Die Disziplin der Pflanzensoziologie hat, bedingt durch die außerordentliche Vielfalt der Ackerunkrautarten und der Gesellschaften die sie bilden, ihre Blütezeit und wissenschaftliche Berechtigung in dieser Zeit erlangt.

Ein Blick auf den Ackerbau „vorgestern“, gemeint ist hiermit die mittelalterliche Dreifelderwirtschaft mit wenigen Früchten, weniger intensiver Bodenbearbeitung und bedingt durch den Flurzwang auch wenig individueller betrieblicher Variation in der Ausgestaltung der Ackerbausysteme, zeigt ein anderes Bild. Die Verunkrautungen, die daraus resultierten, waren geprägt durch mehrjährige und wenige annuelle einheimische Arten – insgesamt waren sie eher artenarm (BURRICHTER et al., 1993).

Auch Ackerbau „heute“ ist wieder gekennzeichnet durch wenige Fruchtarten und auch weniger intensive Bodenbearbeitung. Hinzu gekommen sind allerdings die deutlich effizienteren Methoden der direkten Bekämpfung von Unkräutern (SALESBURY, 1961).

Eine nicht zu übersehende Rolle in der Entwicklung der Artenvielfalt bei Ackerunkräutern spielt die Zuwanderung von Arten und die Co-Evolution mit den Kulturpflanzen (SCHOLZ, 1996). Alle grob abgegrenzten drei Perioden waren dadurch gekennzeichnet. Nicht zuletzt trug die Einwanderung von Arten zu Höhepunkten der Artenvielfalt bei (KÜSTER, 1994).

Dieser kurze Rückblick hat nicht die Intention, „gestern“ oder „vorgestern“ in irgendeiner Form zu glorifizieren – es gibt genügend gute Gründe, das „heute“ wertzuschätzen. Aber das darf natürlich nicht davon abhalten, aus zurückliegenden Entwicklungen Erkenntnisse abzuleiten und zu lernen.

Einfalt im Ackerbau erzeugt Einfalt auf dem Acker

Ein abstraktes Bild hilft, die offensichtlichen Zusammenhänge zwischen der Vielfalt ackerbaulicher Methoden und der Artenvielfalt bei den Ackerunkräutern zu ordnen: Landwirte verfügen über die verschiedensten Werkzeuge, um Äcker zu bewirtschaften: Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Bestandsetablierung, –führung und –schutz der verschiedenen Kulturpflanzen. Nicht immer intendiert, wirken sie alle auch auf die Unkräuter am Standort aus. Sie können Unkräuter eher fördern oder eher unterdrücken. Der Begriff „cultural control“ fasst solche Maßnahmen zusammen, die der Unterdrückung dienen. Hinzu kommen Werkzeuge zur direkten Bekämpfung der Unkräuter: Chemische, mechanische und biologische Bekämpfung. Landwirte kombinieren Maßnahmen aus dieser „Werkzeugkiste“, um am konkreten Standort ihre Ackerbausysteme zu gestalten – nicht vollkommen beliebig, aber doch in sehr vielen Kombinationen.

Dieser „Kultur-Werkzeugkiste“ der Landwirte gegenüber stehend kann man sich eine „Natur-Werkzeugkiste“ vorstellen – sie enthält die an dem Standort und in der Landschaft möglichen Ackerunkrautarten. Auch hieraus können die enthaltenen Teile in ganz verschiedenen Kombinationen zum Einsatz kommen.

Die Geschichte des Ackerbau und der ihn begleitenden Unkräuter zeigt, dass die beiden „Werkzeugkisten“ zusammenhängen. Vielfalt bei den eingesetzten ackerbaulichen Maßnahmen bedingt offensichtlich Vielfalt bei den Ackerunkrautarten. Auf Einfalt bei der Nutzung der zur Verfügung stehenden Maßnahmen reagieren auch die Ackerunkrautarten mit Einfalt – dies zeigt sich z. B. in Dominanzbeständen weniger Problemunkräuter. Die Ursachen von Einfalt bei den Ackerunkrautarten liegen darin, dass durch Einfalt geprägte Anbausystems nur für sehr wenige Arten zuträglich sind. Gleichzeitig sind wichtige Ressourcen wie Nährstoffe und Wasser nicht knapp, die wenigen Arten sind dadurch in der Lage, individuenreiche Populationen aufzubauen.

