

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für Unkrautforschung

Einfluss von Strohmanagement und Stoppelbearbeitung auf mikrobielle Aktivitäten und Algen im Boden

Influence of straw management and stubble cultivation on microbial activities and algae in soil

Hans-Peter Malkomes

Zusammenfassung

In Betonrahmen-Kleinparzellen mit Winterweizen wurde in vier aufeinander folgenden Jahren unter Freilandbedingungen versucht, durch eine modifizierte Stoppelbearbeitung (ohne Bodenbearbeitung, Grubbern) mit und ohne Strohdüngung das Auflaufen von Ausfallgetreide zu beeinflussen. Neben dieser – von NIEMANN (2002) an anderer Stelle bereits veröffentlichten – Unkrautwirkung wurden auch bodenbiologische Faktoren (Dehydrogenaseaktivität = DHA, alkalische Phosphataseaktivität = APA, Zelluloseabbau = ZEL, Bodenalgen) und der N_{min} -Gehalt in der obersten Bodenschicht (0–5 cm) untersucht. Meistens wurden die mikrobiologischen Aktivitäten während der verschiedenen Versuchsjahre nicht gleichartig beeinflusst, was auf eine modifizierende Wirkung ökologischer Faktoren (z. B. Bodenfeuchte, Durchlüftung) hinweist. Hierbei reagierten Biomasse-bezogene Parameter (DHA) und Umsatzleistungen (APA, ZEL) ebenfalls nicht gleichartig, was aber durch die hinter diesen Messgrößen stehende Information erklärbar sein dürfte. Die Population der Bodenalgen im weitesten Sinn (Eukaryonten + Cyanobakterien) als lichtabhängige Primärproduzenten wurde durch das Grubbern in Kombination mit Strohdüngung (= eingearbeitetes Stroh) anfangs reduziert. Trotz messbarer Einzeleinflüsse scheinen die zur Unkrautbekämpfung durchgeführten Maßnahmen insgesamt keine nachhaltigen Wirkungen auf die Bodenbiologie (Bodenfruchtbarkeit) auszuüben.

Stichwörter: Ausfallweizen, Stoppelbearbeitung, Grubbern, Stroh, Mulch, Boden, mikrobielle Aktivität, Dehydrogenaseaktivität, Zelluloseabbau, Algen

Abstract

Small-scale experiments were carried out from 1998–2001 under field conditions to modify emergence of volunteer wheat by straw management (with and without straw) and stubble cultivation (with and without chiseling). Besides the effects on weeds, which already have been published by NIEMANN (2002), the influence on biological soil factors (dehydrogenase activity = DHA, alkaline phosphatase activity = APA, cellulose decomposition = ZEL, soil algae) and on the mineral nitrogen content were investigated in the uppermost soil layer (0–5 cm). In most cases the microbial activities were not affected in the same way by the treatments during the four years, indicating the modifying effect of ecological factors (e.g. moisture or aeration). In this context biomass-related factors (DHA) and transformation activities (APA, ZEL) often do not react in the same way, too. At

the beginning, populations of the light-depending soil algae (eukaryotes and cyanobacteria) were reduced by chiseling combined with straw manuring (e.g. incorporated straw). Although single effects of the treatments have been found in the trials no indication for lasting changes in soil biology or fertility occurred.

Key words: Volunteer wheat, stubble cultivation, chisel, straw, mulch, soil, microbial activity, dehydrogenase activity, cellulose decomposition, algae

1 Einleitung

Heute wird die Unkrautbekämpfung in Mittel- und Westeuropa auf dem überwiegenden Teil der ackerbaulichen Nutzflächen mittels Herbizideinsatz durchgeführt. Bis zur Mitte des vorigen Jahrhunderts konnten die Landwirte jedoch nicht auf diese relativ preiswerte und großflächig einsetzbare Maßnahme zurückgreifen. Eine Unkrautbekämpfung – wenn auch häufig auf einem niedrigeren Effektivitätsniveau – wurde jedoch meistens trotzdem durchgeführt. Neben der mechanischen Unkrautbekämpfung boten sich hierfür zahlreiche Anbaumaßnahmen an (KOCH und HURLE, 1978).

In den letzten Jahren wurde wiederholt versucht, alte Techniken und Maßnahmen mit modernen Möglichkeiten zu kombinieren, um Ressourcen zu schonen und zusätzlich die Umwelt von Agrarchemikalien zu entlasten. So ist es möglich, mittels artspezifischer Konkurrenzkraft von Lupinensorten die Spätverunkrautung zu beeinflussen (NIEMANN, 2000a). Auch bei Kartoffeln kann eine sortenspezifische Unkrautunterdrückung genutzt werden (NIEMANN, 2000b). Unkrautgerste in einer Fruchtfolge kann schließlich durch die Gerstensorte, Bodenbearbeitung und N-Düngung beeinflusst werden (RAUBER, 1984). Im vorliegenden Versuch ließ sich Ausfallweizen durch eine differenzierte Stoppelbearbeitung eliminieren (NIEMANN, 2002).

