

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für Unkrautforschung, Braunschweig

# Einfluß definierter Verunkrautungen auf die Ertragsbildung von Mais und Getreide sowie auf mikrobielle Aktivitäten im Boden

Influence of certain weed infestations on the yield of maize and cereals and the soil microbial activity

Von Peter Niemann und Hans-Peter Malkomes

## Zusammenfassung

In mehrjährigen Freilandversuchen wurden die Kulturpflanze-Unkraut-Kombinationen Mais-*Stellaria-media* im Daueranbau sowie Weizen-*Veronica-hederifolia* und Hafer-*Veronica-hederifolia* im Fruchtwechsel hinsichtlich Ertragsbildung und Ausprägung bodenmikrobiologischer Kennwerte analysiert. Bei den mikrobiologischen Zielgrößen handelte es sich um die Dehydrogenaseaktivität, die Glucose-induzierte Kurzzeitatmung, die Phosphatase- und Arylsulfataseaktivität sowie um die Fluoresceindiacetat-Hydrolyse. Weiterhin wurden  $N_{min}$ -Gehalte ermittelt. Die gewählten Unkrautdichten beeinflussten die Ertragsbildung nicht negativ, sie führten aber häufig zu erhöhter mikrobieller Aktivität im Oberboden. Im Falle von *Stellaria media* unter Mais deutete sich an, daß dieser Effekt mit zunehmender Versuchsdauer ansteigt. Die deutlichsten Einzeleffekte traten ein, wenn ein üppiger Aufwuchs von *Veronica hederifolia* vor der Hafersaat flach in den Boden eingearbeitet wurde. Es konnten keine Anhaltspunkte für artspezifische Effekte gefunden werden, daher dürften die beobachteten Wirkungen als Masseneffekte zu interpretieren sein.

**Stichwörter:** *Stellaria media*, *Veronica hederifolia*, Mais, Weizen, Hafer, mikrobielle Aktivität, Konkurrenz, Ertrag

## Abstract

Maize infested with *Stellaria media* and wheat or oats infested with *Veronica hederifolia* were grown in monoculture and in crop rotation respectively to measure the weed effects on crop yield and on soil microorganisms. Soil microbial criteria were: dehydrogenase activity, glucose-induced short-term respiration (SIR), alkaline phosphatase activity, arylsulfatase activity, and fluorescein diacetate hydrolysis. In addition the  $N_{min}$ -content was recorded. The established weed densities did not reduce the crop yield but increased the microbial activity of the top soil frequently. It seems that this effect accumulates in the case of *Stellaria media* in maize monoculture. The most distinct effects were recorded in oats following soil incorporation of large amounts of *Veronica hederifolia* before sowing. The effects seemed to be not specific to species and, therefore, plant biomass per se could be responsible for the observed findings.

**Key words:** *Stellaria media*, *Veronica hederifolia*, maize, wheat, oats, soil microbial activity, competition, yield

## 1 Einleitung

Unkräuter begrenzen ab einer bestimmten Dichte die Ertragsbildung von Kulturpflanzen. Um dies zu verhindern, werden geeignete Bekämpfungsmaßnahmen durchgeführt. Zur Ertragssicherung ist es allerdings ausreichend, wenn die Bekämpfung erst eine gewisse Zeit nach dem Auflaufen der Kultur erfolgt. Entsprechend dem Scha-

denschwellenkonzept kann sowohl zeitlich als auch dichtemäßig ein bestimmter Unkrautbesatz toleriert werden (NIEMANN, 1990). Neben dem ökonomischen Aspekt kann in diesem Zusammenhang auch der ökologische von Bedeutung sein. So kann ein tolerierbarer Unkrautbesatz als Habitat für Nützlinge dienen, der Bodennährstoffhaushalt wird abgepuffert, und die Erosion kann abgeschwächt werden. Diese Ziele lassen sich aber auch mit der aktiven Begrünung in Form von Mulch- oder Untersaat erreichen (AMMON, 1993). Die aktive Begrünung erfordert zwar zusätzliche Kosten, sie hat aber den Vorteil, daß sie in der Regel effizienter ist und zudem das Unkrautwachstum unterdrückt und damit eine Samenanreicherung im Boden weitgehend verhindert. Ihr Wert für den Artenschutz ist allerdings noch streitig.

Ziel unserer Arbeiten war es, durch experimentelle Steuerung eines Unkrautbesatzes eine hohe und gleichmäßige Bodenbedeckung während des gesamten Jahres mit ausgewählten Nicht-Kulturpflanzen zu erreichen, um dann zu prüfen, wie sich dieser Besatz auf die Ertragsbildung und insbesondere auf mikrobiologische Kennwerte des Bodens auswirkt, da zu dieser Thematik erst wenige Untersuchungen vorliegen (MALKOMES 1996).

## 2 Material und Methoden

### Standort Ahlum

Bei dieser Versuchsfläche handelt es sich um eine Betonrahmenanlage. Der Untergrund besteht aus einer Lage von ca. 100 cm drainierendem Schotter, darüber ist der in der Umgebung anstehende Lößlehm (Ap-Material) mit einer Schicht von ca. 100 cm aufgebracht. Die zwei identischen Parzellen haben Abmessungen von je 9,6 \* 6,0 m. Über die Zusammensetzung des Bodens informiert Tabelle 1.

Tab. 1. Bodeneigenschaften der Versuchsstandorte

Ort	% Ton	% Schluff	% Sand	% Humus	pH
Ahlum	14,0	79,3	6,7	3,6	6,6
Gliesmrd.	1,3	36,0	62,7	1,1	6,3

Die Versorgung hinsichtlich Phosphor, Kalium und Magnesium ist mit den Stufen D/E hoch. Der Manganengehalt beträgt etwa 40 mg/100 g Boden.

In den Jahren 1984 und 1985 wurde Winterweizen angebaut. Dabei wurde eine Parzelle mechanisch unkrautfrei gehalten („ohne Un-

kraut“), während bei der anderen *Stellaria media* toleriert wurde, die zur Aussamung gelangte. Dadurch konnte sich die Art hier anreichern („mit Unkraut“). Ab 1986 erfolgte der Daueranbau von Mais. Bis 1987 wurden die Parzellen im Herbst umgegraben, von 1988 bis 1991 wurde Direktsaat praktiziert.

Der Reihenabstand betrug 60 cm, in der Reihe wurde auf 15 cm vereinzelt. Die Direktsaat erfolgte in der Weise, daß bei der Variante „mit Unkraut“ zunächst 14 Tage vor der Saat der Unkrautbesatz im Reihenbereich spatenbreit abgehoben und zwischen den künftigen Reihen abgelegt wurde. Das entspricht etwa einer Streifenfrässaat, allerdings mit der Besonderheit, daß der Unkrautwuchs aus dem Reihenbereich entfernt wurde. Dadurch erwärmte sich der Boden in diesem Bereich in gleichem Maße wie bei „ohne Unkraut“. Die Saat wurde Ende April von Hand in vorgezogene Reihen durchgeführt. Von 1986 bis 1990 handelte es sich um die Sorte 'Brummi', 1991 um 'Felix'. Die Lage der Reihen wechselte jährlich in der Form, daß die neuen Reihen jeweils zwischen den vorjährigen plaziert wurden.

Gedüngt wurde 50 kg N/ha in Form von Kalkammonsalpeter in einer Gabe an die Maisreihe im 2–4 Blattstadium. Außer der Saatgut-Beizung mit einem den Wirkstoff Thiram enthaltenden Präparat wurden keine weiteren Pflanzenschutzmittel eingesetzt. Beregnet wurde nur einmal (Anfang Juni 1991) wegen extremer Trockenheit. Die Ernte erfolgte Ende September von Hand im Kernbereich der Großparzellen an jeweils 5 Unterparzellen in Form von 6 lfd. m/Reihe. Es wurde die Trockenmasse (TM) von Ganzpflanzen und Kolben ermittelt. Bis auf die Stoppelreste wurde der gesamte Maisaufwuchs nach der Ernte von den Parzellen entfernt. Nennenswertes Lagern trat im Untersuchungszeitraum nicht auf.

