

**Aus dem Institut für Betriebstechnik und Bauforschung  
und dem  
Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde**

**Hanna Klikocka  
Kirsten Stöven  
Ewald Schnug**

**Auswirkungen unterschiedlicher Methoden der  
Bodenbearbeitung und Unkrautkontrolle auf  
bodenmikrobiologische Parameter und Kartoffelertrag**

Manuskript, zu finden in [www.fal.de](http://www.fal.de)

Published in: Landbauforschung Völkenrode 53(2003)4, pp.  
209-215

**Braunschweig  
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)  
2003**

## Auswirkungen unterschiedlicher Methoden der Bodenbearbeitung und Unkrautkontrolle auf bodenmikrobiologische Parameter und Kartoffelertrag

Hanna Klikocka<sup>1</sup>, Kirsten Stöven<sup>2</sup> und Ewald Schnug<sup>2</sup>

### Zusammenfassung

In einem zweifaktoriellen Experiment wurde der Einfluss der Bodenbearbeitung und Unkrautkontrolle auf bodenmikrobiologische Parameter im Kartoffelanbau untersucht. Die Experimente wurden 1999 und 2000 in Malice bei Zamosc (Polen) auf einer sandigen Braunerde (Cambisol) durchgeführt. Folgende Varianten der Bodenbearbeitung und Unkrautkontrolle wurden in faktorieller Kombination geprüft: konventionelle Bodenbearbeitung (KBB), Herbstwallbereitung (HWB) und reduzierte Bodenbearbeitung (RBB). An unterschiedlichen Methoden der Unkrautkontrolle wurden eine mechanische (MUK), eine mechanisch-chemische Behandlung mit Metribuzin (MCK) und eine rein chemische Behandlung mit Linuron und Metribuzin (CUK) verglichen. Zu drei Terminen (nach Legen, zur Blüte und vor Ernte der Kartoffeln) wurden Bodenproben gezogen und mikrobiologische Parameter untersucht.

Weder die Bodenbearbeitung noch die Unkrautkontrolle hatte einen signifikanten Einfluss auf die Zellzahlen der untersuchten Mikroorganismen im Boden. Es zeigte sich jedoch, dass beim Anbau mit Herbstwällen und reduzierter Bodenbearbeitung in Kombination mit mechanischer Unkrautkontrolle die Aktivität der mikrobiellen Dehydrogenase (Indikator für biologische Aktivität) am höchsten war und bei konventioneller Bodenbearbeitung mit chemischer Unkrautkontrolle am niedrigsten. Ein über Zellzahlen, Gehalt an organischer Substanz und Kationenaustauschkapazität des Bodens ermittelter „Biologischer Indikator der Bodenfruchtbarkeit“ wurde durch die verschiedenen Versuchsfaktoren nicht beeinflusst.

Die höchsten Erträge wurden beim Anbau mit Herbstwällen oder konventioneller Bodenbearbeitung in Kombination mit mechanischer bzw. mechanisch-chemischer Unkrautkontrolle erzielt. Der Knollenertrag war dabei negativ mit den Zellzahlen der Bakterien und Aktinomyzeten korreliert.

*Schlüsselwörter: Kartoffel, Bodenbearbeitung, Unkrautkontrolle, mikrobiologische Bodenparameter*

### Summary

#### **Effect of different soil treatment methods and weed control on microbiological properties of soil and potato yield**

In a field experiment conducted on a leached brown soil in Malice, near Zamosc, Poland in 1999-2000 the effect of tillage and weed control on soil microbiological factors was investigated. With regard to soil tillage a conventional tillage, a ridge tillage and a reduced tillage were compared while the different variants of weed control were a mechanical, a mechanical-chemical with metribuzin and a chemical treatment with linuron and metribuzin. The soil was sampled after planting, at flowering and before harvest and microbiological properties determined. The results showed that the methods of soil tillage and weed control had no significant effect on the microbial counts in the soil. However the highest activity of dehydrogenase (indicator for biological activity) was found in treatments with ridge or reduced tillage and by using mechanical weed control. Conventional soil tillage and chemical weed control with herbicides reduced the activity of the dehydrogenase. A “Biological Index of Soil Fertility” which was calculated from microbial counts, organic matter content and adsorption capacity, was not influenced by the investigated factors. The yield of potato tubers was highest by using ridge or conventional soil tillage in combination with mechanical and mechanical-chemical weed control. The potato yield was negatively correlated with the count of bacteria and actinomycetes.