Diese Form der Unkrautbekämpfung greift jedoch auch in den Boden ein. Da sich aus Literaturangaben nicht voraussagen ließ, wie Bodenmikroorganismen als wichtiger Teil der Bodenbiozönose und Bodenfruchtbarkeit hierauf reagieren, wurden diese Untersuchungen auf ausgewählte mikrobielle Parameter des Bodens ausgedehnt. Die mikrobiologischen Parameter wurden so ausgesucht, dass sie einmal eine Aussage zum stoffwechselaktiven (DHA) bzw. dem lichtabhängigen Teil der mikrobiellen Biomasse (Algen + Cyanobacteria) zulassen. Andererseits sollen Abbauprozesse im Kohlenstoffbereich (Zelluloseabbau) und bei der Phosphormineralisierung (Phosphatase) gekennzeichnet werden. Dabei waren nach den Erfahrungen von JÄGGI et al.

Tab. 1. Termine der Bodenprobenentnahme während der vier Versuchsjahre**Table 1. Date of soil sampling during the four years of the trial**

Jahr Year	1. Termin 1 st sampling	2. Termin 2 nd sampling	3. Termin 3 rd sampling	4. Termin 4 th sampling
1998	–	8. Sept.	14. Okt.	17. Nov.
1999	19. Aug.	16. Sept.	8. Okt.	3. Nov.
2000	25. Aug.	22. Sept.	20. Okt.	17. Nov.
2001	4. Sept.	26. Sept.	23. Okt.	13. Nov.

(1991) Einflüsse von Temperatur, Bodenfeuchte und abbaubaren organischen Substanzen (Ernterückstände) auf die bodenmikrobiologischen Kennwerte zu erwarten.

2 Material und Methoden

In Betonrahmen-Kleinparzellen von 2 m² wurden in vier aufeinander folgenden Jahren Winterweizen („Ritmo“) unter freilandähnlichen Bedingungen auf einem lehmigen Sandboden (1,6 % Humus) angebaut, wobei neben Mineraldüngern und Wachstumsreglern bei Bedarf auch Pflanzenschutzmittel gegen pilzliche und tierische Schadorganismen eingesetzt wurden. Dabei wechselten Kultur und Vorkultur jährlich zwischen zwei Teilflächen. Vorkultur für 1998 war Lupine, für die Jahre 1999 und 2000 waren es Leindotter, Sommergerste und Öllein und für 2001 einheitlich Hafer.

Nach der Ernte von Winterweizen wurde der eigentliche zweifaktorielle Versuch angelegt. Der Faktor „Stoppelbearbeitung“ umfasste die Stufen ohne Bodenbearbeitung (= „ohne Grubbern“) und „mit Grubbern“, hier simuliert durch flaches Umgraben (ca. 6 cm). Der Faktor „Strohüngung“ wies die Stufen „ohne Stroh“ und „mit Stroh“ auf, wobei das Material dem Aufwuchs der jeweiligen Parzellen entstammte. Je nach Bodenbearbeitung lag das Stroh als Mulchschicht auf dem Boden oder wurde flach eingearbeitet. Der Auflauf von Ausfallgetreide wurde durch Aussaat von Weizen (700 Körner/m²) simuliert. Angaben zu Auflauf und Bedeckungsgrad von Ausfallweizen sind bei NIEMANN (2002) zu finden. Bis zum Winter waren die Parzellen den natürlichen Temperaturen und Niederschlägen ausgesetzt, wobei der Oktober 1998 (ein Tag mit über 60 mm) und der September 2001 (7 Tage mit jeweils fast 10 mm und mehr) überdurchschnittlich nass, der Juli sowie der November 1999 dagegen sehr trocken waren. Alle Varianten lagen in 5facher Wiederholung vor. Weitere Angaben finden sich bei NIEMANN (2002).

Aus der obersten Bodenschicht (5 cm) wurden bis zum Spätherbst in etwa monatlichem Abstand je 5–6 Bodenproben pro Parzelle mittels kleinem Stechzylinder gezogen und zu Parzellen-Mischproben vereinigt (Tab. 1).

An diesen wurde die auf die mikrobielle Biomasse bezogene Dehydrogenaseaktivität (DHA, Reduktion von Triphenyltetrazoliumchlorid = TTC) spektralfotometrisch nach MALKOMES (1993) ermittelt. Nur 1999 wurde zusätzlich die dem Phosphorkreislauf zuzuordnende alkalische Phosphataseaktivität (APA) spektralfotometrisch nach TABATABAI (1982) erfasst. Ebenfalls

nur zeitweise wurde der Gehalt an NH₄⁺ und NO₃⁻ (und damit N_{min}) spektralfotometrisch anhand einer gerätespezifischen Methode mittels „Technicon TRAACS 800“ (Bran und Luebbe, Nordstedt) bestimmt. In den beiden letzten Versuchsjahren wurde zusätzlich der Gehalt an Bodenalgeln (eukaryontische Algen und Cyanobacteria) als mikrobielle Primärproduzenten mittels Zweischicht-Plattentest nach MALKOMES et al. (1977) erfasst.

