

## Unkrautregulierung durch Fruchtfolgegestaltung und alternative Managementverfahren

*Weed control through crop rotation and alternative management practices*

**Herwart Böhm**

Thünen-Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst 32, 23847 Westerau, Deutschland  
herwart.boehm@ti.bund.de



DOI 10.5073/jka.2014.443.002

### Zusammenfassung

Ökonomische sowie agrar- und gesellschaftspolitische Veränderungen haben Auswirkungen auf das Anbaumanagement und somit auch auf die Fruchtfolgegestaltung und damit verbunden auf die Unkrautflora. Gleichfalls führen weitere Veränderungen im Anbau wie reduzierte Bodenbearbeitungsverfahren, frühere Aussaattermine etc. zu einer Zunahme des Unkrautaufkommens bzw. zu erhöhtem Herbizideinsatz und tragen gegebenenfalls zu Herbizidresistenzen bei. Die positiven Effekte von Fruchtfolgen, aber auch von alternativen Managementverfahren wie Sortenwahl, Zwischenfruchtanbau, Mischfruchtanbau, Grünguthäcksel sowie der Beitrag von Prädatoren als auch Verfahren der direkten nichtchemischen Unkrautregulierung werden vorgestellt und sowohl für den konventionellen Anbau als auch für den Ökologischen Landbau diskutiert. Sollen alternative Managementverfahren verstärkt in der Praxis eingesetzt werden, müssen vor allem Zielkonflikte abgebaut werden bzw. Anreize geschaffen werden.

**Stichwörter:** Fruchtfolge, direkte Verfahren, Management, mechanische Kontrolle, Unkraut, vorbeugende Maßnahmen

### Abstract

Economic as well as agricultural and socio-political changes have an impact on crop management and thus also on crop rotation design and the related effects on the weed flora. Likewise other changes in cultivation such as reduced tillage practices, earlier sowing date, etc. cause an increase in weed infestation resp. an increased use of herbicides and if so contribute to herbicide resistance. The positive effects of crop rotation, but also of alternative management practices such as choice of varieties, catch crops, mixed cropping, green chop, and the share of predators, as well as methods of direct non-chemical weed control are presented and discussed for both, conventional and organic farming. If alternative management methods should be more practiced, especially trade-offs need to be broken, or incentives be offered.

**Keywords:** Crop rotation, direct control, management, mechanical control, preventive measures, weed

### Einleitung

Fruchtfolgen übernehmen eine Vielzahl von Funktionen, wozu u.a. die notwendige Unterbrechung von Infektionszyklen, eine bessere Nährstoffausnutzung, die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit durch einen Wechsel von humuszehrenden und humusmehrenden Fruchtarten zählen. Ebenso leisten Fruchtfolgen einen erheblichen Beitrag als vorbeugende Maßnahme zur Unkrautregulierung und zur Erhaltung der Biodiversität in unseren Agrar-Ökosystemen (LIEBMAN und DYCK, 1993; ALTIERI, 1999; BLACKSHAW *et al.*, 2007). Andererseits wird die Entscheidung eines Betriebsleiters hinsichtlich der Fruchtfolgegestaltung oder Fruchtefolge geprägt durch veränderte agrar- und gesellschaftspolitisch initiierte Rahmenbedingungen (z. B. Bioenergie, Maisanbau) und veränderte Markt- und Nachfragesituationen. Dies kann sich massiv auf die Anbaukonzentration einzelner Kulturen auswirken. Ebenso kann die Einführung neuer Entwicklungen im Anbaumanagement wie zum Beispiel die Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung, die aus ökologischen (z. B. Erosionsschutz), aber auch aus ökonomischen Gründen (z. B. Treibstoff- und Arbeitseinsparung) durchaus positiv zu bewerten sind, deutliche Änderungen im Management der Unkrautregulierung bewirken. Gleichzeitig werden von Gesellschaft und Politik zunehmend eine Reduzierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes oder sogar, wie im Bereich des Ökologischen Landbaus, der vollständige Verzicht auf den Einsatz von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln gefordert. Diese Forderungen finden ihren Niederschlag in entsprechenden Richtlinien wie dem Aktionsrahmen der Europäischen

Gemeinschaft für die nachhaltige Verwendung von Pestiziden (2009/128/EG) oder in nationalen Programmen wie dem NAP (BMELV, 2013). Somit setzt sich eine Anbauentscheidung aus einer Abwägung vieler, sehr unterschiedlicher Faktoren zusammen: acker- und pflanzenbauliche Anforderungen, betriebswirtschaftliche und ökonomische Belange, arbeitswirtschaftliche Gründe, gesetzliche Vorgaben etc.. Andererseits verlangen zunehmende Herbizidresistenzen oder auch die Entscheidung durch eine Veränderung der Anbauform (z. B. Ökologischer Landbau) eine stärkere Beachtung der Fruchtfolgegestaltung als auch weiterer alternativer Managementmaßnahmen, die einen Beitrag zur Unkrautregulierung leisten können. Dies können sowohl ergänzende Maßnahmen zur Optimierung von Fruchtfolgen sein wie z. B. der Zwischenfruchtanbau oder aber Maßnahmen zur Verbesserung der Bestandsentwicklung als auch alternative Verfahren zur direkten Unkrautregulierung mittels mechanischer oder thermischer Verfahren.

### **Ausgangssituation**

Genauere Angaben zu Veränderungen hinsichtlich der Fruchtfolgegestaltung stehen nicht zur Verfügung. Insofern können nur aus statistischen Angaben zum Flächenumfang einzelner Kulturen oder Fruchtartengruppen entsprechende Ableitungen getroffen werden. Tabelle 1 zeigt neben einer deutlichen Abnahme von über 300 Tsd. ha für das Dauergrünland im Bereich des Ackerbaus vor allem Veränderungen für den Anbauumfang von Silomais. Dieser hat in den letzten 10 Jahren um 75 % zugenommen und nimmt somit einen Flächenanteil von 17,4 % ein. Der Getreideanbau hat dagegen leicht abgenommen, beträgt aber immer noch 55 % der Ackerfläche. Winterraps und Wintergetreide sind aufgrund ihrer hohen Ertragsleistungen die vorherrschenden Kulturen. Bei den weniger flächenstarken Kulturen waren vor allem die Hülsenfrüchte von einem deutlichen Anbau rückgang in Höhe von fast 62 % betroffen (Tab. 1). Die Flächenzunahme im Maisanbau hat ohne Zweifel Auswirkungen auf die Fruchtfolgegestaltung bzw. Fruchtfolge in den landwirtschaftlichen Betrieben. STEINMANN und DOBERS (2013) konnten anhand einer Auswertung von INVEKOS-Datensätzen der Jahre 2005 bis 2010 für das Bundesland Niedersachsen zeigen, dass auf 7,1 % der Ackerfläche Mais in jedem der in die Untersuchung einbezogenen Jahre auf derselben Fläche angebaut wurde, auf 9,1 % der Fläche stand Mais 3-mal, auf 10,4 % der Fläche Mais 4-5-mal. Mais war somit auf 46,9 % der Maisfläche direkte Vorfrucht. Der Anteil an Weizen, der 4-5-mal innerhalb der 6 Jahre auf derselben Fläche angebaut wurde, lag bei 14,8 % der Ackerfläche (STEINMANN und DOBERS, 2013). Deutlich wird, dass sich der Anbau im konventionellen Landbau immer stärker, auch unter Einbeziehung regionaler Standortbedingungen, auf nur wenige Kulturarten beschränkt, Fruchtfolgen damit immer enger oder vollkommen aufgegeben und durch Monokulturen abgelöst werden. Insbesondere bei Monokulturen besteht das Risiko einer zunehmenden Verunkrautung bzw. eines erhöhten Einsatzes von Herbiziden. Ebenso ermöglichen sie das Auftreten neuer, oftmals schwer zu bekämpfender Unkräuter, wie KLINGENHAGEN *et al.* (2012) anhand des Auftretens von *Solanum carolinense* L. in Körnermais gezeigt haben.

Demgegenüber fordert die Gesetzgebung zunehmend, dass mehrere Kulturen angebaut werden und der Fruchtfolgegestaltung wieder größere Bedeutung beigemessen wird. So sieht der Aktionsrahmen der Europäischen Gemeinschaft für die nachhaltige Verwendung von Pestiziden (2009) vor, dass Fruchtfolgen ein wesentliches Element sein sollen und damit neben anderen Managementelementen eine Schlüsselfunktion des integrierten Pflanzenbaus darstellen. Im Pflanzenschutzgesetz sind ebenfalls ausdrücklich vorbeugende Maßnahmen zur Reduzierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes benannt.