Einfalt in den Ackerbausystemen, wie sie heute vorherrscht, wurde möglich weil die Unkrautbekämpfung effizient mit Herbiziden erledigt werden kann. In unserem oben entwickelten Bild kommt dadurch ein Werkzeug der Landwirte sehr stark zum Einsatz (chemische Bekämpfung) während andere immer weniger (Bodenbearbeitung, Fruchtfolge) oder gar nicht mehr genutzt werden (mechanische Bekämpfung). Aus der „Natur-Werkzeugkiste“ kommen entsprechend der Übernutzung eines Werkzeugs seitens der Landwirte auch nur noch daran angepasste

Unkrautarten zum Einsatz. Dies würde für jedes der Werkzeuge eintreten, aktuell ist eben nur das besonders stark eingesetzte Werkzeug die chemische Unkrautbekämpfung. Es zeigt sich inzwischen auch ganz klar, dass in der „Natur-Werkzeugkiste“ nicht nur die Unkrautarten zur Verfügung stehen, bei anhaltender Übernutzung eines Kultur-Werkzeugs kommt die Variation innerhalb der Arten zum Tragen. Wenige oder sogar nur eine gut angepasste Art mit großer Population sichert die im Ökosystem vorgesehene Ressourcennutzung dann eben durch Biotypen, entstanden durch Mutation neuer Typen oder zunehmend durch Selektion aus vorhandener Variation, welche an die einfältigen Bewirtschaftungen angepasst sind. Solche Unkrautvorkommen, die resistent gegenüber einem oder mehreren herbiziden Wirkstoffen sind, nehmen weltweit, in Europa und in Deutschland zu (POWLES und YU, 2010).

Artenvielfalt bei Ackerunkräutern als ein Ziel des Unkrautmanagements?

Es besteht also durchaus ein Nutzen von Artenvielfalt bei Ackerunkräutern für das Unkrautmanagement. Nur diese Gruppe von Pflanzen erträgt die Besonderheiten des Ackerbaus. Ihre Lebensbedingungen werden bestimmt durch den Anbau der Kulturpflanzen. So sehr sich Landwirte, z. B. mit Hilfe von Herbiziden anstrengen, auf ackerbaulich genutzten Flächen nur Kulturpflanzen zu haben, so sehr „strengt“ sich das Ökosystem an, dass auch andere Pflanzen da sind, um Ressourcen zu teilen oder überschüssige zu nutzen. Dies zu sichern, gelingt offensichtlich auch mit sehr wenigen Arten bzw. deren Biotypen, die ihrerseits allerdings die Handhabbarkeit der Verunkrautung mit Herbiziden immer mehr herausfordern und in letzter Konsequenz in Frage stellen könnten.

Aus Sicht des Unkrautmanagements liegt der Nutzen in der Vielfalt an sich - anders als im Naturschutz geht es nicht um einzelne Arten. Es werden also nicht explizit seltene, geschützte Arten fokussiert, wichtig ist allein, dass es viele sind, die vorkommen. Viele Unkrautarten auf dem Acker haben zu wollen, bedeutet auch nicht automatisch, viele Unkräuter haben zu müssen. Ackerbauern sollten ihre Technologien, ihr Können und ihre Kreativität einsetzen, um viele Arten mit wenigen Individuen zu haben. Es geht also weder um Artenschutz noch um massiv verunkrautete Äcker – Vielfalt kann einfach helfen zu verhindern, dass einzelne Arten stark zunehmen und dominieren. Aus großen Populationen einer Art lassen sich nämlich wesentlich effektiver Anpassungen selektieren - dies kann jeder Pflanzenzüchter bestätigen. Deswegen ist die Strategie, vielfältige Anbausysteme zu etablieren, darin die Unkräuter aber möglichst vollkommen mit Herbiziden zu bekämpfen, zwar ein Schritt in die richtige Richtung, für den langfristigen Erfolg bedarf es aber auch der Unkrautarten. Ackerbauern müssen erkennen, dass sie mit jedem Werkzeug im Anbausystem immer auch die Unkrautarten mit ihren Samenbanken bewirtschaften. Herbizide gehören selbstverständlich weiterhin zu den Werkzeugen im Koffer der Landwirte. Ihr Einsatz sollte so selten wie möglich sein und immer sorgfältig abgewogen werden; sie sollten möglichst selektiv wirken und - wie beim Resistenzmanagement einer Art - sollten möglichst viele Wirkstoffwechsel eingeplant werden. Ziel muss sein, verschiedenen Unkrautarten gelegentlich Samenbildung zu ermöglichen. Breit wirksame Herbizide auf der Basis von Wirkstoffmischungen, wie sie in der Zulassung heute dominieren, sind nicht geeignet, um das Ziel Unkrautartenvielfalt im Anbausystem zu erreichen.