Demgegenüber wurde der Zelluloseabbau als Indikator für den Abbau von Pflanzensubstanz direkt in den Versuchspartellen untersucht. Hierzu wurden pro Parzelle jeweils zwei in Gazebeutel befindliche Zellulosefilter für 3 bis 6 Wochen waagrecht in 5 cm Bodentiefe eingegraben, wobei sich die Verweildauer an einer angestrebten Abbauleistung von etwa 50 % orientierte (Tab. 2).

Zur besseren Vergleichbarkeit wurde auf den durchschnittlichen täglichen Abbau umgerechnet. Da der Zelluloseabbau sich jeweils auf die spezifische Eingrabbauer bezieht, also auf die Zeit zwischen zwei Terminen, die anderen mikrobiellen Analysen aber auf den Tag der Bodenprobenentnahme, sind die Termine des Zelluloseabbaus eher den um den Tag des Ausgrabens liegenden „normalen“ Probenahmeterminen zuzuordnen als den um den Tag des Eingrabens (vergl. Tab. 1 und 2). Die Auswertung erfolgte gravimetrisch nach MALKOMES (1980, 1991).

Soweit es sinnvoll erschien, wurde in den Tabellen und Abbildungen die Standardabweichung angegeben.

3 Ergebnisse

3.1 Dehydrogenaseaktivität

Generell war die Streuung der Ergebnisse relativ groß, was (z. B. Grubbern, Stroheinarbeitung) durch die sehr inhomogene Bodenoberfläche bedingt sein dürfte, die eine standardisierte Entnahme erschwerte. Das Niveau der auf die mikrobielle Biomasse im Boden bezogenen Dehydrogenaseaktivität (DHA) variierte hauptsächlich in Abhängigkeit von den einzelnen Versuchsjahren (Abb. 1).

Dabei wies das Jahr 1998 die höchste Aktivität auf, 1999 die geringste. Während der jeweiligen dreimonatigen Beprobungszeit (August–November) lagen die einzelnen Varianten weitgehend auf einem gleichbleibenden Niveau oder wiesen nur eine leicht zu- oder abnehmende Tendenz auf. Einflüsse oder tendenzielle Einflüsse der Behandlungsvarianten waren nicht in allen Versuchsjahren einheitlich. Im ersten Versuchsjahr (1998) wies die Variante „mit Stroh mit Grubbern“ die höchsten Aktivitätswerte auf, in den beiden darauf folgenden Jahren war dies bestenfalls noch tendenziell erkennbar, während im Jahr 2001 eher die umgekehrte Tendenz zu beobachten war. Die anderen Varianten wiesen meistens nicht so ausgeprägte Unterschiede auf.

Bei Betrachtung der durchschnittlichen jährlichen DHA im Boden ohne Stroh wirkte das Grubbern sich nur 2001 negativ aus gegenüber dem Nicht-Grubbern. In den Strohvarianten erhöhte das Grubbern die Aktivität – außer im Jahr 2001 – mehr oder weniger deutlich gegenüber dem unbearbeiteten Boden. Das auf dem Boden belassene Stroh (Mulch) war im unbearbeiteten Boden wenig wirksam, während das eingearbeitete Stroh meistens stimulierte.

Tab. 2. Eingrabtermine und Verweildauer der Zellulosefilter im Boden in den vier Versuchsjahren**Table 2. Date of digging cellulose filter into the soil and duration of their decomposing period in the four years of the trial**

Jahr Year	1. Termin 1 st digging in	2. Termin 2 nd digging in	3. Termin 3 rd digging in
1998	–	8. Sept.–14. Okt. (36 d)	14. Okt.–17. Nov. (34 d)
1999	19. Aug.–16. Sept. (28 d)	16. Sept.–8. Okt. (22 d)	8. Okt.–3. Nov. (26 d)
2000	25. Aug.–22. Sept. (28 d)	22. Sept.–20. Okt. (28 d)	20. Okt.–17. Nov. (28 d)
2001	4. Sept.–26. Sept. (22 d)	26. Sept.–23. Okt. (27 d)	23. Okt.–13. Nov. (21 d)

