

ALLELOPATHIE



Direktsaat von Mais mit einer Einzelkornsämaschine in einen abgefrorenen Zwischenfruchtbestand.

Zwischenfrüchte, Bodenbearbeitung und Allelopathie

Allelopathie als natürliches Herbizid?

Judith Wirth, Lucie Büchi und Raphaël Charles, Agroscope Changins-Wädenswil (ACW), Schweiz

Viele Zwischenfrüchte können Unkräuter und Ausfallgetreide durch die Abgabe allelopathisch wirkender Substanzen unterdrücken.

Zu den Rahmenbedingungen und wichtigen Zielen der integrierten Produktion gehören die Erhaltung der natürlichen Bodenfruchtbarkeit und der Produktivität des Standorts durch ackerbauliche Maßnahmen, die an die lokalen Bedingungen angepasst sind, sowie die Schaffung optimaler Wachstumsbedingungen für die Pflanzen durch eine sinnvolle Fruchtfolge und Bodenbearbeitungsmaßnahmen, die eine gute Bodenstruktur schaffen. Drei wichtige Prinzipien der konservierenden Landwirtschaft sind: die Reduzierung bzw. der völlige Verzicht auf Bodenbearbeitung, eine permanente Bodenbedeckung mit Haupt- oder Zwischenfrüchten sowie eine abwechslungsreiche Fruchtfolge.

Die Verwendung von Zwischenfrüchten in Systemen der reduzierten Bodenbearbeitung stellt eine Herausforderung für die Agrarforschung dar. Dieses Thema wird von Agroscope Changins-Wädenswil (ACW) in der Schweiz bearbeitet. Dieser Artikel beschreibt verschiedene Zwischenfrüchte, die Art und Weise, wie sie in Kultursysteme integriert werden können und vor allem ihre Bedeutung zur Unkrautregulierung.