Im Rahmen des EU-Aktionsrahmens muss somit auch das Konzept des Integrierten Weed Managements (IWM) neu überdacht werden. Sollen alternative Managementmethoden verstärkt auch im konventionellen Anbau zum Einsatz kommen, müssen Zielkonflikte aufgelöst oder klarere Rahmenrichtlinien vorgegeben werden, die es ermöglichen, dass diese Verfahren auch von den Landwirten in ihrer Anbauplanung bzw. Betriebsausstattung integriert werden. Bestrebungen wie z. B. von GUMMERT *et al.* (2012) vor dem Hintergrund der EU-Richtlinie für die nachhaltige

Verwendung von Pestiziden für den integrierten Pflanzenschutz im Zuckerrübenanbau vorgenommen, schaffen hier eine erste Grundlage, bieten jedoch nach wie vor nur wenige Möglichkeiten des Einsatzes alternativer Managementverfahren. So wird die Bekämpfung von Unkräutern über die gesamte Fruchtfolge und je nach Bodenbearbeitungsverfahren durch eine intensive Stoppelbearbeitung sowie die Grundbodenbearbeitung und die Saatbettbereitung empfohlen. Bei den Maßnahmen zur direkten Regulierung von Unkräutern wird jedoch deutlich, dass als Hinderungsgründe für den Einsatz alternativer Methoden wie eine Kombination von Bandspritzung und mechanischer Unkrautregulierung z. B. die fehlende maschinelle Ausstattung der Betriebe und die höheren Arbeitserledigungskosten angeführt werden. Damit wird deutlich, dass der Zielkonflikt zwischen ökonomischen und ökologischen Belangen weiterhin bestehen bleibt.

**Tab. 1** Flächenumfang von Dauergrünland und Acker sowie der Anbauumfang bzw. deren Anteile an der Ackerfläche in den Jahren 2003 und 2012 (BMELV, 2005 und 2012).

**Tab. 1** Acreage of permanent grassland and cropland as well as the acreage resp. percentage of the cropland in the years 2003 and 2012 (BMELV, 2005 and 2012).

Kultur	2003		2012	
	Fläche in 1.000 ha	Anteil in %	Fläche in 1.000 ha	Anteil in %
Dauergrünland	4.968		4.654	
Ackerland	11.827	100,0	11.850	100,0
Getreide	6.839	57,8	6.516	55,0
Mais	1.616	13,7	2.566	21,7
Silomais	1.173	9,9	2.056	17,4
Körnermais incl. CCM	443	3,7	510	4,3
Raps	1.266	10,7	1.301	11,0
Zuckerrüben	446	3,8	404	3,4
Kartoffeln	287	2,4	238	2,0
Hülsenfrüchte	207	1,8	79	0,7

Interessenkonflikte, den Einsatz von Herbiziden zu reduzieren, ergeben sich jedoch auch aus anderen, ebenfalls geforderten Veränderungen in der Bewirtschaftung. Dies lässt sich z. B. an der Forderung nach einem verstärkten Einsatz reduzierter Bodenbearbeitungsverfahren nachvollziehen, die in der Regel mit einer Zunahme der Verunkrautung bzw. einer Erhöhung der Herbizidmaßnahmen einhergeht. FREIER *et al.* (2012) konnten im Rahmen des Netzes Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz für die Auswertung der Jahre 2007 bis 2011 zeigen, dass der Behandlungsindex für Herbizide bei pflugloser Bearbeitung aufgrund der zusätzlichen Anwendung glyphosathaltiger Herbizide gegenüber der Pflugbearbeitung erhöht ist. So stieg der Behandlungsindex im Durchschnitt aller Vorfruchtgruppen bei Winterweizen gegenüber Pflug (BI = 1,7) um 0,2, bei Wintergerste (Pflug: BI = 1,3) um 0,4 und bei Winterraps (Pflug: BI = 1,4) um 0,6. In Deutschland wurden im Wirtschaftsjahr 2009/10 38 % der Ackerfläche mit reduzierten Bodenbearbeitungsverfahren bestellt (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2013), sodass diese Veränderungen auch bezüglich der erhöhten Herbizidbehandlungen nicht zu vernachlässigen sind. Gleichfalls können sich Problemunkräuter, wie z. B. eine Verungrasung mit Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*), stärker ausbreiten. Dies wiederum führt in Verbindung mit vereinfachten Fruchtfolgen sowie hohen Getreideanteilen bzw. hohen Anteilen an Winterungen als auch vorgezogenen Aussaatterminen zu deutlich höheren Herbizidaufwendungen bzw. zu Resistenzen

gegenüber Herbiziden, sodass keine ausreichende Bekämpfung der Unkräuter bzw. –gräser mehr erfolgen kann (LANDSCHREIBER *et al.*, 2012).

Im Ökologischen Landbau stellt sich die Situation etwas anders dar, da auf den Einsatz von Herbiziden generell verzichtet wird. Somit übernimmt die Fruchtfolge eine wesentliche Schlüsselposition als vorbeugende Maßnahme zur Unkrautregulierung. Dennoch ist in den letzten Jahrzehnten auch im Ökologischen Landbau eine Entwicklung zur Intensivierung zu verzeichnen, die auch mit einer Vereinfachung von Fruchtfolgen einhergehen kann. Ebenso wirtschaftet ein zunehmender Anteil an Öko-Betrieben viehlos oder nur mit einem geringen Viehbesatz, sodass der Anteil an Futterleguminosen wie Klee- oder Luzernegrass in der Fruchtfolge reduziert oder die Nutzungsdauer von einer zwei- oder mehrjährigen auf eine einjährige Nutzung umgestellt wird. Dies hat in Abhängigkeit des Standortes oftmals direkten Einfluss auf die Entwicklung von Wurzelunkräutern wie Quecke auf leichten, oder Ackerkratzdistel oder Ampfer auf mittleren und schweren Standorten. Ebenfalls stellt sich im Ökologischen Landbau zunehmend die Frage nach der Einführung von Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung. Diese können jedoch zu einer Erhöhung des Unkrautauftkommens führen.

Somit besteht in beiden Anbausystemen die Notwendigkeit zur Diskussion über die Fruchtfolgegestaltung als auch über den Einsatz bzw. die Weiterentwicklung alternativer Managementsysteme zur Unkrautregulierung.

### **Fruchtfolge**

Die von Fruchtfolgen ausgehenden Effekte können an sich nie für sich allein betrachtet werden, da sie neben den standörtlichen Gegebenheiten und dem betrieblichen Produktionsschwerpunkt in besonderem Maße von ackerbaulichen Maßnahmen wie Bodenbearbeitung und Düngung, aber auch von der Bewirtschaftungsform (ökologisch, konventionell) abhängig sind. Eine Bewertung von Fruchtfolgen sollte daher andere Bewirtschaftungsfaktoren einbeziehen. Der klassische Ansatz ist die Anlage von Dauerfeldversuchen mit unterschiedlichen Fruchtfolgen, die weitere Faktoren wie z.B. Bodenbearbeitung beinhalten können. Fruchtfolgeversuche bieten die Möglichkeit spezifische Fragestellungen, wie z. B. die Entwicklung der Unkrautflora, unter definierten Bedingungen zu untersuchen. Sie müssen jedoch, um entsprechend abgesicherte Ergebnisse erarbeiten zu können, langfristig, d. h. über mehrere Fruchtfolgeperioden durchgeführt werden. Dies stellt die größte Herausforderung für die Aufrechterhaltung solcher Versuche dar, da Projektträger in der Regel nur noch zwei- bis dreijährige Forschungsvorhaben fördern und die Grundausstattung vieler Institutionen eine Aufrechterhaltung von Dauerfeldversuchen kaum noch gestatten.