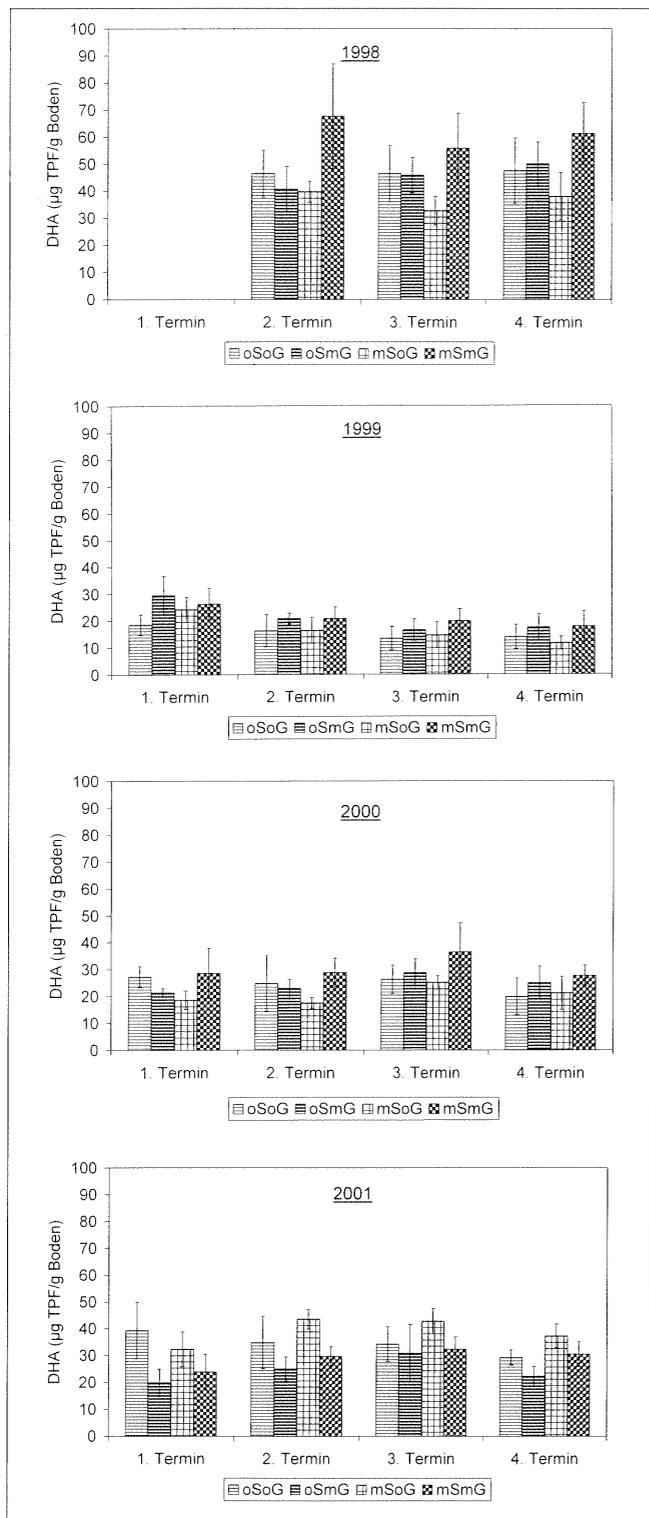


Abb. 1. Einfluss des Strohmanagements bei unterschiedlicher Stoppelbearbeitung auf die Biomasse-bezogene Dehydrogenaseaktivität (= DHA) in 0–5 cm Bodentiefe in den vier Versuchsjahren. Der 1. Termin wurde 1998 nicht beprobt. TPF = Triphenylformazan; „oSoG“ = ohne Stroh ohne Grubbern; „oSmG“ = ohne Stroh mit Grubbern; „mSoG“ = mit Stroh ohne Grubbern; „mSmG“ = mit Stroh mit Grubbern
 Figure 1. Influence of straw management combined with different stubble cultivation on the biomass-related dehydrogenase activity (DHA) in 0–5 cm soil depth during four years. In 1998, the first sampling was omitted. „oSoG“ = without straw without chiseling; „oSmG“ = without straw with chiseling; „mSoG“ = with straw without chiseling; „mSmG“ = with straw with chiseling

Tab. 3. Einfluss des Strohmanagements bei unterschiedlicher Stoppelbearbeitung auf die alkalische Phosphataseaktivität in 0–5 cm Bodentiefe während des Versuchsjahres 1999

Table 3. Influence of straw management combined with different stubble cultivation on the alkaline phosphatase activity in 0–5 cm depth during the year 1999

Stroh	Stoppelbearbeitung	alkalische Phosphataseaktivität (µg p-Nitrophenol/g Boden)	
Straw	Stubble cultivation	alkaline phosphatase activity (µg p-nitrophenol/g soil)	
		1. Termin	2. Termin
		1 st sampling	2 nd sampling
–	–	147,4 ± 3,6	143,2 ± 16,5
–	+	152,4 ± 11,0	137,8 ± 7,7
+	–	184,4 ± 14,1	182,9 ± 25,9
+	+	134,3 ± 10,0	124,8 ± 10,7

3.2 Alkalische Phosphataseaktivität

Die auf den Phosphorkreislauf bezogene alkalische Phosphataseaktivität (APA) war nur an zwei Terminen im Jahr 1999 untersucht worden. Im Boden ohne Stroh verursachte die Bodenbearbeitung keine Veränderungen, während das auf dem unbearbeiteten Boden liegende Stroh zu einer Aktivitätserhöhung führte (Tab. 3).

3.3 Zelluloseabbau

Die Streuung der Ergebnisse war meistens sehr groß, so dass diese oft nicht abzusichern waren. Das Niveau des durchschnittlichen täglichen Zelluloseabbaus war abhängig von den einzelnen Versuchsjahren, dem Probenahmeterrin und den Behandlungsvarianten (Tab. 4).