Die Witterung während der Untersuchungen war durch einige trockene Jahre gekennzeichnet (Tabelle 2).

Tab. 2. Niederschläge in den Monaten Mai bis September (mm)

Langj. Mittel	1986	1987	1988	1989	1990	1991
313	324	369	240	195	304	237

Die Parzelle „ohne Unkraut“ wurde während des gesamten Jahres mechanisch unkrautfrei gehalten. Bei der Variante „mit Unkraut“ wurde der Unkrautbesatz so gesteuert, daß überwiegend nur *Stellaria media* aufwuchs und deren Deckungsgrad in der Vegetationsperiode nicht über 50 % anstieg. In der kritischen Periode (2–8 Blattstadium des Mais) wurde der Reihenbereich ganz unkrautfrei gehalten. Nach der Maisernte wurde nicht mehr regulierend in die Unkrautvegetation eingegriffen, so daß sich bis zur nächsten Aussaat ein hoher Deckungsgrad entwickeln konnte. Bei dieser Variante handelte es sich somit um eine Kombination von Lebend- und Totmulch. Bei sämtlichen mechanischen Eingriffen wurde darauf geachtet, daß sie in beiden Varianten etwa mit gleicher Intensität erfolgten, um so mögliche Fehlerquellen auszuschalten. Die Parzellen wurden außerdem nur in abgetrocknetem Zustand betreten, um Bodenverdichtungen zu vermeiden.

#### Standort Gliersmarode

Für die Versuche stand eine mit Maschendraht (20 % Lichtminderung) überspannte Betonrahmenanlage in Institutsnähe zur Verfügung. Die Parzellen von 2 m<sup>2</sup> waren über einer drainierenden Kies-schicht 100 cm hoch mit Boden gefüllt. Über die wichtigsten Eigenschaften des Ap-Materials informiert Tabelle 1. Die Nährstoffversorgung betrug bei P: Stufe E/D, bei K: Stufe C, bei Mg: Stufe A und bei Mn: 25 mg/100 g Boden. Jährlich wurden 50 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 100 kg/ha K<sub>2</sub>O und 20 kg/ha MgO appliziert. Die N-Gaben in Form von Kalkammonsalpeter beliefen sich auf 120 kg/ha zu Winterweizen

und 60 kg/ha zu Hafer, jeweils in Teilgaben von 30 kg/ha verabreicht. Der Anbau von Winterweizen ('Ares') und Hafer ('Alfred') erfolgte in jährlichem Wechsel.

Gegen Krankheiten und Schädlinge des Weizens wurden gezielt Pflanzenschutzmittel mit den bei der Zulassung vorgesehenen Aufwandmengen eingesetzt, und zwar schwerpunktmäßig die Fungizide Corbel (Fenpropimorph) und Matador (Tebuconazol + Triadimenol) sowie das Insektizid Pirimor (Pirimicarb). Zudem wurde prophylaktisch mit Sportak (Prochloraz) gegen *Pseudocercospora herpotrichoides* und mit Cycocel (Chlormequat) gegen Lager behandelt. Gegen bodenbürtige Schadtiere wurde zur Saat 10 g/m<sup>2</sup> Curaterr Granulat (Carbofuran) ausgebracht. Herbizidbehandlungen erfolgten nicht. Bei Bedarf konnte mit einer fest installierten Anlage beregnet werden.

Die Aussaattermine lagen für Winterweizen Ende September/Anfang Oktober und für Hafer Ende März/Anfang April. Die Saatchichten betragen 450 bzw. 400 Körner/m<sup>2</sup>, der Reihenabstand 12 cm. Vor der Saat wurde von den Parzellen zunächst eine Bodenschicht von 2,5 cm gleichmäßig abgetragen, dann die Reihen mit einer Dreikantleiste markiert und schließlich die zuvor reihenweise abgewogenen Getreidekörner äquidistant ausgelegt. Abschließend wurde mit dem zuvor abgetragenen Boden die Saat gleichmäßig abgedeckt. Mit dieser Saattechnik konnte eine optimale horizontale und vertikale Saatgutverteilung erzielt werden.

Die Unkrautvarianten wurden in der Weise erstellt, daß zunächst unmittelbar vor der Getreidesaat Unkrautsamen (*Veronica hederifolia*) bei den entsprechenden Parzellen in den Boden eingearbeitet wurde. Nach dem Unkrautauflauf im Herbst wurden Dichten von 100 bzw. 200 Pflanzen/m<sup>2</sup> eingestellt. Gleichzeitig wurden – auch bei der unkrautfreien Kontrolle – sämtliche übrigen Unkräuter durch Jäten entfernt. Innerhalb einer Unkrautdicke war die Konkurrenzdauer zudem variiert: (1) kurze Konkurrenzdauer durch Abschneiden und Mulchen der Unkräuter bei Bestockungsende des Getreides und (2) unbegrenzte Konkurrenzdauer. Es ist allerdings anzumerken, daß *Veronica hederifolia* natürlicherweise bereits im Frühsommer, d. h. lange vor der Getreideernte, abstirbt. In der Variante 2 kam es somit zu einer ständigen Anreicherung von Unkrautsamen im Boden, und die Ansaat erübrigte sich hier mit der Zeit.

Die Kernbeerntung (1 m<sup>2</sup>) erfolgte durch Abschneiden der Ähren bzw. Rispen. Nach vollständigem Entfernen des Strohs wurden die Parzellen umgegraben und zu den o. g. Terminen wieder bestellt. Auch in der Zeit zwischen Umgraben und Aussaat wurden die Unkrautvarianten so behandelt wie oben beschrieben. Dadurch konnte sich insbesondere vor der Hafersaat ein üppiger Unkrautbewuchs etablieren. Die Unkrautvarianten waren somit auch während des Winters – entweder im Winterweizen oder vor dem Hafer – mit Unkraut bewachsen. Vor der Hafersaat wurde der Unkrautwuchs in den Boden eingearbeitet.

Jede Variante wies drei Wiederholungen auf. Der Versuch lief von 1986 bis 1991, also 3 Jahre mit Winterweizen und 3 Jahre mit Hafer. Die Ernteergebnisse wurden varianzanalytisch verrechnet und die Mittelwertdifferenzen auf Signifikanz (p = 0,05) geprüft.

#### Mikrobiologische Untersuchungen

Für die mikrobiologischen Untersuchungen wurden die beiden Parzellen des Versuchs Ahlum in je 4 gleich große Unterparzellen aufgeteilt, aus denen mehrmals während der Vegetationszeit je 5 Bodenproben aus 0–5 und 5–10 cm Tiefe gezogen und jeweils zu Mischproben vereinigt wurden. Aus dem Versuch Gliersmarode wurden pro Parzelle mehrmals während der Vegetationsperiode je 8 Proben aus 0–5 cm Tiefe entnommen und ebenfalls zu Mischproben vereinigt. Alle Proben wurden auf 2,5 mm Maschenweite gesiebt und bis zur Verarbeitung maximal 2 Wochen bei 5 °C gelagert bzw. für N-Untersuchungen ggf. mehrere Monate bei –18 °C eingefroren.