Daher stehen nur wenige neuere und aktuellere Untersuchungen zur Verfügung. Grundsätzliche Zusammenhänge und Erkenntnisse aus früheren Untersuchungen sind jedoch weiterhin gültig. LIEBMAN und DYCK (1993) führten eine umfangreiche Literaturlauswertung zu Auswirkungen von Fruchtfolgen im Vergleich zum Anbau von Monokulturen durch. Ihre Auswertungen zeigten, dass in den Testkulturen der Fruchtfolge in 21 Fällen eine geringere Verunkrautung, in einem Fall eine höhere und in fünf Fällen eine vergleichbare Verunkrautung im Vergleich zur Monokultur auftrat. Ein vergleichbares Ergebnis konnte auch für die Unkrautsamendichte festgestellt werden, d. h. in 9 Fällen war sie in der Fruchtfolge geringer und in drei Fällen vergleichbar zu den Monokulturen. Auch hinsichtlich des Ertragsniveaus wiesen die Testkulturen in den Fruchtfolgen in 11 Fällen höhere Erträge auf als in den Monokulturen, in drei Fällen waren sie auf vergleichbarem Niveau. Damit wird deutlich, dass Fruchtfolgen im Vergleich zum Anbau von Monokulturen deutlich positive Effekte auf das Unkrautvorkommen aufweisen. Die Gründe der positiven Effekte von Fruchtfolgen auf die Unkrautunterdrückung sind vielfältig und können u. a. auf unterschiedliche Ansprüche der Kulturpflanzen hinsichtlich der Ressourcen wie Nährstoffe, Wasser usw., allelopathische Wirkungen, abwechselnde Bodenbearbeitungs- und Saatzeiten oder mechanische Zerstörung im Falle von Feldfutterbau oder Beweidung zurückgeführt werden (LIEBMAN und DYCK, 1993).

Neuere Ergebnisse für den konventionellen Anbau liefern die Auswertungen von SCHWARZ und MOLL (2010) für zwei unterschiedliche Betriebssysteme, wobei ein Marktfruchtbetrieb mit einer Fruchtfolge mit 67 % Getreideanteil mit einem Futterbaubetrieb mit integriertem Feldfutterbau und einem Getreideanteil von 50 % über einen 12-jährigen Zeitraum (zwei Fruchtfolgeperioden) verglichen wurde. Zudem wurden die Herbizide in zwei unterschiedlichen Aufwandmengen ausgebracht als auch unbehandelte Kontrollparzellen belassen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Futterbaufuchtfolge schwächer verunkrautet war als die Marktfruchtfolge. Dies konnte sowohl für die dikotylen Unkräuter als auch für *Apera spica-venti* nachgewiesen werden. Hierfür verantwortlich ist einerseits der geringere Getreideanteil in der Futterbaufuchtfolge als auch der Anbau von Luzerne-Klee gras, bei dem durch die Schnittnutzung die Unkräuter in ihrer Entwicklung immer wieder unterbrochen und infolge der Eintrag von Unkrautsamen reduziert wurde. Nach Umstellung des Versuches in 2007 auf eine einheitliche energiepflanzenbetonte Fruchtfolge war die Verunkrautung auf den ehemaligen Flächen der Marktfruchtfolge nach wie vor höher als auf denen der Futterbaufuchtfolge (SCHWARZ *et al.*, 2012).

Im Bereich des Ökologischen Landbaus besteht seit 1998 ein zweifaktorieller Dauerfeldversuch auf dem Gladbacher Hof der Universität Gießen, in dem drei verschiedene Fruchtfolgen bzw. Betriebssysteme und verschiedene Bodenbearbeitungsverfahren verglichen werden (SCHMIDT und LEITHOLD, 2005; SCHULZ, 2012). Dies sind ein Gemischtbetrieb mit Viehhaltung und zweijährigem Luzerne-Klee grasanbau sowie zwei viehlos wirtschaftende Betriebssysteme, eines mit 1-jähriger Grünbrache sowie das andere mit einer reinen Marktfruchtfolge, in der die Grünbrache durch eine Körnerleguminose (*Vicia faba*) ersetzt wurde. Die Bodenbearbeitungssysteme weisen eine abnehmende Eingriffsintensität auf, d. h. vom Pflug über Zweischichtenpflug bis hin zu dem nichtwendenden Bodenbearbeitungsverfahren mit Schichtengrubber und Rotoregge. In der ersten Fruchtfolgeperiode wurde der Besatz mit Unkräutern sowohl durch die Fruchtfolge als auch durch die Bearbeitungsintensität stark beeinflusst (SCHMIDT und LEITHOLD, 2005), d. h. in der Fruchtfolge ohne feinsamigen Leguminosen war der Unkrautdruck deutlich höher. Der Unkrautdeckungsgrad war in allen nicht mit dem Pflug krumentief bearbeiteten Varianten höher, was sich am deutlichsten in der Schichtengrubbervariante zeigte. Hier wurde auch der deutlich höchste Besatz mit *Cirsium arvense* festgestellt. In der zweiten Fruchtfolgeperiode zeigten sich jedoch kaum noch Unterschiede zwischen den drei Fruchtfolgen. Lediglich die oberirdische Biomasse von *C. arvense* zeigte in einigen Jahren ein etwas höheres, aber statistisch nicht sicheres Niveau in der reinen Marktfruchtfolge. Dies konnten Untersuchungen am Thünen-Institut für Ökologischen Landbau in Trenthorst nicht bestätigen (BÖHM *et al.*, 2014). Hier zeigte sich ein deutlich höherer und zunehmender Besatz mit *C. arvense* in einer Marktfruchtfolge mit einjähriger Brache bzw. Rotklee vermehrung gegenüber einer Wiederkäuer-Fruchtfolge mit 2-jährigem Klee grasanbau. Entgegengesetzt verhielt sich das Auftreten von *Galium aparine*.

Neben klassischen Fruchtfolgeversuchen können Aussagen zur Unkrautflora und dessen Vorkommen durch ein flächenhaftes Monitoring bei gleichzeitiger Betriebsdatenerfassung gewonnen werden. Um statistisch verlässlich, absicherbare Ergebnisse zu generieren, muss der Stichprobenumfang hoch sein. Zum anderen beziehen sich die Aussagen bzw. Zusammenhänge immer auf die Spannweite, die für einen Parameter erfasst wurde. Neuere Erhebungen auf Praxisschlägen zur Unkrautzusammensetzung in Mais (DE MOL *et al.*, 2012) oder zum Auftreten von *Geranium* spp. in Raps (HANZLIK *et al.*, 2012) wurden auch hinsichtlich des Einflusses unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen wie Bodenbearbeitung, Aussaatzeit und Fruchtfolge bzw. Vorfrucht etc. ausgewertet. Hierbei wurde bei den Untersuchungen zum Raps kein Einfluss der Fruchtfolge bzw. der Vorfrucht festgestellt. Maßgeblich für die Förderung der *Geranium*-Arten waren die nichtwendende Bodenbearbeitung und eine frühe Rapsaussaart. Dagegen war die Unkrautzusammensetzung in den untersuchten Maisbeständen (DE MOL *et al.*, 2012) abhängig von Fruchtfolgeparametern wie z. B. dem Anteil an Mais bzw. Raps in der Fruchtfolge und ergänzend, wenn Mais als Vor- und Vorvorfrucht stand.

Hinsichtlich einer Erhöhung der Diversität von Unkrautarten ist der positive Einfluss vielseitiger Fruchtfolgen bekannt (LIEBMAN und DYCK, 1993; ALTIERI, 1999). Jedoch wirken sich auch die Unkrautbekämpfungsstrategien erheblich auf die Unkrautartenvielfalt aus. Untersuchungen von ULBER *et al.* (2009) zeigen, dass die Artenvielfalt an Unkräutern in Öko-Fruchtfolgen höher war als in einfachen ( $\leq 3$  Kulturen mit Herbstsaat) oder diversifizierten (3 - 5 Kulturen, mindestens eine im Frühjahr gesäte Kultur) konventionellen Fruchtfolgen. Gleichzeitig reduzierten die Unkrautregulierungsmaßnahmen in beiden konventionellen, nicht aber in den ökologischen Fruchtfolgesystemen die Artenvielfalt an Unkräutern.

Förderprogramme zur Fruchtartendiversifizierung, die im Rahmen der GAK in einigen Bundesländern wie Bayern, Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen und Thüringen angeboten werden, können einen Beitrag leisten, um die Fruchtartenvielfalt und damit eine Erweiterung der Fruchtfolgen zu befördern.