DAL•BO Walzen
09732/2747
www.dal-bo.com

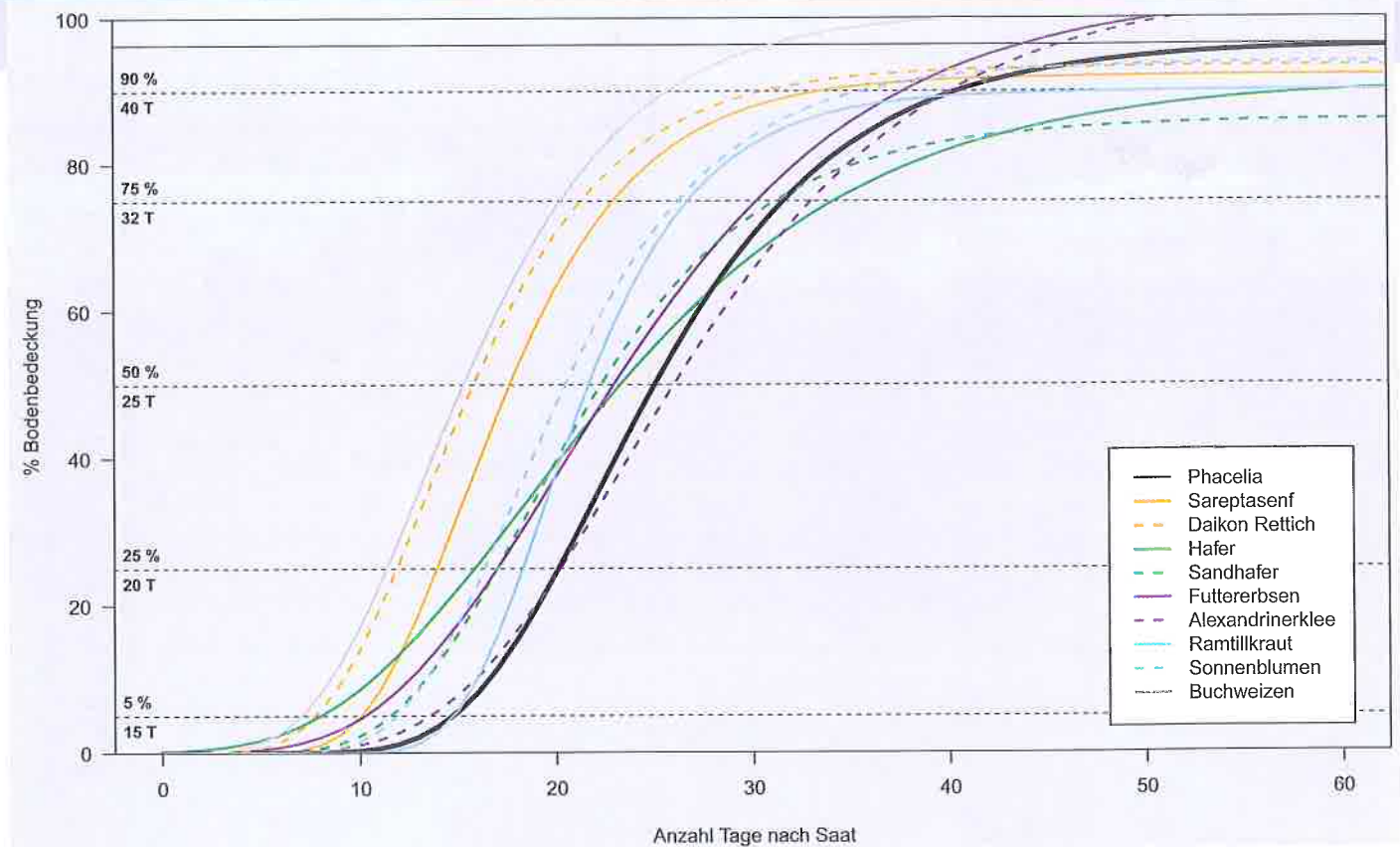


Abb. 1: Zeitliche Entwicklung der Bodenbedeckung bei unterschiedlichen Zwischenfrüchten (Mittelwert aus mehreren Versuchen, ACW).

Bodendecker und Zwischenfrüchte

Zwischenfrüchte werden zwischen zwei Hauptfrüchten angebaut, um bestimmte agronomische und ökologische Funktionen zu erfüllen:

- Reduktion der Nitratauswaschung,
- Stickstofffixierung durch Leguminosen,
- Kohlenstofffixierung und Erhalt der organischen Substanz,
- Nährstoffbindung über Herbst und Winter sowie Nährstoffkonservierung für die Folgefrucht,
- Verringerung von Bodenerosion, Oberflächenabfluss und Verschlammung,
- Verbesserung von Wasserinfiltration und Wasserhaltevermögen,
- Auflockerung von Bodenverdichtungen,
- Aktivierung des Bodenlebens,
- Kontrolle von Schädlingen und Krankheiten sowie Unkrautunterdrückung,
- Lebensraum für die Fauna (insbesondere bestäubende Insekten),
- Diversifizierung der Fruchtfolge und der Landschaftsstruktur,
- Sicherung der landwirtschaftlichen Produktionssysteme.

Um Bodendecker in die Fruchtfolge

einzugliedern, gibt es unterschiedliche Möglichkeiten:

- Bodenbedeckungen durch **Zwischenkulturen**. Hierbei ist zwischen **Untersaaten** in einen bereits bestehenden Hauptfruchtbestand und **Zwischenfrüchten** zu unterscheiden, die in den meisten Fällen nach der Hauptfrucht angesät und anschließend vor oder während der Aussaat der Folgekultur zerstört werden, z.B. Senf vor Zuckerrüben. Zwischenfrüchte können als abfrierende Sommerzwischenfrüchte oder überwinterte Winterzwischenfrüchte angebaut werden.
- In **Mischkulturen** ist eine Bodenbedeckung vorhanden, die eine biologische Unkrautbekämpfung ermöglicht. Der Bodendecker kann vor oder gleichzeitig mit der Hauptfrucht gesät werden. Sie wird aber in der Folge frühzeitig entweder durch Frost oder eine Herbizidanwendung zerstört, damit die Konkurrenz zur Hauptfrucht gering bleibt, z.B. Sommerwicke in Raps.
- **Lebendmulch** wird vor oder während der Hauptfrucht ausgesät und bleibt während der Vegetationsperiode der Hauptfrucht am Leben, z.B. Boden-

früchtiger Klee (*Trifolium subterraneum*) in Mais.

- **Totmulch** besteht aus einer Anreicherung von Pflanzenresten auf der Bodenoberfläche, z.B. Getreidestroh als Strohmulch in Mais.