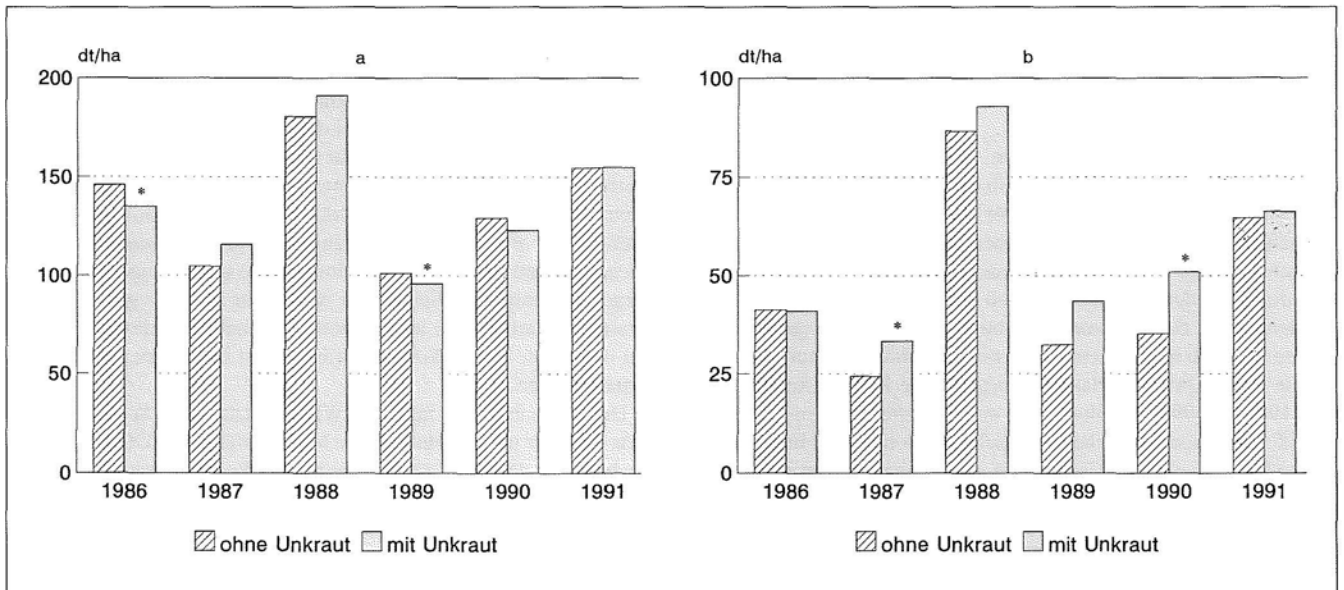


Abb. 1. Ertragsbildung von Mais ohne und mit Unkrautkonkurrenz. a = TM Gesamtpflanze, b = TM Kolben, \* = signifikant ( $p = 0,05$ ).

Hydrolyse (FDA) nach einer von MALKOMES (1989) modifizierten Methode von SCHNÜRER und ROSSWALL (1982).

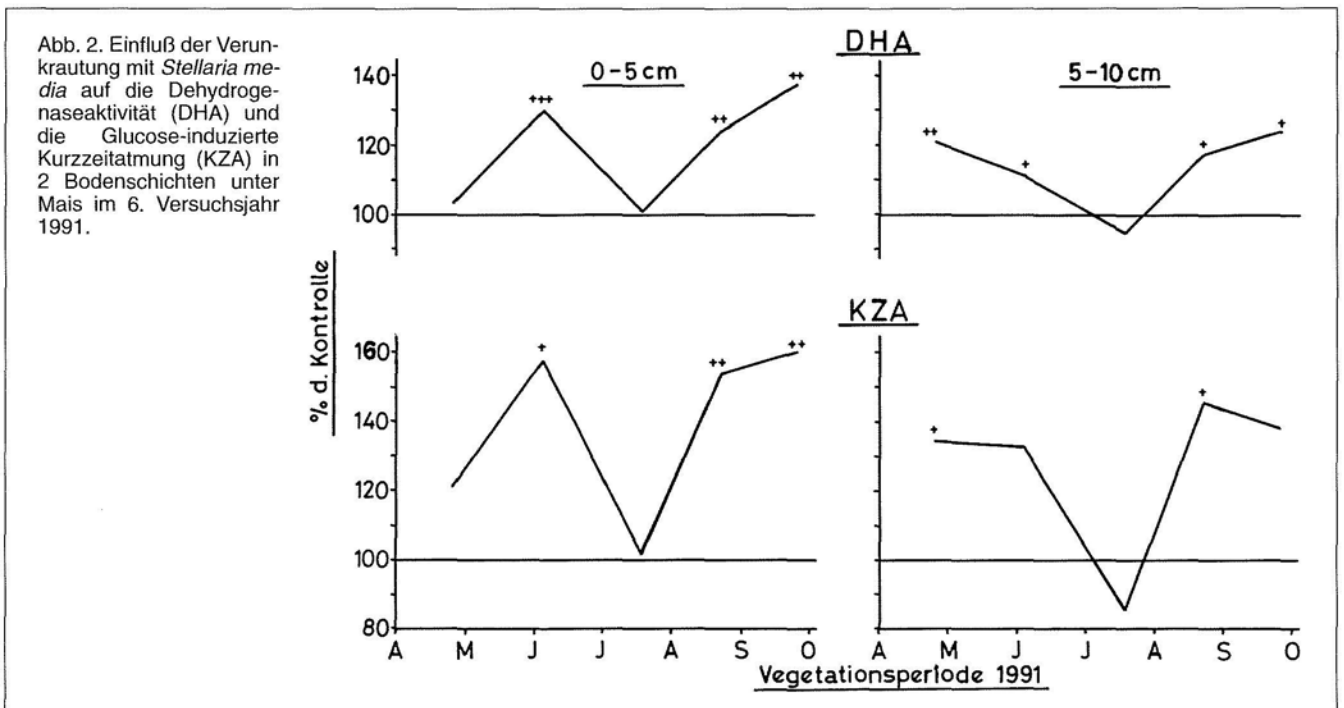
Es wurde die Standardabweichung ermittelt und zusätzlich ein t-Test durchgeführt.

In beiden Versuchen wurde die Dehydrogenaseaktivität (TTC-Reduktion) als Indikator allgemeiner Biomasse-abhängiger Aktivität nach MALKOMES (1991) spektralphotometrisch bei 546 nm im Aceton-Extrakt gemessen. Nur im Versuch Ahlum wurde die Biomasse-abhängige Glucose-induzierte Kurzzeitatmung nach MALKOMES (1986) mittels Infrarotgasanalysator erfaßt, wobei hier nur die ersten 6 Stunden berücksichtigt wurden. In beiden Versuchen wurde der  $N_{min}$ -Gehalt getrennt nach Ammonium und Nitrat spektralphotometrisch mittels eines Autoanalyzers (TRAACS, Bran + Luebbe, Nordstedt) anhand einer gerätespezifischen Methode gemessen. Nur im Versuch Gliesmarode wurden zusätzlich verschiedene Bodenenzyme spektralphotometrisch erfaßt: alkalische Phosphatase- und Arylsulfataseaktivität nach TABATABAI (1982), Fluoresceindiacetat-

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Standort Ahlum (Mais mit *Stellaria media*)

Während des gesamten Jahres wuchs auf der Unkrautparzelle *Stellaria media*, allerdings mit wechselndem Deckungsgrad. Nach der Maisernte im September konnte sich das Unkraut ungehindert entwickeln, und es erreichte bis zum nächsten Frühjahr einen Deckungsgrad von durchschnittlich 50 %, mit Maximalwerten bis zu 100 %. Nach der Maissaat wurde der Unkrautdeckungsgrad laufend durch regulierende mechanische Eingriffe auf etwa 20 % im Durchschnitt der Vegetationsperiode eingestellt. Er stieg unter Mais nie über 50 % an.