### **Bodenbearbeitung**

Über die Auswirkungen unterschiedlich intensiver Bodenbearbeitung auf die Unkrautflora liegen eine Vielzahl von Untersuchungen sowohl für den Bereich des konventionellen als auch für den ökologischen Landbau vor (CHAUHAN *et al.*, 2012; DITTMANN, 2012; MELANDER *et al.*, 2013). Die überwiegende Anzahl an Untersuchungen kommt zu dem Ergebnis, dass nichtwendende Bodenbearbeitungsverfahren zu einer deutlichen Zunahme der Unkrautflora und, je nach Standort und angebauten Kulturen, von Problemunkräutern im Vergleich zur Pflugbearbeitung führen. Andererseits gibt es ebenfalls eine Vielzahl von Untersuchungen, die die positiven Effekte der Stoppelbearbeitung für die Unkrautregulierung, insbesondere auch im Ökologischen Landbau für die Bekämpfung von Wurzelunkräutern, bestätigen (LUKASHYK *et al.*, 2008; GRUBER und CLAUPEIN, 2009; MELANDER *et al.*, 2013).

Insofern kann die Fruchtfolgegestaltung nicht allein betrachtet werden, sondern muss im Zusammenhang mit einhergehenden Veränderungen bei der Bodenbearbeitung gesehen werden. Reduzierte Bodenbearbeitungsverfahren bieten eine Vielzahl von ökologischen (Erosionsschutz, ...) als auch ökonomischen (Reduzierung des Dieserverbrauchs, ...) Vorteilen, andererseits führen sie zu Nachteilen (erhöhter Unkrautdruck, intensiverer Einsatz von Herbiziden mit den damit verbundenen Wirkungen auf das Ökosystem, ...). Somit ist zu klären, welchen Beitrag die Fruchtfolgegestaltung oder alternative Managementverfahren leisten können, entsprechende Zielkonflikte so aufzulösen, dass sie auch Akzeptanz und Anwendung in der Landwirtschaft finden.

Vor dem Hintergrund der zunehmenden Verunkrautung bei der Anwendung von Bodenbearbeitungsverfahren mit reduzierter Eingriffsintensität bei gleichzeitiger Tendenz zu vereinfachten Fruchtfolgen mit zumeist hohen Anteilen an Wintergetreiden befasst sich ein Beitrag von MELANDER *et al.* (2013), in dem alternative Managementverfahren zur Unkrautregulierung aufgezeigt und diskutiert werden. Interessant ist, dass bei nahezu allen alternativen Managementverfahren darauf hingewiesen wird, dass zu diesen im Ökologischen Landbau bereits Erfahrungen vorliegen und zum Teil bereits in der Praxis zum Einsatz kommen. Dass alternative Managementverfahren im System des Ökologischen Landbaues eine höhere Akzeptanz genießen, liegt jedoch zweifelsfrei daran, dass der Verzicht auf den Herbizideinsatz in diesem Anbausystem den Zielkonflikt erst gar nicht entstehen lässt. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass im konventionellen Anbau die Vorteile alternativer Managementverfahren betriebswirtschaftlich bzw. ergänzend ihr ökologischer Nutzen bewertet und diese honoriert werden müssen. Andernfalls werden alternative Managementverfahren sich nur durchsetzen, wenn sie dem Landwirt ökonomische Vorteile bieten oder diese durch entsprechende Vorgaben verpflichtend sind.

## Alternative Managementverfahren

### Förderung des Pflanzenwachstums und Sortenwahl

Eine gute Unkrautunterdrückung können durch viele anbaubegleitende Maßnahmen, wie z. B. homogene Pflanzenbestände mit einer ausreichenden Pflanzendichte und optimierter räumlicher Verteilung auf dem Feld, optimale Saattermine, angepasste Düngung mit entsprechender Ausbringtontechnik bzw. Platzierung, erzielt werden (BLACKSHAW *et al.*, 2007). Somit stellen alle Maßnahmen, die das Pflanzenwachstum befördern, die einfachste Möglichkeit einer vorbeugenden Unkrautregulierung dar. Hierzu zählen ebenfalls eine Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung, die dazu beitragen Bodenverdichtungen zu vermeiden als auch eine an die Kultur und den Standort optimal angepasste Saattechnik.

Auch die Sortenwahl kann hierbei einen wesentlichen Beitrag leisten. So konnte bereits EISELE (1992) unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus zeigen, dass morphologisch differenzierte Weizensorten eine unterschiedliche Bodenbeschattung bewirken, die sich mit steigendem Blattflächenindex erhöht. Dabei konnten Sorten mit planophiler Blattstellung die Einstrahlung am effizientesten reduzieren. Bereits geringe Differenzen in der Interzeption der photosynthetisch aktiven Strahlung als Maß für das Beschattungsvermögen von Winterweizensorten beeinflussen die Massentwicklung und den Deckungsgrad von Unkräutern deutlich. Weiterführende Untersuchungen wurden von DREWS *et al.* (2009) mit drei Weizensorten sowie unterschiedlich weiten Reihenabständen und variiertem Drillrichtung durchgeführt. Auch hier beeinflusste die Blatthaltung der Weizensorten den Unkrautdeckungsgrad und die -biomasse maßgeblich. Die langstrohige Weizensorte mit planophiler Blattstellung bei Reihenabständen von 12 bzw. 17 cm reduzierte die Unkrautbiomasse und den Unkrautdeckungsgrad um bis zu 73 % im Vergleich zu einer Weizensorte mit erektophiler Blattstellung bei einem Reihenabstand von 24 cm. Die Drillrichtung (Ost-West vs. Nord-Süd) hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Entwicklung des Unkrautes. Weiter wurde festgestellt, dass die Beschattungsfähigkeit deutlich abhängig ist von den Eigenschaften der Unkrautarten wie z. B. Entwicklungszeit, Wuchshöhe und Schattentoleranz. Die Autoren schlussfolgern, dass die Wahl einer langstrohigen und planophilen Sorte bei gleichzeitig engem Reihenabstand eine effektive Möglichkeit der Unkrautkontrolle darstellt. Auch SCHMIDTKE *et al.* (2013) kommen auf Basis mehrjähriger und -ortiger Untersuchungen in Landessortenversuchen im Ökologischen Landbau zu der Schlussfolgerung, dass Lichttransmissionsmessungen in Winterweizensortenversuchen sehr gut geeignet sind, sortenbedingte Unterschiede im Beschattungsvermögen zu erfassen. Ihre Untersuchungsergebnisse zeigen, dass insbesondere zum Zeitpunkt der Bestockung in mehr als zwei Drittel der untersuchten Umwelten mit Hilfe der Lichttransmissionsmessungen in den Weizenbeständen Sorten als statistisch gesichert im Hinblick auf ihr Beschattungsvermögen in den Versuchen klassifiziert werden konnten. Somit sind Sorten, die bereits zu frühen Entwicklungsstadien über eine gute Pflanzenentwicklung mit ausreichender Blattmasse verfügen, besonders geeignet, um eine frühzeitige Unkrautunterdrückung durch den Weizenbestand zu erreichen. Dies deckt sich mit Ergebnissen von LEMERLE *et al.* (1996) bei Sommerweizen.

Im konventionellen Anbau führte VERSCHWELE (2014) verschiedene, mehrjährige Untersuchungen durch. Bei der Prüfung von 10 Winterweizensorten konnte er in einer dreijährigen Versuchsserie mit dem Modellunkraut *Sinapis alba* einen engen Zusammenhang ( $r = 0,87$ ) zwischen Sprossmasse des Modellunkrautes und dem Lichteinfall durch den Bestand nachweisen. In einer weiteren Versuchsserie in den Jahren 2008-2010 mit 8 Winterweizensorten und unterschiedlichen Unkrautregulierungsverfahren (Striegel, 50 % und 100 % Herbizid) führte der Striegeleinsatz zu einem Mehrertrag von  $1,23 \text{ t ha}^{-1}$ , die 100 %-Herbizidvariante zu einem Mehrertrag von  $2,08 \text{ t ha}^{-1}$ . Der durch die Unkrautbekämpfung bedingte Ertragszuwachs war dabei sortenabhängig. So betrug dieser bei der Sorte Bussard 5 %, bei der Sorte Impression jedoch 11 %. Die Versuche zeigen, dass die unterschiedliche Konkurrenzkraft von Weizensorten die Bekämpfungswirkung von chemischen und mechanischen Bekämpfungsverfahren unterstützt. Die Sortenwahl kann somit auch im konventionellen Anbau als wichtige Maßnahme, entweder zur Reduzierung der

Herbizidaufwandmenge oder als Baustein für ein Herbizid-Resistenzmanagement, genutzt werden (VERSCHWELE, 2014). Diese Erkenntnisse sollten in die Beratungspraxis als auch in Sortenversuchen Berücksichtigung finden.