Mehr als 50 Arten getestet

Von mehr als 50 Pflanzenarten, die unter Schweizer Bedingungen getestet wurden, haben etwa 30 ein Anbaupotenzial. Sie gehören zu verschiedenen botanischen Familien wie Kreuzblütler (*Brassicaceae*), Süßgräser (*Gramineae*), Schmetterlingsblütler (*Faboideae*), aber auch Korbblütler (*Asteraceae*), Wasserblattgewächse (*Hydrophyllloideae*), Leingewächse (*Linaceae*) und Knöterichgewächse (*Polygonaceae*). Zwischenfrüchte unterscheiden sich nicht nur anhand der Arten, sondern auch innerhalb derselben durch verschiedene Sorten mit unterschiedlichen Eigenschaften. Diese Variabilität kann genutzt werden, um spezifische Erwartungen bzw. Zwecke zu erfüllen.

Kreuzblütler:

Schnelle Bodenbedeckung

Kreuzblütler wie **Senf, Rüben, Raps und Rettich** werden oft als bodendeckende

Zwischenfrüchte verwendet, wobei Senf (*Sinapis alba*) die am meisten angebaute Zwischenkultur ist. Die kostengünstigen Kreuzblütler sind aufgrund ihrer kleinen Samen leicht auszusäen. Da sie schnell auflaufen, bedecken sie den Boden rasch und entwickeln, vor allem auf fruchtbaren Böden mit einer ausreichenden Verfügbarkeit an Stickstoff und Wasser, schnell einen dichten Pflanzenbestand.

Kreuzblütler enthalten Glucosinolate, die bei der Zerstörung des Pflanzengewebes in Isothiocyanate umgewandelt werden. Isothiocyanate haben allelopathische Wirkungen, die zur Regulierung von Fraßfeinden, Krankheiten und Unkräutern eingesetzt werden können. Für dieses als Biofumigation bezeichnete Verfahren stehen spezielle Ölettich- und Braunsensorten mit besonders hohem Glucosinolatgehalt zur Verfügung (siehe auch LOP Juni 2011).

Ebenfalls von Interesse ist das tiefreichende Wurzelsystem der Brassicaceen. Diese Eigenschaft wird in der Züchtung und beim Anbau neuer Daikon-Rettichsorten (*Raphanus sativus* var. *Longipinnatus* „tillage Radish“) genutzt, deren besonders große und lange Pfahlwurzeln den Boden auflockern.

Wenn in der Fruchtfolge Raps enthalten ist, können Brassicaceen aus phytosanitären Gründen nur eingeschränkt als Zwischenfrüchte eingesetzt werden. Der allelopathische Effekt bestimmter Kreuzblütler muss daher kontrolliert genutzt werden, indem die Kultur einige Tage vor der Aussaat der Folgefrucht zerstört wird. Eine durchdachte und gezielte Anwendung von Kreuzblütlern als bodendeckende Zwischenfrüchte ist eines der Forschungsgebiete von ACW. Ziel ist es, in Fruchtfolgen mit einem hohen Anteil an Brassicaceen Alternativen zu finden und wenn möglich deren allelopathische Effekte einzusetzen, um die Verwendung von Pflanzenschutzmitteln zu verringern.

– Süßgräser als Zwischenfrucht

Italienisches Raygras oder **Welsches Weidelgras** (*Lolium multiflorum*) ist ein Futtergras mit hoher Stickstoffbindung, das



Versuchsfeld mit unterschiedlichen Zwischenfrucht-Varianten.

oft als Zwischenfrucht verwendet wird. Unter den zahlreichen Halmgetreidearten gibt es ebenfalls verschiedene Möglichkeiten. Insbesondere **Hafer** (*Avena sativa*) wird gerne verwendet, weil er sich botanisch deutlich von den anderen Getreidearten (Roggen, Weizen, Gerste) unterscheidet und damit Fruchtfolgen auflockern kann. **Rauhafer** (*Avena strigosa*) kommt vor allem bei reduzierter Bodenbearbeitung und in der Direktsaat zum Einsatz. Diese Art ist europäischen Ursprungs und wurde weltweit in verschiedenen Gegenden als schnellwüchsige Futterpflanze eingeführt. Durch seine gute Unkrautunterdrückung und die hohe Biomassebildung wird er heute häufig in den Direktsaatsystemen Südamerikas als Zwischenfrucht angebaut. Auch in der Schweiz und in Deutschland wird diese Art seit einigen Jahren angeboten. Weiterhin gibt es exotische Getreidearten wie Sorghum, die sich vor allem für sommertrockene Standorte eignen.