*Keywords: potato, soil tillage, weed control, microbiological soil parameters*

<sup>1</sup> Landwirtschaftsakademie in Lublin, Institut für landwirtschaftliche Wissenschaften in Zamosc, 22-400 Zamosc, Szczepieszka 102, Polen  
e-mail: hklik@inr.edu.pl

<sup>2</sup> Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der FAL, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, Deutschland/Germany  
E-mail: ewald.schnug@fal.de

## 1 Einleitung

Bereits Darwin (1881) schreibt, dass der Pflug eine der wertvollsten und ältesten Entwicklungen des Menschen ist, dass aber auch schon vor der Erfindung des Pfluges der Boden regelmäßig gepflügt wurde, und zwar durch die Aktivität von Regenwürmern. Die Bodenorganismen sowie die mechanische Bodenbearbeitung, insbesondere in der Umgebung der Rhizosphäre, wo die mikrobielle Aktivität am höchsten ist, sind von entscheidender Bedeutung, da sie über das Verhältnis von Wasser zu Luft im Boden entscheiden und über eine gute Durchmischung von Ausscheidungsprodukten der Wurzel mit Bodenpartikeln (Haug et al, 1992). In natürlichen Böden wird eine günstige Bodenstruktur durch das Zusammenwirken von Pflanzenwurzeln, Regenwürmern und Mikroorganismen (Pilze, Aktinomyzeten und Bakterien) bestimmt (Swaby, 1949). In ackerbaulich genutzten Böden spielt die Bodenbearbeitung mit Geräten zum Lockern und Wenden des Bodens eine zusätzliche Rolle.

In natürlichen wie auch in Kulturböden ist die Bodenflora wesentlich an der Umsetzung des Humus beteiligt, denn durch die Ausscheidung von Enzymen und organischen Säuren werden Mineraloberflächen im Boden angegriffen und Humusbestandteile umgesetzt. Die Bodenorganismen mobilisieren durch ihre Umsetzungsprozesse viele Haupt- und Spurennährstoffe (besonders N) für die Pflanze und sind insbesondere an den Nährstoffkreisläufen von Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor und Schwefel beteiligt (Haug et al, 1992). Beim Abbau organischer Substanzen im Boden werden jährlich ca. 50-100 dt ha<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub> freigesetzt, welches für die Assimilation unentbehrlich ist und z.B. die Löslichkeit von CaCO<sub>3</sub> und Ca-Phosphaten im Boden erhöht (Haug et al., 1992). Mikroorganismen sind auch am Abbau von Herbiziden beteiligt, wobei sich unterschiedliche Mikroorganismengemeinschaften in Abhängigkeit von den jeweils dominierenden Kohlenstoffquellen einstellen: z. B. sind am Abbau von 2,4-Dichlor-Phenoxyessigsäure *Micrococcus*, *Pseudomonas* und *Flavobacterium* beteiligt, während beim Abbau von Triazin vorwiegend Pilze wie z. B. *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus niger*, *Fusarium oxysporum*, *Penicillium purpogenum*, *Cladosporium herbarium* und *Trichoderma* mitwirken. Beim Abbau von Harnstoff-Derivaten sind *Xantomonas*, *Bacillus* und Pilze wie z. B. *Aspergillus* und *Penicillium* aktiv (Roszak, 1997). Durch den Einsatz von Pestiziden wird die Biozönose im Boden erheblich gestört und es kann nach Herbizidanwendungen bis zu einem Jahr dauern bis sich das natürliche Gleichgewicht der Bodenlebewesen wieder eingestellt hat. Während dieser Zeit laufen Oxidationsprozesse, enzymatische Reaktionen und Stickstoffmetabolismus in veränderter Form ab (Roszak, 1997).

Tiefgründigkeit, Körnung und Gefüge, Bodenreaktion, Nährstoffgehalt einschließlich schädlicher Stoffe, Humus-

gehalt und –zusammensetzung, Sorptionseigenschaften und mikrobielle Aktivität sind wichtige Faktoren der Bodenfruchtbarkeit. Ein geeigneter Indikator für die mikrobielle Aktivität des Bodens ist dabei die Dehydrogenaseaktivität im Boden (Golebiewska, 1979). Dehydrogenasen sind katalytisch an verschiedenen Redoxreaktionen beteiligt und ihre Aktivität spiegelt die Aktivität der gesamten Mikroorganismenpopulation wider. Die Dehydrogenaseaktivität ist in der Regel mit dem organischen Kohlenstoff- und dem Gesamtstickstoffgehalt im Boden korreliert. Nur in wenigen Arbeiten (z. B. Galstian, 1963) wurde eine direkte Beziehung zwischen der biologischen Bodenaktivität und dem Pflanzenertrag gefunden. So fand z. B. Galstian (1963) eine Korrelation zwischen der Amylaseaktivität im Boden und dem Ertrag von Weizen und Maliszewska (1969) zwischen den biologischen Eigenschaften verschiedener Böden und dem Ertrag von Senf. Somit sind die genauen Zusammenhänge zwischen der mikrobiellen Aktivität im Boden, dem Einfluss von Bodenbearbeitung und Unkrautkontrolle auf die mikrobielle Aktivität sowie auf den Ertrag von Kulturpflanzen noch weitestgehend ungeklärt.

Ziel dieser Arbeit war es daher, den Einfluss verschiedener Methoden der Bodenbearbeitung und der Unkrautkontrolle auf die mikrobielle Aktivität im Boden und den Ertrag von Kartoffeln zu untersuchen.