In den beiden ersten Jahren verringerte das Grubbern im Boden ohne Stroh – wenigstens tendenziell – den Zelluloseabbau. Im Boden mit Stroh erhöhte – allerdings nur im letzten Jahr – die Einarbeitung den Abbau.

3.4 Mineralischer Stickstoffgehalt

Der nur in 1999 regelmäßig untersuchte Gehalt an mineralischem Stickstoff lässt wegen der zur Vorkultur durchgeführten Düngung nur grobe Rückschlüsse auf die N-Mineralisierung im Boden zu. Da, wo Stroh in den Boden eingearbeitet wurde, kam es vorübergehend zu einer Abnahme an N_{min} um bis zu 36%, was im Boden unter der Strohaufgabe meistens nicht so deutlich war. Diese Unterschiede beziehen sich vorwiegend auf den Nitratgehalt, während der Ammoniumgehalt im Boden insgesamt relativ konstant blieb. Die anderen Varianten unterschieden sich kaum.

3.5 Eukaryontische und prokaryontische Bodenalg

Auch hier wiesen die Ergebnisse eine große Streuung auf. Zwar wurden die Bodenalg (Eu- und Prokaryonten) nur in den beiden letzten Versuchsjahren untersucht, doch fällt hier bereits auf, dass gegenüber dem nicht behandelten Boden sowohl das Grubbern als auch der Strohzusatz zu einer – wenigstens vorübergehenden – Reduzierung der Algenpopulation führte (Tab. 5).

Wurde das Stroh eingearbeitet, so lag die Algenzahl tendenziell höher als im Boden unter der Strohaufgabe.

4 Diskussion

Bei allen untersuchten mikrobiologischen Messparametern trat – zumindest zeitweise – eine starke Streuung der Ergebnisse auf. Dies kann aufgrund zahlreicher eigener Erfahrungen aus Laborversuchen kaum den verwendeten mikrobiologischen Methoden angelastet werden. Vielmehr dürften die Ursachen hierfür in den

Tab. 4. Durchschnitt aus je drei Terminen pro Jahr des Zelluloseabbaus in den vier Versuchsjahren
Table 4. Average of 3 periods per year of cellulose decomposition during the four years of the trial

Stroh Straw	Stoppelbe- arbeitung Stubble cultivation	Zelluloseabbau (% der Einwaage) Cellulose decomposition (% of initial substrate)				Ø
		1998 (z. T. zu feucht)	1999 (z. T. zu trocken)	2000	2001 (z. T. zu feucht)	
-	-	(72,7)	65,2	53,6	45,2	(59,2)
-	+	(30,4)	39,6	51,3	36,5	(39,5)
+	-	(46,7)	77,2	58,3	34,9	(54,3)
+	+	(31,2)	78,1	63,5	66,4	(59,8)

Ergebnisse in Klammer () beruhen in einem Jahr auf nur 2 Abbauperioden
 Results in parentheses () belong only to two periods in one year

kleinräumig sehr heterogenen Bodeneigenschaften liegen, die speziell nach der Bodenbearbeitung bzw. Stroheinarbeitung auftreten. Dies wirkt sich wiederum über den Bodenkontakt der Zellosefilter besonders auf deren Abbau aus.

In der Literatur liegen sowohl Angaben über Einflüsse einer Vor- oder Hauptfrucht innerhalb einer Fruchtfolge auf Bodenmikroorganismen als auch über nicht vorhandene Wirkungen vor (BECK et al., 1994; KUCHARSKI et al., 1996). Speziell bei Bodenalgien beobachtete SIEMINIAK (1998) Veränderungen der Biomasse durch verschiedene Getreideanteile. Auch Pflanzenschutzmittelspritzfolgen können selbst unter Feldbedingungen gelegentlich mikrobielle Aktivitäten im Boden verringern (MALKOMES und PESTEMER, 1981). In den vorliegenden Versuchen ließen sich jedoch keine eindeutigen Hinweise auf derartige Wirkungen feststellen.

NIEMANN (2002) erfasste einige ökologische Faktoren des vorliegenden Versuchs, die potentiell auf mikrobielle Parameter im Boden wirken können: So war der Pflanzenbedeckungsgrad der Parzellen mit Stoppeln und Stroh dort am höchsten, wo das Material wegen fehlender Bodenbearbeitung auf dem Boden verblieb, und am geringsten, wo das Stroh entfernt und der Boden gegrubbert wurde. Der Bodenwassergehalt war zumindest an den Messterminen August–September mit Grubbern immer am niedrigsten und im unbearbeiteten Boden mit Strohaufgabe am höchsten, wobei das Niveau in den einzelnen Jahren allerdings stark schwankte. Die Auflaufrate des Ausfallgetreides war generell in den nicht bearbeiteten Parzellen ohne Stroh am geringsten, während die Unterschiede der übrigen Varianten je nach Jahr mehr oder weniger ähnlich waren.