Aufgrund ihrer Fähigkeit Luftstickstoff zu binden werden **Leguminosen** in Reinkultur in Gegenden, in denen Nitrat ein Umweltproblem darstellt, generell nicht angebaut. Hingegen ist der Einsatz dieser Arten interessant, um kurzfristig die Stickstoffdüngung zu reduzieren und um die Bodenfruchtbarkeit zu verbessern, vor allem in Anbausystemen der reduzierten Bodenbearbeitung (Stickstoffunterversorgung bei Direktsaat) und in viehlosen Betrieben. Leguminosen werden meist in Mischungen angebaut. Über lange Zeit

hinweg wurde vor allem die **Futterwicke** (*Vicia sativa*) häufig verwendet. Jetzt sind allerdings auch andere Arten auf dem Markt, wie **Futtererbsen** (*Pisum sativum arvense*), **Linsen** (*Lens culinaris*), **Platterbsen** (*Lathyrus sativus*), **Ackerbohnen** (*Vicia faba*), **Bockshornklee** (*Trigonella foenum-graecum*), **Zottige Wicke** (*Vicia villosa*) sowie verschiedene **Klearten**. Die Vielfalt dieser artenreichen Pflanzenfamilie ermöglicht es, unterschiedlichen Anforderungen gerecht zu werden.

– Korbblütler und Knöterichgewächse

Es gibt noch einige andere Pflanzenfamilien, aus denen einige Zwischenfrüchte kultiviert werden. Korbblütler wie z.B. **Ramtilkraut** (*Niger*, *Guizotia abyssinica*) oder **Sonnenblume** werden insbesondere im Zusammenhang mit der Weiterentwicklung der reduzierten Bodenbearbeitung sowie der Suche nach Bodendeckern mit neuen Eigenschaften (Frühreife, Durchwurzelung, Frosttoleranz) verwendet. Sonnenblumen werden in der Regel in Mischungen angebaut, da sie durch ihre hohe Wuchsform anderen Pflanzen Halt geben.

Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*) ist die einzige Art aus der Familie der Knöterichgewächse, die als Zwischenfrucht verwendet wird. Sein schnelles Auflaufen,

www. **Technik-Plus**.eu
Ertragsvisionen
 im Grünland/Ackerbau erreichen
 Tel.: +43(0)3472-21120, Fax: 21123



Junger Maisbestand: Unterschiedliche Verunkrautung, abhängig von der zuvor angebauten Zwischenfrucht.

sein hoher Bedeckungsgrad und sein kurzer Lebenszyklus machen ihn zu einer interessanten kurzlebigen Zwischenfrucht vor einem Herbstgetreide.

Weitere Arten

Phacelia gehört zur Familie der Wasserblattgewächse (*Hydrophyllodeae*), aus der keine andere Art kultiviert wird. Phacelia ist als Zwischenfrucht sehr interessant, da es sich um eine fruchtfolge-neutrale Art mit schnellem Wachstum handelt. Allerdings wird für die Dunkelkeimung ein feines Saatbett benötigt, was den Einsatz von Phacelia in Systemen der reduzierten Bodenbearbeitung limitiert. Diese Einschränkung ist eine der Motivationen für das ACW, alternative Arten sowie Artenmischungen zu suchen und sie für die Anforderungen der konservierenden Landwirtschaft zu optimieren.

Lein (*Linum usitatissimum*), die einzige Art aus der Familie der Leingewächse (*Linaceae*), kann insbesondere in Gemengen gut verwendet werden.