Tab. 3. Durchschnittliche ( $\bar{x}$ ) mikrobielle Aktivität (einschließlich  $N_{min}$ -Gehalt) im Boden unter Mais mit und ohne *Stellaria media*

Mikrobielle Aktivität	Verunkrautung	Bodentiefe (cm)	$\bar{x}$ mikrobielle Aktivität						
			1986 (5 T)	1987 (5 T)	1988 (3 T)	1989 (7 T)	1990 (6 T)	1991 (5 T)	$\bar{x}$ 1986–1991
DHA ( $\mu$ g TPF/g)	-	0–5	114,24	104,72	91,85	130,05	189,06	178,32	134,7 (100,0%)
	+	0–5	126,37	108,91	97,01	148,16	261,00	242,67	164,0 (121,7%)
	-	5–10	92,43	87,91	80,69	84,73	130,58	155,81	105,3 (100,0%)
	+	5–10	95,20	95,96	83,23	97,79	171,91	178,32	120,4 (114,3%)
KZA (ml CO <sub>2</sub> /100 g)	-	0–5	18,94	19,07	20,98	20,65	7,70	5,87	15,5 (100,0%)
	+	0–5	21,08	22,10	21,21	31,26	12,46	7,99	19,3 (124,6%)
	-	5–10	14,80	18,54	17,15	15,44	5,42	3,50	12,5 (100,0%)
	+	5–10	15,18	21,21	19,54	18,89	6,92	4,39	14,3 (115,1%)
$N_{min}$ - Gehalt (mg/kg)	-	0–5	12,52	10,77	6,79	8,23	3,11	15,01	9,4 (100,0%)
	+	0–5	12,65	13,48	10,07	6,61	2,54	19,89	10,9 (116,0%)
	-	5–10	10,92	14,53	3,90	15,32	3,42	28,50	12,8 (100,0%)
	+	5–10	12,30	14,49	6,91	7,66	2,28	24,60	11,4 (89,1%)
	-	$\bar{x}$ 0–10	11,72	12,65	5,34	11,77	3,26	21,75	11,1 (100,0%)
	+	$\bar{x}$ 0–10	12,42	13,98	8,49	7,13	2,41	22,24	11,1 (100,0%)

T = Anzahl Termine; DHA = Dehydrogenaseaktivität; TPF = Triphenylformazan; KZA = Glucose-induzierte Kurzzeitatmung

Die Unkrautkonkurrenz führte bei Mais zu temporären Wuchsdepressionen und helleren Blättern im Juni/Juli. Die Unterschiede im Längenwachstum betragen bis zu 20 cm. Bis zur Ernte hatten sich diese Differenzen allerdings wieder ausgewachsen, und unkrautbedingte Ertragsunterschiede waren im Mittel der Versuchsjahre beim Merkmal Gesamttrockenmasse nicht nachzuweisen (Abb. 1). Beim Merkmal Kolben-Trockenmasse zeichnete sich in der Unkrautvariante eine Tendenz zu höheren Werten ab: Im Mittel der 6 Versuchsjahre erreichte die Unkrautvariante 121% der unkrautfreien Kontrolle. Die Ergebnisse lassen aber keinen langfristig ansteigenden Effekt der Verunkrautung auf die Ertragsbildung erkennen. Jahreseffekte auf die Ertragsbildung wirkten sich in beiden Varianten gleichsinnig aus.

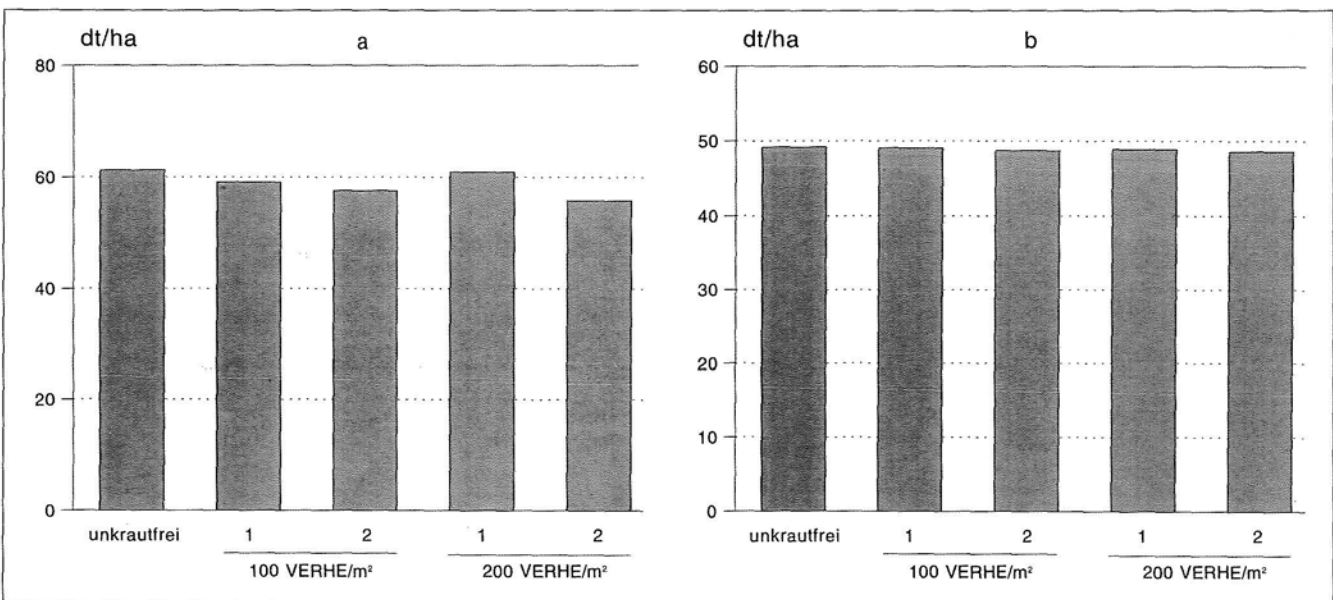
Die beiden mikrobiellen Aktivitäten unterschieden sich in der unkrautfreien Parzelle unter Mais während der einzelnen Versuchsjahre sowohl hinsichtlich Höhe als auch im zeitlichen Verlauf. Die

Dehydrogenaseaktivität wies in 0–5 cm Bodentiefe jedoch immer zwischen Juli und September die höchsten Werte auf. Diese Tendenz war bei der Glucose-induzierten Kurzzeitatmung nicht so ausgeprägt. In den Jahren 1986, 1989 und 1990 war auch der  $N_{min}$ -Gehalt im Boden etwa von Juli bis August am höchsten.

Abbildung 2 macht am repräsentativen Beispiel des letzten Versuchsjahres den Einfluß der Verunkrautung mit *Stellaria media* in Mais deutlich. In beiden Bodentiefen (0–5 und 5–10 cm) wurden meistens sowohl die Dehydrogenaseaktivität als auch die Kurzzeitatmung erhöht. Lediglich im Juli war in allen Varianten kein Einfluß vorhanden.

Werden die durchschnittlichen mikrobiellen Aktivitäten der einzelnen Jahre hinsichtlich des Unkrauteinflusses gegenübergestellt (Tab. 3), so lag die Dehydrogenaseaktivität in beiden Bodentiefen bei der verunkrauteten Parzelle entweder geringfügig (1986–1989) oder deutlich höher (1990, 1991) als in der unkrautfreien Variante. Auch die Kurzzeitatmung wies eine ähnliche Tendenz auf. Dies spiegelte sich bei beiden Meßgrößen auch in den Gesamtdurchschnittswerten 1986–1991 wider. In den letzten 3 Versuchsjahren waren die Stimulationen durch *Stellaria media* angestiegen. Bei den durchschnittlichen  $N_{min}$ -Gehalten im Boden (Tab. 3) trat zeitweise ebenfalls eine vergleichbare Tendenz auf, doch wichen die Jahre 1989,

Abb. 3. Ertragsbildung von Getreide ohne und mit Unkrautkonkurrenz im dreijährigen Mittel bei (1) Konkurrenzdauer bis Bestockungsende des Getreides und (2) unbegrenzter Konkurrenzdauer. a = Winterweizen, b = Hafer.