Entsprechende Ergebnisse lassen sich bei anderen Kulturen finden. Eine Vielzahl von Wuchstypen, halbblattlose und normalblättrige sowie kurz- und langstrohige Typen, weisen Erbsen auf. An Wintererbsen konnte gezeigt werden, dass normalblättrige Typen über ein besseres Unkrautunterdrückungs-Potential als halbblattlose Typen verfügen. Allerdings können normalblättrige Sorten nur im Gemenge mit einem Getreide angebaut werden, um eine ausreichende Standfestigkeit durch die Stützfrucht Getreide hinsichtlich einer sicheren Beerntung zu gewährleisten (GRONLE und BÖHM, 2014).

Insgesamt lässt sich ableiten, dass Merkmale wie z. B. frühe Jugendentwicklung und Blattstellung, die eine unkrautunterdrückende Wirkung haben, stärker im Züchtungsprozess berücksichtigt werden sollten. In der Züchtung von Maissorten für den Ökologischen Landbau wurde ein solcher Ansatz bereits integriert (BURGER *et al.*, 2008). Dabei konnte gezeigt werden, dass an das System des Ökologischen Landbaus adaptierte Genotypen zuverlässiger unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus selektiert werden können als unter den Bedingungen des konventionellen Landbaus (MESSMER *et al.*, 2010). Auch in der Sojazüchtung wird die Beikrauttoleranz von Genotypen gegenüber Unkräutern geprüft, wobei hier mit „künstlichen Unkräutern“ in Form von verschiedenen Kulturarten bzw. Kulturartengemengen gearbeitet wird (PFAFF *et al.*, 2012).

### **Zwischenfruchtanbau**

Von Zwischenfrüchten ist bekannt, dass sie neben positiven Wirkungen auf den Nährstoffhaushalt sowie das Nährstoffmanagement, die Bodenstruktur, das Bodenleben sowie die Reduzierung von Nährstoffausträgen durch Auswaschung auch eine gute Unkraut unterdrückende Wirkung haben (BLACKSHAW *et al.*, 2007; OLESEN *et al.*, 2007). Aufgrund des zunehmenden Anteils an Wintergetreide und der früheren Saattermine ist ein Zwischenfruchtanbau im konventionellem Anbau wegen des oftmals zu kleinen Zeitfensters nur noch in begrenztem Umfang realisierbar, da die für die Entwicklung der Zwischenfrüchte zur Verfügung stehende Vegetationszeit deutlich verkürzt ist. BRUST *et al.* (2011) haben daher untersucht, ob Zwischenfrüchte oder Untersaaten in solchen Anbausystemen zur Unkrautunterdrückung beitragen können. Weißklee (*Trifolium repens*) und Deutsches Weidelgras (*Lolium perenne*) konnten als Untersaat in Weizen und Dinkel etabliert werden und reduzierten die Unkrautdichte und -biomasse. Weder die Bestandsdichte noch der Kornertrag des Getreides wurde von der Untersaat negativ beeinflusst. Ebenso wird nach neuen Kulturen für den Zwischenfruchtanbau gesucht, die über ein besonders gutes Unkrautunterdrückungsvermögen verfügen. Rau- oder Sandhafer (*Avena strigosa* Schreb.), der in Südbrasilien eine wichtige Zwischenfrucht darstellt, wies auch unter hiesigen Bedingungen eine gute Unkraut unterdrückende Wirkung in Versuchen auf, die zu einer zum Gelbsenf vergleichbaren Reduzierung der Unkrautdichte führte (BRUST *et al.*, 2011). Auffallend war, dass der Rauhafer keine höhere Sprosstrockenmasse gebildet hat, dafür aber, wenn auch statistisch nicht sicherbar, die höchste Wurzel-Trockenmasse aufwies. Die Autoren folgern, dass somit ein sehr gutes Wurzelwachstum zu einer deutlichen Reduzierung der Unkrautdichte beitragen kann (BRUST *et al.*, 2011).

Die Ergebnisse belegen, dass Zwischenfrüchte auch bei nur geringer Entwicklungszeit ausreichende ober- und unterirdische Biomasse entwickeln sowie Untersaaten auch in intensiv geführten Kulturen erfolgreich etabliert werden können und damit einen Beitrag zur Reduzierung des Unkrautauftommens leisten können. Gleichwohl müssen die klimatischen und standörtlichen Bedingungen eine ausreichende und schnelle Entwicklung von Zwischenfrüchten ermöglichen.



### **Mischfrucht- bzw. Gemengeanbau**

Die Vorteile des Gemengeanbaus, insbesondere in low-input-Systemen hinsichtlich einer Erhöhung der Erträge bzw. der Ertragsstabilität sind vielfach belegt (BLACKSHAW *et al.*, 1993; LIEBMAN und DYCK, 1993; HAUGGAARD-NIELSEN *et al.*, 2001, 2008; NEUMANN *et al.*, 2007). Als Ursachen für diese Effekte können der gegenseitige Ausgleich der im Gemenge angebauten Kulturen, eine bessere Nährstoffausnutzung aufgrund unterschiedlicher Ansprüche der Kulturpflanzen aber auch das unterschiedlich ausgeprägte Wurzelwerk der Gemengepartner, eine Reduzierung von Krankheiten, ein verringerter Befall mit Schädlingen, eine bessere Beerntbarkeit aufgrund einer verbesserten Standfestigkeit durch den Gemengepartner insbesondere bei Körnererbsen (MURRAY und SWENSEN, 1985; PATRIQUIN *et al.*, 1988; BEDOUSSAC, 2009; SEIDENGLANZ *et al.*, 2011; URBATZKA *et al.*, 2011a; GRONLE *et al.*, 2013) aber auch ein höheres Potential zur Unkrautunterdrückung sein (KIMPEL-FREUND *et al.*, 1998; CORRE-HELLOU *et al.*, 2011). Insofern ist das Wissen recht umfassend und der Gemengeanbau nimmt im Ökologischen Landbau vor allem bei Kulturen mit schlechter Unkrautunterdrückung – dies sind oftmals Körnerleguminosen, insbesondere Erbsen – in den vergangenen Jahren deutlich zu. Bei blattreichen Erbsenformen oder auch Wicken, die zum Drusch angebaut werden sollen, ist ein Mischfruchtanbau aus Gründen der fehlenden Standfestigkeit notwendig, d.h. hier muss der Gemengepartner die Stützfruchtwirkung für die Leguminose übernehmen, damit eine gute Beerntung gewährleistet ist (BÖHM, 2013; GRONLE und BÖHM, 2014).

Die Ursache für das oftmals höhere Unkrautaufkommen in Erbsen-Reinsaaten im Vergleich zu Erbsen-Hafer-Gemengen kann in der schnelleren Jugendentwicklung des Hafers im Vergleich zur Erbse liegen (HAUGGAARD-NIELSEN *et al.*, 2001) und der damit verbundenen früheren und stärkeren Beschattung des Bodens im Gemenge. KIMPEL-FREUND *et al.* (1998) haben gezeigt, dass Erbsen-Reinsaaten zu Beginn der Pflanzenentwicklung mehr photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) zum Unkrautbestand transmittieren als Erbsen-Hafer-Gemenge. Damit steht Unkräutern zu Beginn der Pflanzenentwicklung mehr Licht zur Verfügung. Als weitere Ursachen, die mit zunehmender Pflanzenentwicklung an Bedeutung zunehmen, kommen eine stärkere Konkurrenz zwischen Unkräutern und Kulturpflanzen um Wasser und/oder Nährstoffe sowie eine Abgabe von wachstumshemmenden phenolischen Substanzen des Hafers über Wurzelexsudation in Frage (BAGHESTANI *et al.*, 1999).

Im Ökologischen Landbau wurde der Mischfruchtanbau zudem unter dem Aspekt betrachtet, ob die gute Unkraut unterdrückende Wirkung des Gemengeanbaus ausreichend ist, um das in der Regel stärkere Unkrautaufkommen bei der Anwendung von Verfahren der reduzierten Bodenbearbeitung zu kompensieren (GRONLE und BÖHM, 2012). Die mehrjährig mit Sommerformen (halbblattlose Typen) und Winterformen (halbblattlose und normalblättrige Typen) der Erbsen im Gemenge mit Hafer bzw. Wintertriticale durchgeführten Feldversuche zeigten, dass halbblattlose Erbsensorten, angebaut als Sommererbsen-Hafer-Gemenge oder Wintererbsen-Triticale-Mischsaaten, die Unterschiede im Unkrautaufkommen bei flachwendender Bodenbearbeitung im Vergleich zu den jeweiligen Reinsaaten der Erbsen bei tiefwendender Bodenbearbeitung kompensieren konnten. Die geprüften normalblättrigen Wintererbsen weisen ein so hohes Unkrautunterdrückungs-Potentials auf, dass es weder zwischen der tief- und flachwendenden Bodenbearbeitung noch zwischen dem Anbau in Reinsaat oder Mischsaat Unterschiede hinsichtlich des Unkrautaufkommens gab (GRONLE und BÖHM, 2012).