Bodenbearbeitung

Aufgrund mehrerer Langzeitversuche auf verschiedenen Standorten in der Schweiz

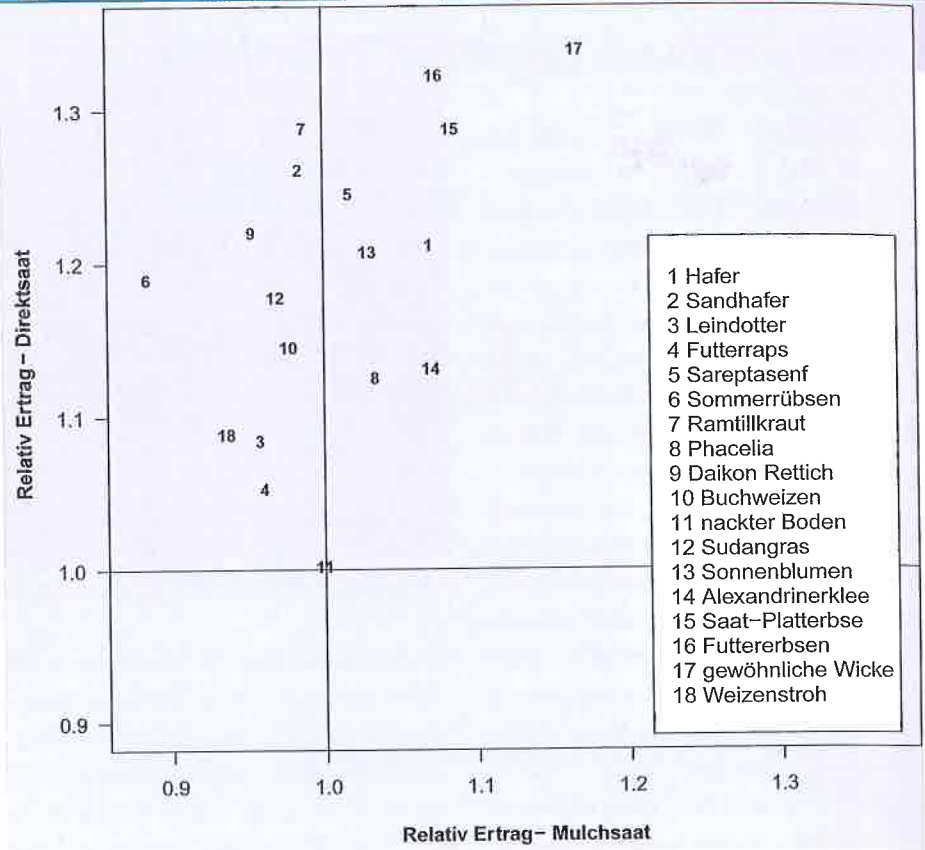


Abb. 2: Einfluss der Zwischenfrucht auf den Ertrag der nachfolgenden Hauptfrucht Körnermais, in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung (Mittelwert aus mehreren Versuchen, ACW).

konnten die verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme mit ihren Vor- und Nachteilen charakterisiert werden (Anken, Heusser et al. 1997; Vulliod, Delabays et al. 2006; Sturny, Chervet et al. 2007). Diese Ergebnisse entsprechen den Resultaten internationaler Studien (z.B. Soane, Ball et al. 2012).

Die Schweizer Versuche haben gezeigt, dass mit unterschiedlichen Bodenbearbeitungsverfahren wie Pflugbearbeitung, Mulchsaat und teilweise auch Direktsaat vergleichbare Erträge erzielt werden konnten. Unterschiede hingegen traten bei den physikalisch-chemischen Bodeneigenschaften sowie den Auswirkungen auf Unkräuter, Pilzkrankheiten und Schädlinge auf. Solche Ergebnisse aus Langzeitversuchen ermöglichen es, viele Informationen über die reduzierte Bodenbearbeitung zu erlangen. So führt diese Arbeitsweise unter anderem zu Einsparungen bei der Arbeitszeit, geringeren Maschinenkosten und einer Verringerung von Bodenerosion und Oberflächenabfluss (inklusive Austrag von Phosphor und Pflanzenschutzmitteln). Neueste Versuchsergebnisse von ACW aus 2 Jahren zei-

gen, dass der Einsatz von verschiedensten Zwischenfrüchten im Direktsaatsystem in allen Fällen zu einem höheren Ertrag führte. Bei Mulchsaat hingegen gab es je nach Art der Zwischenfrucht mit ihren spezifischen Eigenschaften (Allelopathie, N-Immobilisierung, etc.) sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf den Ertrag (Abb. 2).

Die Auswirkungen auf die Nitratauswaschung sind allerdings variabel, da sie durch die Fruchtfolge und das Zwischenfrucht-Management zwischen zwei Hauptkulturen beeinflusst wird. Vorteilhaft hingegen ist die Anreicherung von organischer Substanz auf der Bodenoberfläche, vor allem für die Gefügestabilität und das Bodenleben. Darüber hinaus werden durch eine konservierende Bodenbearbeitung die Bodentragfähigkeit sowie der Anteil an Makroporen begünstigt.

Sofern im Frühjahr auf eine Einarbeitung der Zwischenfrüchte (Direktsaat, Mulchsaat ohne Saatbettbereitung) verzichtet wird, können Frühjahrskulturen allerdings durch die höhere Bodenfeuchte und eine geringere Bodentemperatur gebremst werden. Demgegenüber sind die

Auswirkungen von Wasserstress auf die Kulturen im Sommer durch die ständige Bodenbedeckung geringer.