In den Boden eingearbeitetes Stroh wird von Mikroorganismen abgebaut und führt üblicherweise zu einem Anstieg an mikrobieller Biomasse und Aktivität (TARAFDAR et al., 2001). Allerdings kann es bei ungünstigen C:N-Verhältnissen im Boden zu einer N-Festlegung kommen (SINGH und AULAKH, 2001), die ihrerseits Rückwirkungen auf andere Umsetzungen ausübt. Da Umsetzungsprodukte beim Strohabbau das Pflanzenwachstum

beeinflussen können (WINTER und SCHÖNBECK, 1954), sind Effekte auf Bodenmikroorganismen ebenfalls nicht auszuschließen. Auch eine starke Verunkrautung kann zu einer erhöhten mikrobiellen Aktivität im Boden führen (POHL und MALKOMES, 1990). Dies würde in den vorliegenden Versuchen die höchste Biomasse-bezogene mikrobielle Aktivität in den Parzellen „mit Grubbern + mit Stroh“ (eingearbeitetes Stroh und starker Bewuchs mit Auflaufweizen) erwarten lassen, auf keinen Fall aber in der Variante „ohne Grubbern + ohne Stroh“. In den ersten drei Versuchsjahren (1998–2000) war bei der DHA wenigstens vorübergehend eine derartige Tendenz erkennbar, nicht aber 2001 mit zeitweise sogar umgekehrter Reaktion.

Normalerweise ist davon auszugehen, dass eingearbeitetes Stroh anfangs schneller abgebaut wird als Stroh auf der Bodenoberfläche, wobei allerdings zusätzlich die Bodenfeuchte wirkt (SUMMERELL und BURGESS, 1989). Im Gegensatz zum eingearbeiteten Stroh scheint der Abbau des auf dem Boden liegenden Strohs weniger von den Wetterbedingungen abhängig zu sein (DOUGLAS et al., 1980). Der Abbau der – auch im Stroh enthaltenen – in den Parzellen grundsätzlich eingegrabenen Zellulose war im ersten z. T. sehr feuchten Versuchsjahr tendenziell in den unbearbeiteten Parzellen ohne Stroh am größten, im letzten ebenfalls zeitweise sehr feuchten Jahr dagegen dort, wo Stroh eingearbeitet worden war.

Bodenbearbeitungssysteme beeinflussen bodenphysikalische und -chemische Faktoren und damit auch Bodenorganismen (KLADIVKO, 2001). Mit abnehmender Bearbeitungsintensität des Bodens nehmen die mikrobielle Biomasse und Aktivität oft zu (EMMERLING et al., 1997). In den vorliegenden Versuchen konnte dies für die DHA in den ersten drei Versuchsjahren sowohl in den Parzellen mit als auch ohne Strohdüngung nicht bestätigt werden, wohl aber 2001 wenigstens andeutungsweise. Beim Zelluloseabbau wies die gegrubberte Variante ohne Stroh allerdings fast immer die niedrigsten Durchschnittswerte auf.

Strohdüngung ohne Bodenbearbeitung glich im vorliegenden Versuch einem Strohmulch mit deutlichem Einfluss auf das Mi-

Tab. 5. Einfluss des Strohmanagements bei unterschiedlicher Stoppelbearbeitung auf den Gehalt an Algen (Eukaryonten + Cyanobacteria) in 0–5 cm Bodentiefe während der letzten beiden Versuchsjahre
Table 5. Influence of straw management combined with different stubble cultivation on soil algae (eukaryotes + cyanobacteria) in 0–5 cm soil depth during the last two years of the trial

Jahr Year	Stroh Straw	Stoppelbearbeitung Stubble cultivation	Algen (Kolonienbildende Einheiten $\times 10^3$ /g Boden) Algae (colony-forming units $\times 10^3$ /g soil)			
			1. Termin 1 st sampling	2. Termin 2 nd sampling	3. Termin 3 rd sampling	4. Termin 4 th sampling
2000	-	-	210,8 \pm 22,8	175,7 \pm 18,7	172,0 \pm 17,0	214,7 \pm 37,4
	-	+	127,5 \pm 13,5	110,3 \pm 12,9	229,0 \pm 23,3	245,3 \pm 19,9
	+	-	131,0 \pm 36,5	92,7 \pm 9,5	126,5 \pm 16,3	122,7 \pm 13,2
	+	+	91,7 \pm 9,8	107,6 \pm 14,3	194,0 \pm 23,2	197,2 \pm 63,4
2001	-	-	368,0 \pm 119,7	247,0 \pm 72,1	235,0 \pm 36,0	248,0 \pm 69,3
	-	+	183,0 \pm 53,5	164,0 \pm 46,3	174,0 \pm 38,4	164,0 \pm 55,4
	+	-	248,0 \pm 96,2	217,0 \pm 58,4	143,0 \pm 39,7	138,0 \pm 33,8
	+	+	206,0 \pm 70,6	162,0 \pm 55,1	158,0 \pm 52,8	164,0 \pm 47,8

kroklima. Die Bodenfeuchte war hier fast immer am höchsten (NIEMANN, 2002). Die DHA im Boden war hier 1998 und oft auch 1999 und 2000 die niedrigste aller Varianten, während sie 2001 tendenziell höher war als im gegrubberten Boden. Hohe Bodenfeuchte und Temperatur sind für die Stimulation des Zelluloseabbaus bekannt (DONNELLY et al., 1990). Jedoch kann auch eine vorausgehende Bodentrocknung den Zelluloseabbau fördern (BLAGODATSKAYA et al., 1988). Möglicherweise spielt hierbei die auch im vorliegenden Versuch beobachtete Festlegung von mineralischem Stickstoff in Abhängigkeit von ökologischen Faktoren eine modifizierende Rolle auf die Abbauvorgänge. Schließlich kann offensichtlich auch Stroh den Zelluloseabbau fördern (HARTLEY et al., 1996). Die höhere Bodenfeuchte schien den Zelluloseabbau im vorliegenden Fall jedoch nicht merklich zu beeinflussen.