### **Grünguthäcksel**

Ein weiteres bislang in Körnerleguminosen geprüftes Verfahren ist der Einsatz von Grünguthäcksel, d. h. frisch gehäckselter und abgesiebter Heckenschnitt mit einem möglichst hohen Anteil an Nadelhölzern. Grünguthäcksel ist das Ausgangsmaterial für die Herstellung von Grüngutkompost und kann somit über die Kompostwerke bezogen werden. Grünguthäcksel enthält wachstumshemmende Stoffe, wie Gerbsäuren und phenolische Verbindungen, die die Keimfähigkeit von Unkrautsamen reduzieren können. Ausgebracht wird der Grünguthäcksel mit

Kompost- oder Miststreuern in einer Menge von 200-450 dt ha<sup>-1</sup> vor der Aussaat. Die von Lux *et al.* (2013) durchgeführten Versuche zeigen eine deutlich, zum Teil signifikante Reduzierung der Unkrautbiomasse, vor allem annueller Samenunkräuter. In Untersuchungen unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus wurde nachgewiesen, dass Nadelhölzer eine stärkere negative Wirkung auf das Wachstum der Referenzfrucht Kresse aufwiesen als Laubhölzer. Dieses Verfahren hat sich vor allem bei großkörnigen Leguminosen wie Ackerbohnen und Erbsen mit tieferer Ablage und hypogäischer Keimung hinsichtlich der Reduzierung der Unkrautbiomasse bewährt.

Der Einsatz von Grünguthäcksel ist gleichzeitig eine organische Düngung mit der Möglichkeit der Rezyklierung von Nährstoffen und kann den Anteil an organischer Substanz im Boden erhöhen sowie die Bodenstruktur verbessern. Die oberflächennahe Ausbringung bzw. Einarbeitung reduziert zudem die Verschlämmungsneigung der Bodenoberfläche.

### **Prädatoren**

In den letzten Jahren wurden ebenfalls vermehrt Untersuchungen zu Leistungen von Prädatoren und deren Beitrag zur Reduzierung von Unkrautsamen durchgeführt. Diese können sich im Rahmen von 50 – 90 % bewegen (HEGGENSTALLER *et al.*, 2006; JONASON *et al.*, 2013), sodass Prädatoren in erheblichem Maße zu einer Reduzierung des Eintrages in die Samenbank beitragen und somit ein wichtiges Element der vorbeugenden Unkrautregulierung darstellen können. Jedoch gibt es deutliche regionale Unterschiede als auch Unterschiede in den Leistungen der Vertebraten und Invertebraten. So wurden für Regionen in Norddeutschland deutlich geringere Samenverluste festgestellt (BARAIBAR *et al.*, 2012). Bislang sind die Kenntnisse noch nicht ausreichend, um eindeutige Faktoren zu benennen und somit nutzbringend einzusetzen, die zu einer Erhöhung der Samenfraßrate beitragen. Die Bewirtschaftungsform, d. h. ökologische versus konventionelle Bewirtschaftung hatte nach Untersuchungen von DAEDLOW *et al.* (2012) sowie JONASON *et al.* (2013) keinen deutlichen Einfluss. JONASON *et al.* (2013), die speziell Laufkäfer auf ökologisch und konventionellen Betriebsflächen untersuchten, stellten fest, dass die Bewirtschaftungsform einen geringeren Einfluss auf die Laufkäfervielfalt und ihr Vorkommen hat als die Landschaftsgestaltung. Sie konnten einige von der Landschaftsgestaltung abhängige Faktoren identifizieren. Höhere Samenfraßraten wurden in Landschaften mit einem hohen Anteil von einjährigen Kulturen verbunden mit einem hohen Artenreichtum von Laufkäfern, bei gleichzeitig geringerem Evenness-Wert festgestellt. Gleichzeitig wird jedoch auch diskutiert inwieweit ausgeräumte und verarmte Landschaften für die geringen Dichten an Prädatoren verantwortlich sind. Die bisherigen Ergebnisse belegen, dass Prädatoren einen erheblichen Beitrag zur Reduzierung des Samenpotentials beitragen können. Jedoch sind die Faktoren, die zur Erhöhung und zur Stabilisierung dieser Leistungen beitragen noch nicht ausreichend geklärt.

### **Verfahren zur direkten nichtchemischen Unkrautregulierung**

Nach der guten fachlichen Praxis ist die mechanische Unkrautbekämpfung mittels Striegel, Hacke und anderen Techniken eine wichtige nichtchemische Pflanzenschutzmaßnahme. Es wird davon ausgegangen, dass ca. 10 – 20 % der Maßnahmen zur Unkrautregulierung mittels mechanischer Verfahren erfolgen kann (BMELV, 2010).

Die Verfahren zur direkten nichtchemischen Unkrautregulierung können generell in ganzflächig arbeitende, zwischen den Reihen wirkende und in die Reihe hinein wirkende Verfahren untergliedert werden. Als ganzflächig arbeitende Geräte sind vor allem die Unkrauttriegel zu nennen, die in fast allen Kulturen im Voraufbau und, je nach Entwicklungsstadium der Pflanzen, im Nachaufbau einzusetzen sind. Der Wirkungsgrad ist dabei abhängig von Bodenart und -zustand, der Witterung, dem Unkrautdruck sowie dem Entwicklungsstadium der Unkräuter. Die höchsten Wirkungsgrade werden erzielt, wenn sich die Unkräuter im Fädchenstadium befinden. Dann werden sie am leichtesten aus dem Boden herausgezogen, und der Austrocknungs- sowie der Verschüttungseffekt sind am höchsten. Untersuchungen zeigen Wirkungsgrade zwischen 30 und 70 %. Eine neue Entwicklung in den letzten Jahren war der Striegel der Fa. Treffler, der durch eine

neue Zinkenaufhängung einen besseren Ausgleich von Bodenebenenheiten ermöglicht als auch in Dammkulturen wie Kartoffeln gut eingesetzt werden kann. Striegel können auch zur Bekämpfung der Rauhaarigen Wicke (*Vicia hirsuta*) eingesetzt werden, wobei der Striegel hierzu ab EC31 (Schossen) bis nach dem Ährenschieben (EC61) eingesetzt wird. Die Wirkung beruht dabei weniger auf der Reduzierung der Dichte sondern in der Störung des Wachstums, wodurch vor allem die Samenproduktion um bis zu 75 % reduziert wurde (LUKASHYK *et al.*, 2005).

Die angebotenen Geräte, deren Werkzeuge zwischen den Reihen arbeiten, sind inzwischen sehr vielfältig und reichen von Scharhacken, Bügelhacken, Flachhäuflern sowie Sternrollhacken bis hin zu Werkzeugen, die eine exakte Bearbeitung des Flankenbereiches von Dammkulturen wie Kartoffeln ermöglichen. Hinzu kommen Entwicklungen der automatisierten Steuerung mittels Kameras, die eine sehr exakte Arbeitsweise ermöglichen. Zusätzlich kann die Arbeitsgenauigkeit durch GPS-gesteuerte Aussaattechniken noch verbessert werden.

Geräte, deren Werkzeuge in die Reihe hineinarbeiten, sind bislang noch selten. Hier ist vor allem die Fingerhacke zu nennen. Die beiden an den drehbar gelagerten Scheiben angebrachten fingerartigen Zinken aus Kunststoff greifen dabei seitlich in die Pflanzenreihen hinein. Unkräuter können so in der Pflanzenreihe herausgezogen und verschüttet werden. Einsetzbar sind diese Geräte in Kulturen mit Reihenabständen ab 25 cm, sodass sie überwiegend im Gemüsebau aber auch im Mais- und Sojaanbau zum Einsatz kommen. Eine Kombination mit z. B. Scharhacken oder Striegel ist möglich. Untersuchungen von HILTBRUNNER *et al.* (2012) in Soja zeigten, dass die Kombination der Fingerhacke und Striegel mit einer um 60 % reduzierten Unkrautdeckung des direkt in der Sojareihe etablierten Modellunkrautes *Phacelia tanacetifolia* L. die beste Wirkung als auch einen signifikant höheren Ertrag gegenüber der Kontrollvariante aufwies. Dies verdeutlicht die gute Arbeitsweise der Geräteentwicklungen, die auch in die Kulturpflanzenreihe hinein arbeiten.