Aufgrund zahlreicher Wechselwirkungen müssen die Auswirkungen auf die Kohlenstoffbindung und die CO₂- und N₂O-Bodenemissionen, vor allem in Bezug auf die Fruchtfolge, noch genauer erforscht werden. Die Anzahl der Betriebe, die in der Schweiz auf den Pflug verzichten, ist momentan noch relativ gering. Ein Grund hierfür ist, dass bei der reduzierten Bodenbearbeitung, in Bezug auf Arbeitstechnik und Arbeitseinstellung, auch andere Faktoren im Kultursystem angepasst werden müssen, wie z.B. Maschinen, Fruchtfolge usw.

Mehr Unkrautsamen bei Minimalbodenbearbeitung

Eine der größten Schwierigkeiten, der die Landwirte gegenüber stehen, ist die Unkrautproblematik, was in den Langzeitversuchen bestätigt wurde. Die reduzierte Bodenbearbeitung führt zu einer Anreicherung des Unkrautsamenvorrats im Boden. Nach einem 35-jährigen Langzeitversuch in Changins betrug der Samenvorrat in einem Tonboden nach Pflugeinsatz (ca. 25 cm tief) 6.000 Samen/m² und nach Minimalbodenbearbeitung (Rotopegge 7–10 cm tief) 11.000 Samen/m². Auf einem Schluffboden betrug der Samenvorrat nach Pflugeinsatz 12.000 Samen/m² und nach Minimalbodenbearbeitung 22.000 Samen/m². In beiden Böden führten die mittelintensiven Arbeitsverfahren (Tiefgrubber 25 cm bzw. Schälgrubber 10–15 cm Bearbeitungstiefe) zu Samenvorräten, die jeweils zwischen den beiden Werten lagen.

Die Zunahme des Samenvorrats führte zu einem größeren Unkrautdruck und einem erhöhten Herbizideinsatz (Vulloud, Delabays et al. 2006). Der Einfluss der Einführung der konservierenden Bodenbearbeitung und der Verwendung von Zwischenfrüchten auf die Verwendung von Glyphosat in der Praxis ist kaum dokumentiert. In einem Schweizer Netzwerk landwirtschaftlicher Betriebe stieg

der Gyphosateinsatz im Feldbau zwischen 1992 und 2004 von 0,05 Anwendungen pro Parzelle und Jahr auf 0,15, was vermutlich im Zusammenhang mit der Vereinfachung der Bodenbearbeitungsmethoden und der systematischen Einführung von Zwischenfrüchten steht (Dugon, Favre et al. 2010).

Dieses erhöhte Unkrautrisiko und der vermehrte Einsatz von Herbiziden kann das Interesse an der Minimalbodenbearbeitung verringern, insbesondere im biologischen Landbau. Seit einigen Jahren werden deshalb von den Landwirten tatkräftig neue Lösungen gesucht. So werden interessante Innovationen weiterentwickelt, vor allem Strategien der Unkrautbekämpfung durch Bodenbedeckung und Zwischenfrüchte. In den vorher erwähnten Langzeitversuchen wurden die Effekte der verschiedenen Zwischenfrüchte im allgemeinen noch nicht untersucht.

Seit kurzem laufen bei ACW Versuche, in denen die besten Zwischenfrüchte für die Systeme der reduzierten Bodenbearbeitung und der Direktsaat identifiziert werden sollen. Außerdem wollen wir versuchen, die komplizierten Zusammenhänge zu verstehen.

Unkrautunterdrückung durch Konkurrenz und Allelopathie

Die Auswirkungen der Bodenbedeckungen und ihrer Rückstände auf die Unkräuter basieren auf verschiedenen Konkurrenzmechanismen. Die Zwischenfrüchte konkurrieren zunächst mit den Unkräutern um Ressourcen und wirken damit unkrautunterdrückend. Bei der Allelopathie handelt es sich dagegen um ein anderes Phänomen, das auf der Abgabe phytotoxischer Verbindungen durch die Pflanze beruht. Allelopathisch wirksame Substanzen können in Wurzelexsudaten enthalten sein oder auch beim Abbau von Pflanzenrückständen freigesetzt werden. Pflanzenrückstände können Unkräuter aber auch durch rein physikalische Effekte unterdrücken, wie z.B. durch Lichtinterzeption (= Absorption der Strahlung).