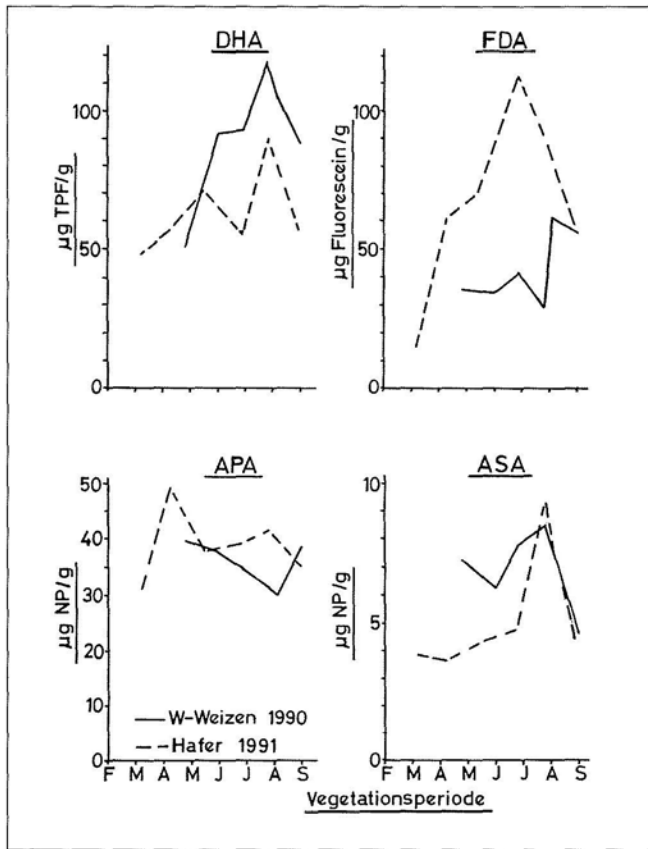


Abb. 4. Mikrobielle Aktivität in 0–5 cm Bodentiefe unter Winterweizen (1990) und Hafer (1991) ohne Verunkrautung nach mehrjähriger Versuchsdauer.

DHA = Dehydrogenaseaktivität;  
 FDA = Fluoresceindiacetat-Hydrolyse;  
 APA = alkalische Phosphataseaktivität;  
 ASA = Arylsulfataseaktivität;  
 TPF = Triphenylformazan;  
 NP = p-Nitrophenol.

1990 und z. T. 1991 mit umgekehrten Relationen davon ab. Werden die 6 Versuchsjahre zusammengefaßt, so ist der fördernde Effekt von *Stellaria media* auf den  $N_{min}$ -Gehalt nur in der oberen Bodenschicht (0–5 cm) zu erkennen.

3.2 Standort Gliesmarode (Getreide mit *Veronica hederifolia*)

*Veronica hederifolia* läuft überwiegend im Spätherbst auf und reift im Mai/Juni des Folgejahres bereits wieder ab. Folglich konnte sich ein stärkerer Unkrautbesatz besonders in Winterweizen und vor Hafer etablieren. Die Deckungsgrade erreichten bis zu 70 % in Winterweizen und bis zu 90 % vor Hafer. Hingegen wurden in Hafer höchstens 10 % Deckungsgrad bonitiert. Die Unkrautdichte hatte – bedingt durch intraspezifische Konkurrenzmechanismen – keinen eindeutigen Einfluß auf die Ausprägung des Unkrautdeckungsgrades. Bei hohem Besatz (nahezu 100 % Deckungsgrad) wurden etwa 250 kg/ha Unkrautrockenmasse produziert.

Die Getreideentwicklung wurde in keinem Jahr durch Auswinterung oder sonstige Einflüsse nachhaltig gestört. Infolge starker Niederschläge trat Lager gelegentlich auf, allerdings stets erst nach der Blüte und daher mit geringen Auswirkungen auf die Ertragsbildung. Das Lager wurde gehäuft in den verunkrauteten Parzellen beobachtet. Ein signifikanter Ertragsabfall durch Unkrautkonkurrenz ergab sich lediglich in einem Fall (1990 in Winterweizen bei unbegrenzter Konkurrenzdauer). Die über die Jahre gemittelten Getreideerträge sind in Abbildung 3 dargestellt. Das Merkmal Bestandesdichte reagierte in gleicher Weise wie der Kornertrag, während das Tausendkorngewicht von der Unkrautkonkurrenz unbeeinflusst blieb.

Im Boden der unkrautfreien Parzellen wiesen die 4 untersuchten Enzymaktivitäten in Abhängigkeit vom Jahr und der Kultur sowohl unterschiedliche Niveaus als auch zeitliche Verläufe auf. Wie an den beiden letzten Versuchsjahren unter Weizen bzw. Hafer deutlich wird (Abb. 4), lag bei der Dehydrogenase, Fluoresceindiacetat-Hydrolyse und Arylsulfatase etwa im August jeweils ein ausgeprägtes Aktivitätsmaximum vor, nicht jedoch bei der generell gleichmäßigeren alkalischen Phosphatase.

Im letzten Versuchsjahr unter Winterweizen (1990) war der Einfluß der Verunkrautung mit *Veronica hederifolia* nur zeitweise deutlich (Abb. 5). Je nach Enzymaktivität wurden einzelne Stimulatio-