Noch relativ neu am Markt sind Geräte, die auf Basis von Digitalvideokameras sowie entsprechender Auswertungssoftware mit Positionsbestimmung der Pflanzen ein Hacken in der Reihe ermöglichen. Der Abstand zwischen den Pflanzen in der Reihe muss je nach System mindestens 5 oder 16 cm betragen, sodass die Geräte vor allem im Gemüseanbau eingesetzt werden. Die Entwicklungen verdeutlichen jedoch das enorme Potential, das sich durch die GPS-Technik und den Fortschritten in der Computertechnologie ergibt und bei Weitem noch nicht ausgeschöpft ist.

Auch eine Kombination mechanischer mit chemischen Verfahren trägt zu einer Reduzierung des Herbizideinsatzes bei. Dies umfasst sowohl die Kombination von einem ganzflächigen Einsatz des Striegels mit nachfolgendem Herbizideinsatz als auch die Kombination von Bandspritzung und mechanischer Unkrautregulierung zwischen den Reihen. Diese Verfahren sind in ihrer Effizienz vergleichbar zu ganzflächig ausgebrachten Herbiziden. In der Praxis sind diese Verfahren jedoch bislang wenig verbreitet und ihre Potentiale oft nicht ausgeschöpft, weil es an Kenntnissen und Anpassungen der Gerätetechnik und der Anbauverfahren fehlt (HOMMEL, 2012).

## Literatur

- ALTIERI, M.A., 1999: The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.* **74**, 19-31.
- BAGHESTANI, A., C. LEMIEUX, G.D. LEROUX, R. BAZIRAMAKENGA und R.R. SIMARD, 1999: Determination of allelochemicals in spring cereal cultivars of different competitiveness. *Weed Science* **47**, 498-504.
- BARAIBAR, B., D. DAEDLOW, F. DE MOL und B. GEROWITT, 2012: Density dependence of weed seed predation by invertebrates and vertebrates in winter wheat. *Weed Research* **52**, 79-87.
- BEDOUSSAC, L., 2009: Analyse du fonctionnement des performances des associations blé dur-pois d'hiver et blé dur-féverole d'hiver pour la conception d'itinéraires techniques adaptés à différents objectifs de production en systèmes bas-intrants. Dissertation, Universität Toulouse.
- BLACKSHAW, R.E., R.L. ANDERSSON und D. LEMERLE, 2007: Chapter 3: Cultural weed management, In: M. K. UPADHYAYA, R. E. BLACKSHAW, (eds) *Non-Chemical Weed Management: Principles, Concepts and Technology*, 35-48. CAB International, Wallingford, UK.
- BMELV, 2005: Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland 2005.
- BMELV, 2010 Gute fachliche Praxis im Pflanzenschutz - Grundsätze für die Durchführung. Hrsg.: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 68 pp.

- BMELV, 2012: Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland 2005
- BMELV, 2013: Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln.
- BÖHM, H., H.M. PAULSEN, J. FISCHER, J.H. MOOS und G. RAHMANN, 2014: Nutrients and weeds through 13 years of organic farming. Beitr. Danish Crop Production Conference 2014 (in press).
- BÖHM H., 2013: Anbau der Saatwicke (*Vicia sativa* L.) im Gemenge mit Hafer - eine Alternative in der Körnerleguminosenproduktion? Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. **25**, 80-81.
- BRANDSAETER, L.O., A.K. BAKKEN, K. MANGERUD, H. RILEY, R. ELTUN und H. FYKSE, 2011: Effects of tractor weight, wheel placement and depth of ploughing on the infestation of perennial weeds in organically farmed cereals. Eur. J. Agron. **34**, 239-246.
- BRUST, J., R. GERHARDS, T. KARANISA, L. RUFF und A. KIPP, 2011: Why Undersown and Cover Crops Become Important Again for weed Suppression in European Cropping Systems. Gesunde Pflanze **63(4)**, 191-198.
- BURGER, H., M. SCHLOEN, W. SCHMIDT und H.H. GEIGER, 2008: Quantitative genetic studies on breeding maize for adaptation to organic farming. Euphytica **163**, 501-510.
- CHAUHAN, B.S., R.G. SINGH und G. MAHAJAN, 2012: Ecology and management of weeds under conservation agriculture: A review. Crop Prot. **38**, 57-65.
- CORRE-HELLOU, G., A. DIBET, H. HAUGGAARD-NIELSEN, Y. CROZAT, M. GOODING, P. AMBUS, C. DAHLMANN, P. VON FRAGSTEIN, A. PRISTERI, M. MONTI und E. JENSEN, 2011: The competitive ability of pea-barley intercrops against weeds and the interactions with crop productivity and soil N availability. Field Crops Research **122**, 264-272.
- DAEDLOW, D., T. SOMMER und P.R. WESTERMAN, 2012: Weed seed predation in organic and conventional cereal fields. Julius-Kühn-Archiv **434**, 265-271.
- DE MOL, F., C. VON REDWITZ, M. SCHULTE und B. GEROWITT, 2012: Unkrautzusammensetzung in Mais in Abhängigkeit von pflanzenbaulichem Management - Ergebnisse eines deutschlandweiten Monitorings in den Jahren 2002-2004. Julius-Kühn-Archiv **434**, 655-662.
- DITTMANN, B., 2012: Abschließende Ergebnisse zur Wirkung von langjährig pflugloser Bodenbearbeitung auf die Verunkrautung in der ökologischen Fruchtfolge Güterfelde. Julius-Kühn-Archiv **434(2)**, 708-711.
- DREWS, S., D. NEUHOF und U. KÖPKE, 2009: Weed suppression ability of three winter wheat varieties at different row spacing under organic farming conditions. Weed Research **49**, 526-533.
- EISELE, J.-A., 1992: Sortenwahl bei Winterweizen im Organischen Landbau unter besonderer Berücksichtigung der morphologisch bedingten Konkurrenzfähigkeit gegenüber Unkräutern. Dissertation Universität Bonn.
- FREIER B., J. SELLMANN, J. STRASSEMEYER, J. SCHWARZ, B. KLOCKE, E. MOLL, V. GUTSCHE und W. ZORNACH, 2012: Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz Jahresbericht 2011 - Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2011, Heft **166**. Julius Kühn-Institut, Kleinmachnow.
- GRONLE, A. und H. BÖHM, 2014: Untersuchungen zur Unkrautkonkurrenz in Rein- und Mischfruchtbeständen von Wintererbsen unterschiedlichen Wuchsstyps. Julius-Kühn-Archiv **443**.
- GRONLE, A., H. BÖHM und J. HEB, 2013: Effect of intercropping winter peas of differing leaf type on the weed infestation in deep and shallow ploughed soils and on pea pests. Landbauforschung **63(4)**, in press.
- GRONLE, A. und H. BÖHM, 2012: Kann ein Mischfruchtanbau von Erbsen und Getreide bei flachwendender Bearbeitung das im Vergleich zur tiefwendenden Bearbeitung vorhandene höhere Unkrautaufkommen im Ökologischen Landbau kompensieren? Julius-Kühn-Archiv **434**, 243-249.
- GRUBER, S. und W. CLAUPEIN, 2009: Effect of tillage intensity on weed infestation in organic farming. Soil Till. Res. **105**, 104-111.
- GUMMERT, A., E. LADEWIG und B. MÄRLÄNDER, 2012: Leitlinien für den integrierten Pflanzenschutz im Zuckerrübenanbau: Aspekte der Unkrautregulierung. Julius-Kühn-Archiv **434(1)**, 345-352.
- HANZLIK, K., B. GEROWITT und A. SCHÖNHAMMER, 2012: Einfluss von Standort und Bewirtschaftung auf das Auftreten von *Geranium* spp. im Winterapps. Julius-Kühn-Archiv **434(2)**, 663-669.
- HAUGGAARD-NIELSEN, H., P. AMBUS und E.S. JENSEN, 2001: Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea-barley intercropping. Field Crops Research **70**, 101-109.
- HAUGGAARD-NIELSEN, H., B. JORNSGAARD, J. KINANE und E.S. JENSEN, 2008: Grain legume-cereal intercropping: The practical application of diversity, competition and facilitation in arable and organic cropping systems. Renewable Agriculture and Food Systems **23**, 3-12.
- HEGGENSTALLER, A.H., F.D. MENALLED, M. LIEBMAN und P.R. WESTERMAN, 2006: Seasonal patterns in post-dispersal seed predation of *Abutilon theophrasti* and *Setaria faberi* in three cropping systems. J. Appl. Ecol. **43**, 999-1010.
- HILTBRUNNER, J., C. LUGINBÜHL, U. BUCHMANN, C. HERZOG, H. HUNZIKER und C. SCHERRER, 2012: Mechanical control of weeds within the crop row of organically grown soybeans. Julius-Kühn-Archiv **434**, 251-256.
- HOMMEL, B., 2012: Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln: Bericht 2008 bis 2011, In: J. Kühn-Institut, (ed.) Berichte aus dem Julius Kühn-Institut, Vol. 165.
- JONASON, D., H.G. SMITH, J. BENGTSSON und K. BIRKHOFER, 2013: Landscape simplification promotes weed seed predation by carabid beetles (Coleoptera: Carabidae). Landscape Ecol. **28**, 487-494.
- KIMPEL-FREUND, H., K. SCHMIDTKE und R. RAUBER, 1998: Einfluss von Erbsen (*Pisum sativum* L.) mit unterschiedlichen morphologischen Merkmalen in Reinsaat und Gemenge mit Hafer (*Avena sativa* L.) auf die Konkurrenz gegenüber Unkräutern. Pflanzenbauwissenschaften **2**, 25-36.
- KLINGENHAGEN, G., M. WIRTH, B. WIEMANN und H. AHAUS, 2012: Occurrence of horse nettle (*Solanum carolinense* L.) in North Rhine-Westphalia. Julius-Kühn-Archiv **434(2)**, 601-604.