AKRA Düngesystem – die Alternative

für einen ökonomisch und ökologisch nachhaltigen Ackerbau

AKRA Kombi

für Bodengesundheit und Nährstoffverfügbarkeit

- ⇒ Phosphormobilisierung
- ⇒ pH-Wert - Optimierung
- ⇒ Spurenelemente
- ⇒ Kostensenkung



AKRA Blatt

& AKRA Plus 9

für optimale Entwicklung und gesunde Bestände

- ⇒ Fungizideinsparung
- ⇒ N-aufnahme / N-verwertung
- ⇒ Winterhärte



AKRA Magnesia - der starke Dolomit

- ⇒ ersetzt die übliche Kalkung
- ⇒ hohe Reaktivität
- ⇒ steigert die Stickstoffausnutzung
- ⇒ Aufwandmenge 800-1200 kg/ha alle 3-4 Jahre



Besuchen Sie uns:
MELA vom 13.-16.9. Halle 2 Stand 212

Kärner

Düngerproduktion GmbH

www.duenger-akra.de
info@duenger-akra.de
Tel 0711-94593195
Fax 0711-94593196

AKRA

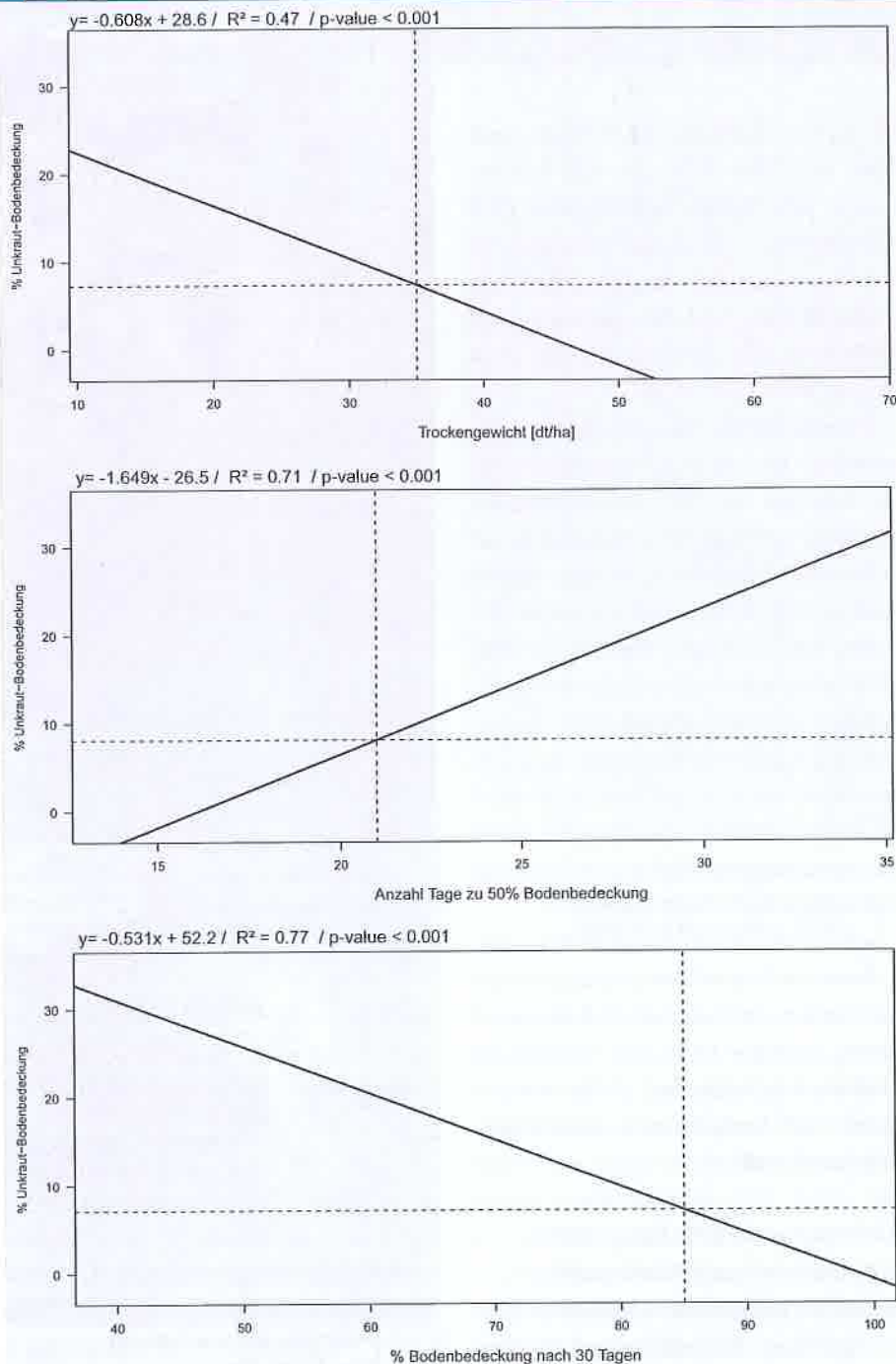


Abb. 3: Einfluss von Trockenmasseertrag und Bodenbedeckung durch die Zwischenfrucht auf die Unterdrückung von Unkräutern (Mittelwert aus mehreren Versuchen, ACW).

Bereits ab der Aussaat tritt die Zwischenfrucht mit den keimenden Unkrautsamen und den bereits aufgelaufenen Unkräutern in Konkurrenz um die Ressourcen. Später beeinflussen die Zwischenfruchtbestände die bodenphysikalischen und bodenchemischen Eigenschaften, was für alle neu auflaufenden Pflanzen entweder vor- oder nachteilhaft sein kann. Die Wachstumsbedingungen werden durch die Anwesenheit der Bodendecker verändert, da sie folgende Parameter beeinflussen: Lichtqualität und -quantität, Tempera-

turminima und -maxima, Temperaturamplitude, Bodenfeuchtigkeit, mechanischen Bodenwiderstand und das Vorhandensein von allelopathischen Substanzen. Ziel ist es, die Zwischenfrüchte auszuwählen, deren Wachstum am kräftigsten ist und die, je nach pedoklimatischen Bedingungen, gegenüber Unkräutern am konkurrenzfähigsten sind (Abb. 1).

Mittels der Versuche sollen die Kenntnisse über die verschiedenen Pflanzenarten, die als Bodendecker verwendet werden können, verbessert werden. Ziel