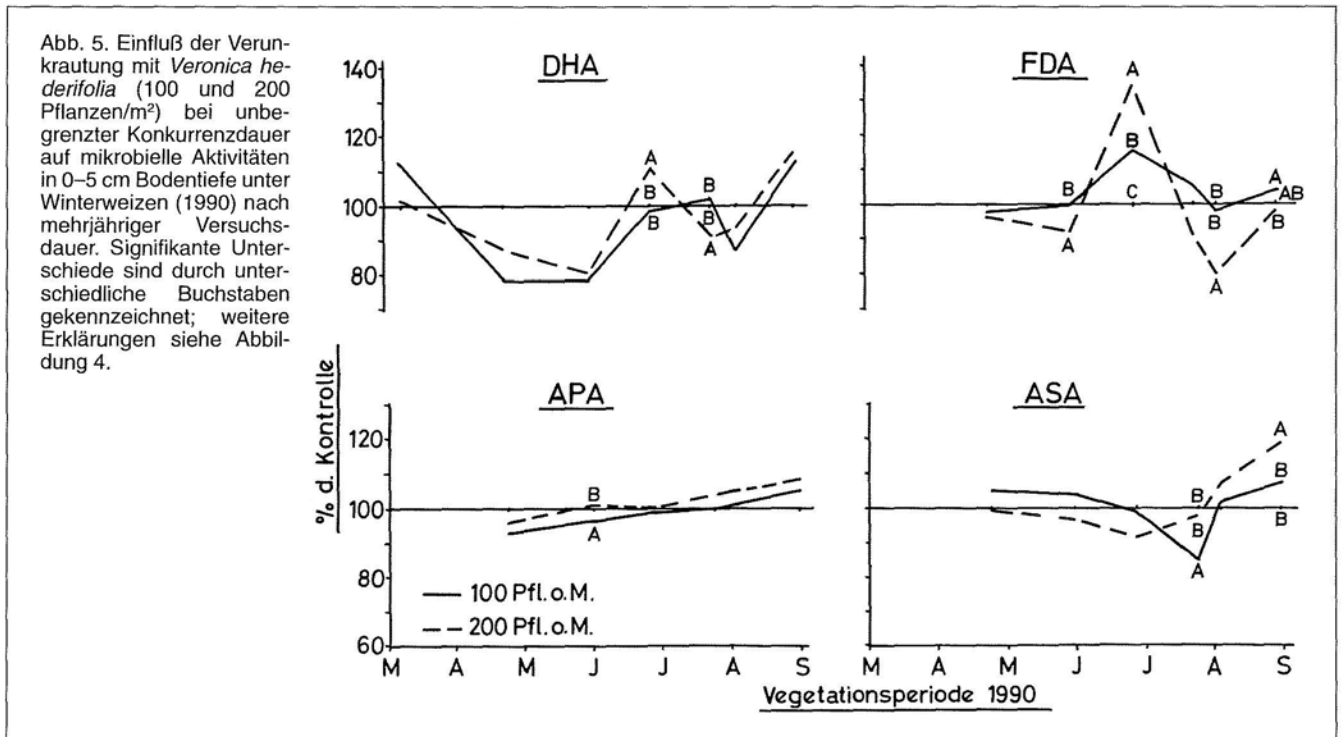


Abb. 5. Einfluß der Verunkrautung mit *Veronica hederifolia* (100 und 200 Pflanzen/m<sup>2</sup>) bei unbegrenzter Konkurrenzdauer auf mikrobielle Aktivitäten in 0–5 cm Bodentiefe unter Winterweizen (1990) nach mehrjähriger Versuchsdauer. Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet; weitere Erklärungen siehe Abbildung 4.

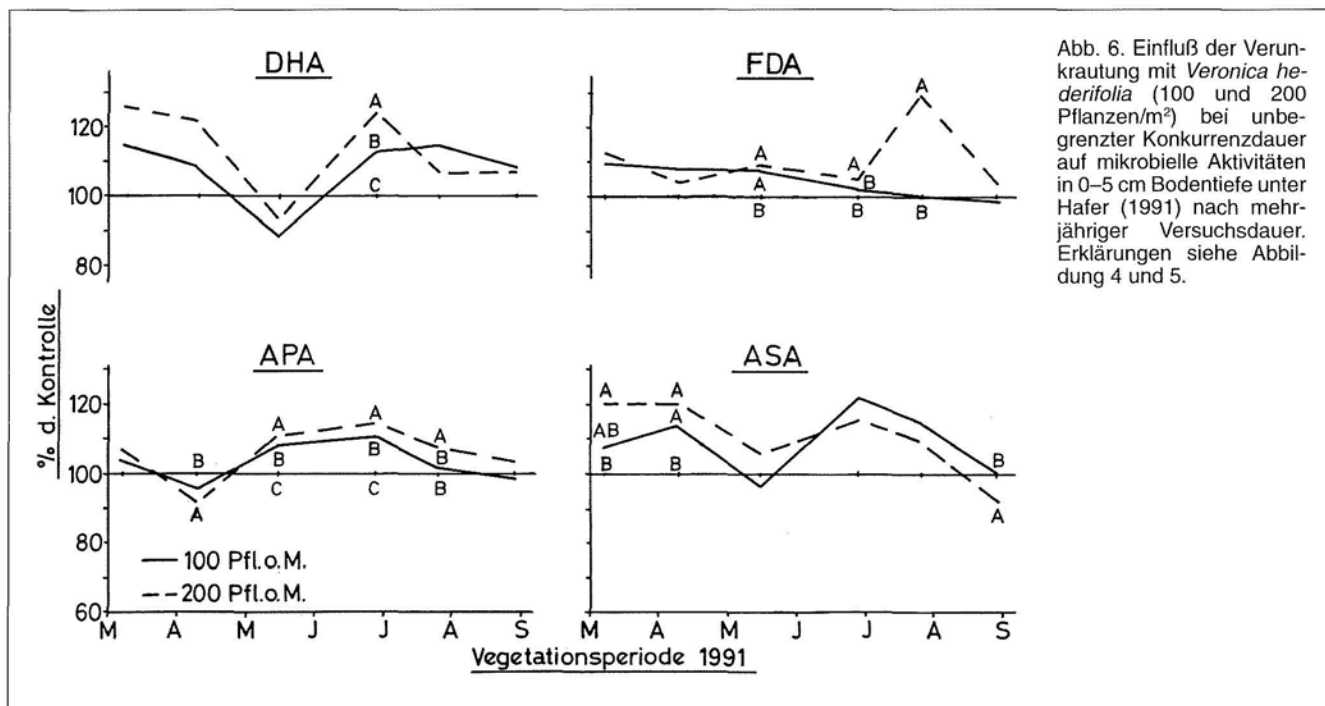


Abb. 6. Einfluß der Verunkrautung mit *Veronica hederifolia* (100 und 200 Pflanzen/m<sup>2</sup>) bei unbegrenzter Konkurrenzdauer auf mikrobielle Aktivitäten in 0–5 cm Bodentiefe unter Hafer (1991) nach mehrjähriger Versuchsdauer. Erklärungen siehe Abbildung 4 und 5.

nen zwischen Mitte Juni und September beobachtet, doch war keine einheitliche Wirkung erkennbar. Im letzten Versuchsjahr unter Hafer (1991) traten dagegen bereits vom Frühjahr bis zum Spätsommer bei allen untersuchten Enzymaktivitäten häufiger Stimulationen auf, die allerdings zeitweise nur als Tendenz erkennbar waren (Abb. 6).

Wie Tabelle 4 anhand der Jahresdurchschnittswerte zeigt, war auch hier der stimulierende Einfluß der Verunkrautung auf die Enzymaktivitäten vor allem unter Hafer zu erkennen, wobei die Dehydrogenaseaktivität und die Fluoresceindiacetat-Hydrolyse empfindlicher zu reagieren schienen. Unter Winterweizen war dies lediglich

bei der Arylsulfatase und dem stärkeren Verunkrautungsgrad angedeutet. Generell unterschied sich der Einfluß der beiden Unkrautdichten allerdings kaum. Auch die Dauer der Unkrautkonkurrenz wirkte sich kaum einheitlich aus.

Die jeweils im Herbst ermittelten N<sub>min</sub>-Gehalte im Boden unterschieden sich unter beiden Kulturen kaum zwischen den Varianten, doch lagen sie unter Hafer (1987, 1991) – weitgehend unabhängig von der Unkrautdichte und der Dauer der Unkrautkonkurrenz – in den verunkrauteten Parzellen etwas höher als in den unkrautfreien.

Tab. 4. Durchschnittliche (Ø) mikrobielle Aktivität im Boden unter Getreide mit und ohne *Veronica hederifolia*

Mikrobielle Aktivität	Verunkrautung	Ø mikrobielle Aktivität						Ø WW	Ø Hafer	Gesamt-Ø
		WW 1986 (6 T)	Hafer 1987 (5 T)	WW 1988 (5 T)	Hafer 1989 (8 T)	WW 1990 (6 T)	Hafer 1991 (6 T)			
DHA (µg TPF/g)	K	40,39	46,08	47,65	42,91	90,93	62,90	59,7	50,6	55,1
	100/2	39,53	44,01	43,90	53,58	85,51	67,64	56,3	55,1	55,7
	100/1	40,98	46,46	49,56	52,70	93,62	67,64	61,4	55,6	58,5
	200/2	34,68	45,26	41,45	54,71	87,85	70,22	54,7	56,7	55,7
	200/1	39,89	46,24	42,76	54,67	90,99	67,01	55,9	56,0	56,9
FDA (µg FI/g)	K		56,97	57,17	59,30	43,03	67,98	50,1	61,4	56,9
	100/2		58,97	57,70	62,95	44,37	70,38	51,0	64,1	58,9
	100/1		57,14	57,52	62,29	44,93	74,56	51,2	64,7	59,3
	200/2		59,67	57,49	63,56	42,04	75,77	49,8	66,3	59,7
	200/1		60,52	59,18	62,47	42,23	71,79	50,7	64,9	59,2
APA (µg NP/g)	K	28,04	28,88	34,65	33,25	35,17	38,78	32,6	33,6	33,1
	100/2	26,50	28,94	34,34	35,40	34,94	39,91	31,9	34,7	33,3
	100/1	26,83	30,15	34,28	34,60	34,70	40,66	31,9	35,1	33,5
	200/2	26,62	30,21	34,28	35,02	35,90	40,78	32,3	35,3	33,8
	200/1	28,20	29,54	35,37	36,21	36,45	39,58	33,3	35,1	34,2
ASA (µg NP/g)	K	4,50	5,23	6,35	4,51	6,96	5,01	5,9	4,9	5,4
	100/2	4,47	5,07	6,29	5,15	6,91	5,51	5,9	5,2	5,4
	100/1	4,53	4,82	6,54	4,83	7,10	5,22	6,1	5,0	5,5
	200/2	4,62	5,59	6,41	5,03	7,01	5,51	6,0	5,4	5,7
	200/1	4,91	5,78	7,09	5,45	7,09	5,56	6,4	5,6	6,0