- LANDSCHREIBER, M., C. SCHLEICH-SAIDFAR und U. HENNE, 2012: Entwicklung nachhaltiger Methoden zur Ackerwuchsschwanzbekämpfung. *Julius-Kühn-Archiv* **438**, 322.
- LEMERLE, D., B. VERBEEK, R.D. COUSENS und N.E. COOMBES, 1996: The potential for selecting wheat varieties strongly competitive against weeds. *Weed Research* **36**, 505-513.
- LIEBMAN, M. und E. DYCK, 1993: Crop-Rotation and Intercropping Strategies for Weed Management. *Ecol. Appl.* **3**, 92-122.
- LUKASHYK, P., M. BERG und U. KÖPKE, 2005: Einsatz des Striegels zur Regulierung von *Vicia hirsuta* in Winterweizen. In: HEB, J., G. RAHMANN (HRSG.): Beitr. 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Kassel, 281-284.
- LUKASHYK, P., M. BERG und U. KÖPKE, 2008: Strategies to control Canada thistle (*Cirsium arvense*) under organic farming conditions. *Renew Agr. Food Syst.* **23**, 13-18.
- LUX, G., F. PÖTZSCH und K. SCHMIDTKE, 2013: Regulierung annueller Samenunkräuter durch den Einsatz von Grünguthäcksel unter Bedingungen des ökologischen Landbaus. In: NEUHOFF, D., et al. (EDS) Beitr. 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Bonn, pp 312-315.
- MELANDER, B., N. MUNIER-JOLAIN, R. CHARLES, J. WIRTH, J. SCHWARZ, R. VAN DER WEIDE, L. BONIN, P.K. JENSEN und P. KUDSK, 2013: European Perspectives on the Adoption of Nonchemical Weed Management in Reduced-Tillage Systems for Arable Crops. *Weed Technol.* **27**, 231-240.
- MESSMER, M.M., H. BURGER, W. SCHMIDT und H.H. GEIGER, 2010: Importance of appropriate selection environments for breeding maize adapted to organic farming systems. 60. Tagung der Vereinigung der Pflanzzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs 2009, 1 – 3.
- MURRAY, G.A. und J.B. SWENSEN, 1985: Seed Yield of Austrian Winter Field Peas Intercropped with Winter Cereals. *Agronomy Journal* **77**, 913-916.
- NEUMANN, A., K. SCHMIDTKE und R. RAUBER, 2007: Effects of crop density and tillage system on grain yield and N uptake from soil and atmosphere of sole and intercropped pea and oat. *Field Crops Research* **100**, 285-293.
- OLESEN, J.E., E.M. HANSEN, M. ASKEGAARD und I.A. RASMUSSEN, 2007: The value of catch crops and organic manures for spring barley in organic arable farming. *Field Crops Research* **100**, 168-178.
- PATRIQUIN, D.G., D. BAINES, J. LEWIS und A. MACDOUGALL, 1988: Aphid infestation of faba beans on an organic farm in relation to weeds, intercrops and added nitrogen. *Agr. Ecosyst. Environ.* **20**, 279-288.
- PRICE A.J., D.W. REEVES und M.G. PATTERSON, 2006: Evaluation of weed control provided by three winter cereals in conservation-tillage soybean. *Renew. Agr. Food Syst.* **21**(3), 159-164.
- PFAFF, A., D. GLOGER, B. WEDEMEYER-KREMER, H. BECKER und B. HORNEBURG, 2012: Soja Beikrauttoleranz – Saat im Gemenge mit „künstlichen Beikräutern“. Vortrag Sojatag 2012 in Frankfurt/Main. [www.sojainfo.de/fileadmin/soja/documents/-Sojatag\\_2012/soja\\_sojatag2012\\_homeburg\\_kaeltetoleranz.pdf](http://www.sojainfo.de/fileadmin/soja/documents/-Sojatag_2012/soja_sojatag2012_homeburg_kaeltetoleranz.pdf) [Letzter Abruf: 20.12.2013].
- SCHMIDT, H. und G. LEITHOLD, 2005: Ökologischer Ackerbauversuch Gladbacherhof - Effekte von Fruchtfolge und Bodenbearbeitung in der ersten Rotation, In: J. HEB, G. RAHMANN, (eds.) Beitr. 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, 255-258. kassel university press GmbH, Kassel.
- SCHMIDTKE, K., B. WUNDERLICH und A. MEYERCORDT, 2013: Lassen sich Winterweizensorten hinsichtlich ihres Beschattungsvermögens statistisch gesichert in Landessortenversuchen voneinander unterscheiden? Beitr. 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Bonn, 184-187.
- SCHULZ, F., 2012: Vergleich ökologischer Betriebssysteme mit und ohne Viehhaltung bei unterschiedlicher Intensität der Bodenbearbeitung, Dissertation, Justus-Liebig-Universität, Gießen.
- SCHWARZ, J. und E. MOLL, 2010: Entwicklung der Verunkrautung in Abhängigkeit von Fruchtfolge und Herbizidintensität. *Journal für Kulturpflanzen* **62**, 317-325.
- SCHWARZ, J., B. PALLUTT und E. MOLL, 2012: Einfluss von Fruchtfolge und Herbizidaufwandmenge auf die Verunkrautung. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 337-344.
- SEIDENGLANZ, M., I. HUNADY, J. POSLUSNA und A.K. LOES, 2011: Influence of intercropping with spring cereals on the occurrence of pea aphids (*Acyrtosiphon pisum* Harris, 1776) and their natural enemies in field pea (*Pisum sativum* L.). *Plant Protection Science* **47**, 25-36.
- STATISTISCHES BUNDESAMT, 2013: Bei der Bodenbearbeitung dominiert der Pflug. [www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/Produktionsmethoden/AktuellBodenbearbeitung.html](http://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/Produktionsmethoden/AktuellBodenbearbeitung.html) [letzter Abruf am 20.12.2013]
- STEINMANN, H.-H. und E.S. DOBERS, 2013: Spatio-temporal analysis of crop rotations and crop sequence patterns in Northern Germany: potential implications for plant health and crop protection. *J. Plant Diseases and Protection* **120**, 85-94.
- URBATZKA, P., R. GRAß, T. HAASE, C. SCHÜLER, D. TRAUTZ und J. HEB, 2011: Grain yield and quality characteristics of different genotypes of winter pea in comparison to spring pea for organic farming in pure and mixed stands. *Org. Agr.* **1**, 187-202.
- VERSCHWELE, A., 2014: Potenziale von Sorteneigenschaften zur Integrierten Unkrautbekämpfung in Weizen. *Julius-Kühn-Archiv*, **443**.