ist es, die Zwischenfrüchte auszuwählen, deren Wachstum am kräftigsten ist und die, je nach pedoklimatischen Bedingungen, gegenüber Unkräutern am konkurrenzstärksten sind. Die Untersuchung der allelopathischen Effekte ist ein wichtiger Teil der Studie, um die unterschiedlichen Konkurrenzmechanismen zwischen den einzelnen Arten unterscheiden zu können. Feldversuche von ACW haben gezeigt, dass eine erfolgreiche Unkrautunterdrückung durch Zwischenfrüchte unter folgenden Umständen erreicht werden kann: der Trockenmasseertrag muss mindestens 35 dt/ha betragen und die Zwischenfrüchte müssen nach 21 Tage einen Bodenbedeckungsgrad von 50 % bzw. nach 30 Tagen einen Bodenbedeckungsgrad von 85 % erreicht haben (Abb 3).

Fazit

Die Identifizierung der Substanzen, die für die allelopathische Wirkung verantwortlich sind, stellt eine Voraussetzung für das Verständnis des Phänomens und seiner optimalen Anwendung dar. Der Einsatz allelopathischer Arten als natürliches Herbizid ist ein Forschungsziel. Allerdings ist es sehr schwierig, allelopathische Effekte nachzuweisen und von der Konkurrenz um Wasser, Licht und Nährstoffe eindeutig zu unterscheiden. Eine entsprechende Methodik wird derzeit bei Agroscope entwickelt.

Literatur

- Anken, T., J. Heusser, et al. (1997). *Systèmes de travail du sol. Rapport FAT. 501.*
- Dugon, J., G. Favre, et al. (2010). „Phytosanitary practices in a arable farms network from 1992 to 2004.“ *Agrarforschung Schweiz* 1(11-12): 416-423.
- Soane, B. D., B. C. Ball, et al. (2012). „No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment.“ *Soil & Tillage Research* 118: 66-87.
- Sturny, W. G., A. Chervet, et al. (2007). „Comparison of no-tillage and conventional plough tillage: a synthesis.“ *Revue Suisse D Agriculture* 39(5): 249-254.
- Vulllioud, P., N. Delabays, et al. (2006). „Résultats de 35 ans de culture sans labour à Changins III. Mauvaises herbes, maladies fongiques et ravageurs.“ *Revue Suisse D Agriculture* 38(2): 81-87.