WW = Winterweizen; T = Anzahl Termine; DHA = Dehydrogenaseaktivität; TPF = Triphenylformazan; FDA = Fluoresceindiacetat-Hydrolyse; FI = Fluorescein; APA = alkalische Phosphatase; NP = Nitrophenol; ASA = Arylsulfatase; K = unkrautfreie Kontrolle; 100 bzw. 200 = 100 bzw. 200 VERHE/m<sup>2</sup>; 1 = Konkurrenzdauer bis Bestockungsende des Getreides; 2 = unbegrenzte Konkurrenzdauer

#### 4 Diskussion

Im Versuchsmaßstab wurde hier eine Produktionstechnik simuliert, die Elemente von Mulch-, Unter- und Zwischensaat enthielt mit der Besonderheit, daß Unkräuter die Untersuchungsobjekte waren. Es war das Ziel dieser Arbeit, den Effekt dieser Nicht-Kulturpflanzen insbesondere auf mikrobielle Kenngrößen des Bodens zu erfassen. Zu diesem Zweck wurden Unkraut-Arten ausgewählt, die vergleichsweise konkurrenzschwach sind, die aber zumindest zeitweise über einen hohen Deckungsgrad verfügen mit einem dementsprechenden Anfall von Biomasse, und die zudem winterhart sind.

*Stellaria media* läuft im Herbst, aber zusätzlich noch im Frühjahr auf. Sie kann sich daher im Herbst auf der Maisstoppel etablieren, deckt dann den Boden über Winter mehr oder weniger vollständig ab und gelangt im Frühjahr nach teilweiser mechanischer Bekämpfung als Mulch flach in den Boden. Durch ständigen Neuaufbau nach der Maissaat ist gewährleistet, daß der Unkrautbesatz nicht abrupt zusammenbricht. Eine Ausnahme bilden allerdings extrem trockene und heiße Sommer, die zu einem vorzeitigen Absterben dieses Unkrauts führen können.

Der größte Teil der relativ feinen Wurzeln von *Stellaria media* befindet sich in den oberen 10 cm des Bodens (KUTSCHERA, 1960). Die dort ebenfalls beobachtete Erhöhung der mit der mikrobiellen Biomasse im Boden verknüpften Dehydrogenaseaktivität und Substrat-induzierten Kurzzeitatmung läßt auf einen Einfluß der lebenden und absterbenden Wurzeln dieses Unkrauts schließen. Die zusätzlich oft noch in 0–5 gegenüber 5–10 cm Bodentiefe leicht erhöhte mikrobielle Aktivität war sowohl mit als auch ohne Verunkrautung zu erkennen, so daß kein eindeutiger Zusammenhang mit dem an der Bodenoberfläche anfallenden oberirdischen Pflanzenmaterial von *Stellaria media* vorliegen muß.

Die durch das Unkraut verursachten Stimulationen der mikrobiellen Aktivität sind in etwa mit den Ergebnissen aus anderen Kulturen (RADANACHALESS, 1986; Sommergerste; WEINERT, 1991; Winteraps) vergleichbar, doch waren die vorliegenden Effekte in Mais wegen des längeren und gleichmäßigeren Unkrautdeckungsgrades offensichtlich weniger von Jahreszeit und Pflanzenentwicklung abhängig. *Stellaria media* scheint vor allem durch den Eintrag an Pflanzenmasse zu wirken, ähnlich wie dies auch für andere Verunkrautungen in den ebenfalls weitreichigen Zuckerrüben beobachtet wurde (POHL und MALKOMES, 1990). Dies könnte auch den kumulativen Einfluß dieses Unkrauts in den letzten 3 Versuchsjahren erklären. Darüber hinausgehende spezifische Einflüsse von *Stellaria media* können mangels Untersuchungen zwar nicht ausgeschlossen werden, doch scheinen zumindest Bodenpilze wenig beeinflusst zu werden (BEMMANN und KULLE, 1988). Eine endgültige Beurteilung ist derzeit nicht möglich.

*Veronica hederifolia* läuft im Herbst mit dem Wintergetreide auf und erreicht den Höhepunkt seiner Massenentwicklung noch im Herbst bzw. unmittelbar nach dem Winter. Die Einzelpflanzengewichte können in dieser Zeit die von Winterweizen überschreiten (NIEMANN, 1981). Bei Anbau von Sommerung kann es bei üppiger Herbstentwicklung von *Veronica hederifolia* zu einer vollständigen Bodenbedeckung während des Winters allein durch das Unkraut kommen. Durch Einarbeiten dieses Aufwuchses vor Hafer bzw. Abschneiden und Mulchen in Winterweizen unterliegt das Material dann bei relativ günstiger Temperatur und Feuchtigkeit einem raschen mikrobiellen Abbau.

In der Sommerung Hafer kann sich die Unkrautart kaum entwickeln.

*Veronica*-Unkrautarten sind zwar ebenfalls flachwurzelnd, doch dringen die feinen Wurzeln etwas tiefer in den Boden ein als die von *Stellaria media* (KUTSCHERA, 1960). Im engreihigen Winterweizen konnte keine deutlich stimulierende Wirkung des Unkrauts auf mikrobielle Aktivitäten festgestellt werden. Die vor allem im Frühjahr

anfallenden Wurzel- und Sproßmassen reichten offensichtlich selbst in 0–5 cm Tiefe nicht aus, merkliche Einflüsse zu verursachen. Erst im Sommer- und Spätsommer, wo mangels Verunkrautung keine direkte Wirkung mehr zu erwarten war, traten in den Unkraut-Parzellen einige Stimulationen mikrobieller Kenngrößen auf.

Im Boden der ebenfalls engreihigen Haferparzellen konnten dagegen – entsprechend der besseren Unkrautentwicklung vor der Aussaat und der nachfolgenden Einarbeitung der Unkrautmasse – z. T. bereits vom Frühjahr bis zum Sommer deutlich stimulierte mikrobielle Kenngrößen beobachtet werden. Auch hier scheint vor allem der Eintrag an Pflanzenmasse wirksam zu sein. Ein Unterschied zwischen den beiden Unkrautdichten konnte sich wegen des nahezu identischen Deckungsgrades nicht herausbilden. Während der 6jährigen Versuchszeit konnte kein kumulativer Effekt der Verunkrautung beobachtet werden. Wahrscheinlich war die Zufuhr an Unkraut im Vergleich zur sonstigen Pflanzenmasse zu gering. Spezifische Wirkungen von *Veronica hederifolia* lassen sich aus den vorliegenden Untersuchungen nicht ableiten. Ergänzende Literaturdaten sind bisher nicht verfügbar, so daß hierüber keine endgültige Aussage möglich ist.