Literatur

- Baessler, C. und S. Klotz, 2006: Effects of changes in agricultural land-use on landscape structures and arable weed vegetation over the last 50 years. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 115, 43-50.
- BMVL 2013: Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln.
- Braun-Blanquet, J., 1951: *Pflanzensoziologie*. 2. Aufl. Wien.
- Burkle, L.A. und R. Alarcón, 2011: The future of plant-pollinator diversity: understanding interaction networks across time, space, and global change. *American Journal of Botany* 98, 528–538.
- Burrlicher, E., J. Hüppe und R. Pott, 1993: Agrarwirtschaftlich bedingte Vegetationsbereicherung und -verarmung in historischer Sicht. *Phytocoenologia* 23, 427-447.

27. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 23.-25. Februar 2016 in Braunschweig

- CABALLERO-LOPEZ, B., J.M. BLANCO-MORENO, N. PÉREZ, J. PUJADE-VILLARA, D. VENTURA, F. OLIVA, und F.X. SANS, 2010: A functional approach to assessing plant–arthropod interaction in winter wheat. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 137, 288–293.
- DÉLYE, C., J.A. CLÉMENT, F. PERNIN, B. CHAUVEL und V. LECORRE, 2010: High gene flow promotes the genetic homogeneity of arable weed populations at the landscape level. *Basic and Applied Ecology* 11, 504–512.
- ELLENBERG, H., 1950: Unkrautgemeinschaften als Zeiger für Klima und Boden. *Landwirtschaftliche Pflanzensoziologie*. Eugen Ulmer, Stuttgart.
- EVANS, D.M., M.J.O. POCKOCK, J. BROOKS und J. MEMMOTT, 2011: Seeds in farmland food-webs: Resource importance, distribution and the impacts of farm management. *Biological Conservation* 144, 2941–2950.
- GABRIEL, D., C. THIES und T. TSCHARNTKE 2005: Local diversity of arable weeds increases with landscape complexity. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 7, 85–93.
- HANZLIK, K. und B. GEROWITT, 2016: Methods to conduct and analyze weed surveys in arable farming. A review. *Agronomy for Sustainable Development* (in press).
- HOOPER, D.U., F.S. CHAPIN III, J.J. EWEL, A. HECTOR, P. INCHAUSTI, S. LAVOREL, J.H. LAWTON, D.M. LODGE, M. LOREAU, S. NAEEM, B. SCHMID, H. SETÁLÁ, A. J. SYMSTAD, J. VANDERMEER und D. A. WARDL, 2005: Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs* 75, 3–35.
- KÜSTER, H., 1994: Die Geschichte einiger Ackerunkräuter seit der Jungsteinzeit. In: W. Schumacher (Hrsg.) *Flora und Fauna der Äcker und Weinberge*. Aus Liebe zur Natur 5, Hamburg, 29–35.
- MARSHALL, E. J. P., V.K. BROWN, N.D. BOATMAN, P.J.W. LUTMAN, G.R. SQUIRE und L.K. WARD, 2003: The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. *Weed Research* 43, 77–89.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment) 2005: *Ecosystems and human well-being: Current state and trends*. Edited by: Hassan, R., R. Scholes und N. Ash, Island Press.
- MEYER, S., K. WESCHE, B. KRAUSE und C. LEUSCHNER, 2013: Dramatic losses of specialist arable plants in Central Germany since the 1950s/60s – a cross-regional analysis. *Diversity and Distribution* 19, 1175–1187.
- PETIT, C., H. ARNAL und H. DARMENCY, 2015: Effects of fragmentation and population size on the genetic diversity of *Centaurea cyanus* (Asteraceae) populations. *Plant Ecology and Evolution* 148, 191–198.
- POWLES, S.B. und Q. YU, 2010: Evolution in action: Plants resistant to herbicides. *Annual Review of Plant Biology* 61, 317–347.
- SALESBURY, E.J. 1961: The weed flora of the past and diminishing species. *Weeds and aliens* (ed. by E.J. Salesbury), pp. 24–80. Collins, London.
- SCHOLZ, H., 1996: Ursprung und Evolution obligatorischer Unkräuter. *Schriften zu Genetischen Ressourcen* 4, 109 – 130.
- SLOTTA, T.A.B, 2008: What we know about weeds: insights from genetic markers. *Weed Science* 56, 322–326.
- STEWART, N.C. JR., J. PATRICK, P.J. TRANEL, D.P. HORVATH, J.V. ANDERSON, L.H. RIESEBERG, J.H. WESTWOOD, C.A. MALLORY-SMITH, M.L. ZAPIOLA und K.M. DLUGOSCH, 2009: Evolution of Weediness and Invasiveness: Charting the Course for Weed Genomics. *Weed Science* 57, 451–462.
- STORKEY, J. und D.B. WESTBURY, 2007: Managing arable weeds for biodiversity. *Pest Management Science* 63, 517–523.