Algen können durch Gerstenstroh deutlich reduziert werden, während Weizenstroh durchaus andersartig wirken kann (BALL et al., 2001). Lichtmangel und die mechanische Störung einer Bodenbearbeitung reduzieren ebenfalls ihre Vermehrung (LUKESOVA und HOFFMANN, 1996; NEUHAUS, 1999). Dagegen werden sie normalerweise durch hohe Bodenfeuchte gefördert. Im vorliegenden Versuch traten, zumindest tendenziell, in den ersten Wochen die höchsten Algenzahlen im nicht gegrubberten Boden ohne Strohaufgabe (= geringster Weizenaufwuchs) auf. Sowohl die Bodenbearbeitung als auch Stroh in eingearbeiteter Form sowie als Mulch verursachten eine tendenzielle Reduzierung.

Die aus der Literatur bekannten hemmenden oder fördernden Effekte der in den Kleinparzellenversuchen zum Einsatz kommenden Varianten sind auch hier beobachtet worden. Allerdings wurden sie in den vier Versuchsjahren offensichtlich so stark von zahlreichen ökologischen Faktoren modifiziert, dass sie nur zeitweise oder nur tendenziell erkennbar waren. Dies gilt sowohl für die Bodenbearbeitung, die Strohdüngung und den aufgelaufenen Ausfallweizen. Daraus lässt sich schließen, dass die mit dem Ziel einer Unkrautbekämpfung (speziell von Ausfallweizen) durchgeführten nichtchemischen Maßnahmen zumindest keine dauerhaften nachteiligen Wirkungen auf die Bodenbiologie (Bodenfruchtbarkeit) auszuüben scheinen.

Danksagung

Der Autor dankt Herrn Dr. P. NIEMANN für die Erlaubnis zur Mitbenutzung der Versuchsflächen sowie den landwirtschaftlich-technischen Assistentinnen KARIN HAUFFE, SANDRA HEILMANN und ILSE HESS für die sorgfältigen mikrobiologischen Untersuchungen.