Beide ausgewählte Unkrautarten konkurrieren entsprechend ihrem Wachstumsrhythmus in der ersten Hälfte der Vegetationsperiode mit der Kulturpflanze um knappe Wachstumsfaktoren. In dieser Untersuchung hatte dies jedoch zu keiner nachhaltigen Ertragsreduktion in den verunkrauteten Varianten geführt, obwohl der Deckungsgrad von *Veronica hederifolia* in Winterweizen zum Bestockungsende erheblich über der Schadensschwelle von 5 % für dikotyle Unkräuter (KEES et al., 1993) lag. Die Tolerierung der Verunkrautung durch die Kulturpflanze könnte darauf zurückzuführen sein, daß der Winterweizen die frühe interspezifische Konkurrenz zu kompensieren vermochte, vermutlich auch durch Nutzung des aus dem Unkrautmulch mineralisierten Stickstoffs (LUEANG-A-PAPONG, 1985). Beim Mais gelang die Unkrautregulierung in bezug auf die Ertragsbildung, nicht zuletzt durch die Reihendüngung, offenbar optimal; es zeigte sich tendenziell sogar eine Förderung des Kolbenanteils am Gesamtaufwuchs in der Variante mit Unkrautbesatz. Wahrscheinlich wirkte sich die geringe Unkrautkonkurrenz positiv auf die generative Entwicklung aus.

Die langjährigen Durchschnittswerte des  $N_{\min}$ -Gehaltes im Oberboden scheinen die verschiedentlich angenommene, vorübergehende Speicher-Funktion mancher Unkräuter für Nährstoffe (LUEANG-A-PAPONG, 1985; RADANACHALESS, 1986; MERBACH, 1993) zu bestätigen. In dem Versuchszeitraum von 6 Jahren traten allerdings keine kumulativen Effekte des Unkrautbesatzes auf die Ertragsbildung ein. Die Bindung von Nährstoffen durch Unkräuter und die Wiederverwertung dieser Nährstoffe nach der Mineralisation sind demnach Effekte, die kaum länger als eine Vegetationsperiode andauern.

Aus ökologischer Sicht ist besonders darauf hinzuweisen, daß beide Unkrautarten den Boden während des Winters bedecken und somit die Bodenerosion und die Nährstoffauswaschung hemmen können.

Abschließend kann gefolgert werden, daß ein regulierter Unkrautbesatz von den Kulturpflanzen toleriert wurde und zudem einige ökologisch erwünschte Effekte auftraten. Interessant wäre in diesem Zusammenhang noch die Quantifizierung der Nährstoffspeicherung durch winterannuelle Unkrautarten. Da keine artspezifischen Effekte nachgewiesen wurden, könnten die beobachteten Wirkungen möglicherweise auch durch andere Unkrautarten sowie den Einsatz von Unter- und Mulchsaaten erzielt werden. Letzteres würde zwar Bestellungskosten verursachen, hätte aber den Vorzug der einfacheren Handhabung und vermutlich – wegen des im Gegensatz zu Unkräutern gleichmäßigeren Besatzes – des sichereren Effekts. Zudem würde das Unkrautwachstum unterdrückt. Bei Unkrautmulch besteht hingegen langfristig die Gefahr einer Samenreicherung im

Boden. Grundsätzlich ist zu beachten, daß bei jeglicher Art von Unter- oder Zwischensaat die Wasserversorgung des Standorts als begrenzender Faktor zu berücksichtigen ist.

#### Dank

Die Autoren danken Herrn Landwirtschaftsmeister WERNER LÖHR für die pflanzenbauliche Betreuung und den landwirtschaftlich-technischen Assistentinnen MARTINA KRACHT und RENATE VERSCHWELE für die Durchführung der umfangreichen mikrobiologischen Analysen.

#### Literatur

- AMMON, H. U., 1993: Von der Unkrautbekämpfung zur Regulation der Grünbedeckung im Mais. *Landwirtsch. Schweiz* **6**, 649–660.
- BEMMANN, W., und P. KULLE, 1988: Rhizosphärenpilze bei *Galium aparine* L. *Zbl. Mikrobiol.* **143**, 389–396.
- KEES, H., E. BEER, H. BÖRGER, W. GARBURG, G. MEINERT und E. MEYER, 1993: Unkrautbekämpfung im Integrierten Pflanzenschutz. 5. Aufl. DLG-Verl., Frankfurt/M., 231 S.
- KUTSCHERA, L., 1960: Wurzelatlas mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen. DLG-Verl., Frankfurt/M., 574 S.
- LUEANG-A-PONG, P., 1985: Wirkung einer Unkrautbewirtschaftung auf den Boden und den Sommergerstenertrag in Gefäßversuchen. Diss. Univ. Gießen, 145 S.
- MALKOMES, H.-P., 1986: Einfluß der Glucosemenge auf die Reaktion der Kurzzeit-Atmung im Boden gegenüber Pflanzenschutzmitteln, dargestellt am Beispiel eines Herbizids. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd., Braunschweig* **38**, 113–120.
- MALKOMES, H.-P., 1989: Einfluß der Lagerung von Bodenproben auf den Nachweis von Herbizid-Effekten auf mikrobielle Aktivitäten. *Zbl. Mikrobiol.* **144**, 389–398.
- MALKOMES, H.-P., 1991: Vergleich der TTC- und INT-Reduktion zum Nachweis von Pflanzenschutzmittelwirkungen auf die Dehydrogenaseaktivität im Boden. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd., Braunschweig* **43**, 52–57.
- MALKOMES, H.-P., 1996: Einfluß von Acker-Unkräutern auf Bodenmikroorganismen – eine Übersicht. *Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz, Sonderh.* **XV**, 581–591.
- MERBACH, I., 1993: <sup>15</sup>N-Aufnahme von Mais (*Zea mays* L.) und Sommergerste (*Hordeum distichum* L.) aus eingemulchtem Weißen Gänsefuß (*Che-nopodium album* L.). 8th EWRS Symp. 'Quantitative approaches in weed and herbicide research and their practical application', Braunschweig, 159–165.
- NIEMANN, P., 1981: Schadschwellen bei der Unkrautbekämpfung. *Schriftenreihe Bundesmin. Ernähr., Landwirtsch., Forsten, Reihe A, Angew. Wissensch.* (257), 1–116.
- NIEMANN, P., 1990: Unkräuter und Ungräser. In: HAUG, G., G. SCHUHMANNS und G. FISCHBECK (Hrsg.): *Pflanzenproduktion im Wandel*. VCH Verlagsges. Weinheim, 358–377.
- POHL, K., und H.-P. MALKOMES, 1990: Einfluß von Bewirtschaftungsintensität und Verunkrautung auf ausgewählte mikrobielle Parameter im Boden unter Freilandbedingungen. *Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz, Sonderh.* **XII**, 379–388.
- RADANACHALESS, T., 1986: Mikrobielle Aktivität im Boden unter dem Einfluß von Kulturpflanze und Unkraut. Diss. Univ. Gießen, 169 S.
- SCHNÜRER, J., and T. ROSSWALL, 1982: Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. *Appl. Environ. Microbiol.* **43**, 1256–1261.
- TABATABAI, M. A., 1982: Soil enzymes. In: PAGE, A. L., R. H. MILLER, and D. R. KEENEY, eds.: *Methods of soil analysis, part 2: Chemical and microbiological properties*, 2nd ed., Agronomy no. 9, Amer. Soc. Agron., Madison, pp. 903–947.
- WEINERT, J., 1991: Untersuchungen zum Einfluß von Herbizidanwendungen und Verunkrautungen auf die Bodenmikroflora im Winterrapsanbau. Diss. Univ. Göttingen, 151 S. + Anh.

*Anschrift der Verfasser: Dr. Peter Niemann und Dr. Hans-Peter Malkomes, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für Unkrautforschung, Messeweg 11/12, D-38104 Braunschweig*