Literatur

- BALL, A. S., M. WILLIAMS, D. VINCENT, J. ROBINSON, 2001: Algal growth control by a barley straw extract. *Bioresource Technol.* **77**, 177–181.
- BECK, T., R. BRANDHUBER, G. POMMER, 1994: Fruchtfolgewirkung unterschiedlicher Blattfrüchte in einem langjährigen Daueranbau mit Winterweizen. 3. Mitt.: Einflüsse auf Bodenstruktur, Gehalte an organischer Substanz und bodenmikrobiologische Aktivitäten. *Agribiol. Res.* **47**, 67–74.
- BLAGODATSKAYA, E. V., I. V. ASEVA, B. B. NAMSAREV, N. S. PANIKOV, 1988: Dynamics of the growth of microorganisms during decomposition of ¹⁴C-cellulose in a gray forest soil. *Moscow Univ. Soil Sci. Bull.* **43**, (3), 46–53.
- DONNELLY, P. K., J. A. ENTRY, D. L. CRAWFORD, K. CROMACK, 1990: Cellulose and lignin degradation in forest soils: Response to moisture, temperature, and acidity. *Microb. Ecol.* **20**, 289–295.
- DOUGLAS, C. L., R. R. ALLMARAS, P. E. RASMUSSEN, R. E. RAMIG, N. C. ROAGER, 1980: Wheat straw composition and placement effects on decomposition in dryland agriculture of the Pacific Northwest. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* **44**, 833–837.
- EMMERLING, C., L. SEITZ, D. SCHRÖDER, 1997: Einfluss reduzierter Bodenbearbeitung im Ökologischen Landbau auf Nährstoffgehalt und mikrobiologische Eigenschaften von Böden sowie die Besiedlung durch Regenwürmer. *Schriftenreihe Inst. Ökol. Landbau* **4**, 49–55.
- HARTLEY, M. J., J. B. REID, A. RAHMAN, J. A. SPRINGETT, 1996: Effect of organic mulches and a herbicide on soil bioactivity in an apple orchard. *New Zeal. J. Crop Hortic. Sci.* **24**, 183–190.
- JAGGI, W., H.-R. OBERHOLZER, U. WALTHER, 1991: Jahreszeitliche Veränderungen bodenmikrobiologischer Kennwerte unter Winterweizen in einem langjährigen Düngungsversuch. *VDLUFA-Schriftenreihe* **33** (Kongressband), 269–274.
- KLADIVKO, E. J., 2001: Tillage systems and soil ecology. *Soil Tillage Res.* **61**, 61–76.
- KOCH, W., K. HURLE, 1978: Grundlagen der Unkrautbekämpfung (UTB 513). Stuttgart: E. Ulmer, 207 S.
- KUCHARSKI, J., J. NOWICKI, M. WANIC, 1996: (Effect of the different cereal plants in a crop rotation on the number of microorganisms in soil). *Acta Acad. Agric. Techn. Olstenensis, Agric.* (63), 67–75 (in Poln.).
- LUKESOVA, A., L. HOFFMANN, 1996: Soil algae from acid rain impacted forest areas of the Krusne Hory Mts. 1. Algal communities. *Vegetatio* **125**, 123–136.
- MALKOMES, H.-P., 1980: Strotröteversuche zur Erfassung von Herbizid-Nebenwirkungen auf den Strohumsatz im Boden. *Pedobiologia* **20**, 417–427.
- MALKOMES, H.-P., 1991: Einfluss der Stickstoffdüngung auf den Stroh- und Celluloseabbau im Boden nach Herbizidanwendung. *Zbl. Mikrobiol.* **146**, 359–370.
- MALKOMES, H.-P., 1993: Eine modifizierte Methode zur Erfassung der Dehydrogenaseaktivität (TTC-Reduktion) im Boden nach Herbizidanwendung. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutz.* **45**, 180–185.
- MALKOMES, H.-P., W. PESTEMER, 1981: Einfluss von Pflanzenschutzmitteln in Wintergetreide auf die Dehydrogenaseaktivität, den Strohabbau und die Abbaubarkeit von Dinoseb im Boden. *Proc. EWRS Symp. 'Theory and practice of the use of soil applied herbicides'*, Versailles, 91–102.
- MALKOMES, H.-P., W. STEUDEL, R. THIELEMANN, 1977: Einfluss langjähriger Anwendung von Temik 10 G (Aldicarb) in einer Zuckerrüben-Monokultur auf Bodenmikroorganismen. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutz.*, Braunschweig **29**, 52–57.
- NEUHAUS, W., 1999: Ökotoxische Auswirkungen der Applikation von Fenikan (Diflufenican + Isoproturon) in Wintergerste bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung. Teil 3: Wirkung auf die Abundanz von Bodenalggen. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutz.* **51**, 197–204.
- NIEMANN, P., 2000a: Unkrautunterdrückung durch Lupinenarten. *Gesunde Pflanzen* **52**, 183–187.
- NIEMANN, P., 2000b: Sortenspezifische Unkrautunterdrückung bei Kartoffeln und deren Veränderung durch eine N-Unterfußdüngung. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutz.* **52**, 249–256.
- NIEMANN, P., 2002: Eliminierung von Ausfallweizen durch Formen der Stoppelbearbeitung. *Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz, Sonderh. XVIII*, 625–632.
- POHL, K., H.-P. MALKOMES, 1990: Einfluss von Bewirtschaftungsintensität und Verunkrautung auf ausgewählte mikrobielle Parameter im Boden unter Freilandbedingungen. *Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz, Sonderh. XII*, 379–388.
- RAUBER, R., 1984: Einfluss von Gerstensorte, Bodenbearbeitung und Stickstoffdüngung auf die Population von Unkrautgerste in der Fruchtfolge Zuckerrüben – Winterweizen – Wintergerste. *Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz, Sonderh. X*, 95–104.
- SIEMINIAK, D., 1998: Biomass of soil algae under rye in different crop rotation systems. *Polish J. Soil Sci.* **31**, 78–85.
- SINGH, K., M. S. AULAKH, 2001: Nitrogen immobilization-mineralization in a sandy loam soil (typic ustochrept) amended with crop residues at varying moisture regimes. *J. Indian Soc. Soil Sci.* **49**, 198–202.
- SUMMERELL, B. A., L. W. BURGESS, 1989: Decomposition and chemical composition of cereal straw. *Soil Biol. Biochem.* **21**, 551–559.
- TABATABAI, M. A., 1982: Soil enzymes. In: PAGE, A. L., R. H. MILLER, D. R. KEENEY, (eds.): *Methods of soil analysis, part 2: Chemical and microbiological properties*. 2nd ed., Agronomy no. 9, Madison: Amer. Soc. Agron., pp. 903–947.
- TARAFDAR, J. C., S. C. MEENA, S. KATHJU, 2001: Influence of straw size on activity and biomass of soil microorganisms during decomposition. *Europ. J. Soil Biol.* **37**, 157–160.
- WINTER, A. G., F. SCHÖNBECK, 1954: Untersuchungen über wasserlösliche Hemmstoffe aus Getreideböden. *Naturwissenschaften* **41**, 145–146.

Zur Veröffentlichung angenommen: 29. November 2002

Kontaktanschrift: Dr. Hans-Peter Malkomes, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für Unkrautforschung, Messeweg 11–12, D-38104 Braunschweig, Germany; E-Mail: H.Malkomes@bba.de