## 2 Material und Methoden

Die Experimente wurden 1999 und 2000 nach der Teilflächenmethode (Tretowski, Wojcik, 1998) mit vierfacher Wiederholung in Malice bei Zamosc (Polen) auf einer sandigen Braunerde durchgeführt. In Tabelle 1 sind die wichtigsten Bodeneigenschaften sowie Untersuchungsmethoden zusammengefasst.

Auf insgesamt 36 Parzellen von je 30 m<sup>2</sup> wurden Kartoffeln der Sorte "Mila" gepflanzt. Vorfrucht war Sommer-Triticale der Sorte "Migo". Das Experiment umfasste die Faktoren "Methoden der Bodenbearbeitung" und "Methoden der Unkrautkontrolle".

Faktor I – Methoden der Bodenbearbeitung nach Ernte der Sommertritikale:

- Konventionelle Bodenbearbeitung (KBB) – Unterpflügen (10 cm) von 30 t Rinderdung pro Hektar, anschließend eggen. Später im Herbst wurde erneut gepflügt (25 cm tief).
- Herbstwallbereitung (HWB) – Unterpflügen (10 cm) von 30 t Rinderdung pro Hektar, anschließend eggen. Im Herbst wurden 20-25 cm hohe Wälle angepflügt.
- Reduzierte Bodenbearbeitung (RBB) – Unterpflügen (10 cm) von 30 t Rinderdung pro Hektar, anschließend eggen.

Tabelle 1:  
Bodeneigenschaften und Untersuchungsmethoden des Versuchsbodens in Malice (Polen)

Untersuchungsparameter	Meßwert	Methode
Körnung [%]		
Sand	58	
Schluff	29	
Ton	13	Mocek et al., 1997
Bodendichte [ $\text{mg m}^{-3}$ ]	1,38	Kopecky-Zylinder Methode (Mocek et al., 1997)
Porosität [%]	47,5	Mocek et al., 1997
Verfügbares Haftwasser ( $\text{pF} = 2$ ) [%]	10,6	Mocek et al., 1997
Porenverteilung [%]		
Grobporen ( $\text{Ø} > 30 \mu\text{m}$ ; $\text{pF}$ -Wert = 0)	18,2	Mocek et al., 1997
Mittelporen ( $\text{Ø} 30\text{-}0,2 \mu\text{m}$ ; $\text{pF} = 2$ )	17,1	Mocek et al., 1997
Feinporen ( $\text{Ø} < 0,2 \mu\text{m}$ ; $\text{pF} = 4,2$ )	2,4	Mocek et al., 1997
Bodenverdichtung [ $\text{hPa}$ ]	334	Mocek et al., 1997
pH-Wert (in $1 \text{ mol dm}^{-3}$ KCL)	5,6	Elektrometrisch (Ostrowska et al., 1991)
Organischer C-Gehalt [ $\text{g kg}^{-1}$ ]	10,4	Tiurin – Methode, Oxidation mit $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (Tiurin, 1951)
Gesamtstickstoff [ $\text{g kg}^{-1}$ pt]	1,04	nach Kjeldahl (Ostrowska et al., 1991)
Verfügbare Phosphor [ $\text{mg kg}^{-1}$ ]	72,6	Vanadium-Molybden-Methode nach Egner-Riehm (Ostrowska et al., 1991)
Verfügbares Kalium [ $\text{mg kg}^{-1}$ ]	63,1	siehe Phosphor
Verfügbares Magnesium [ $\text{mg kg}^{-1}$ ]	37,0	nach Schachtschabel (Ostrowska et al., 1991)
Kationenaustauschkapazität des Bodens [ $\text{mmol kg}^{-1}$ ]	37,8	Mocek et al., 1997

#### Faktor II – Methoden der Unkrautkontrolle:

- Mechanische Unkrautkontrolle (MUK) – Eggen mit leichter Frühjahrsegge bis zum Erscheinen der ersten Pflanzen, nach dem Keimen jäten und anhäufeln, bis die Furchen sich schließen.
- Mechanisch-chemische Unkrautkontrolle (MCK) – mechanische Behandlung vom Pflanzen der Kartoffeln bis zum Keimen: eggen mit leichtem Jätewerkzeug, jäten und anhäufeln. Kurze Zeit nach dem Keimen Applikation des Herbizids “Sencor 70 WP®” (Wirkstoff: Metribuzin) in einer Dosis von  $0,5 \text{ l ha}^{-1}$ , ohne weitere Behandlung.
- Chemische Unkrautkontrolle (CUK) - nach dem Pflanzen: Applikation von “Afalon 50 EC®” (Wirkstoff: Linuron) in einer Dosis von  $1,5 \text{ l ha}^{-1}$ , nach dem Keimen Applikation von “Sencor 70 WP®” (Wirkstoff: Metribuzin) in einer Dosis von  $0,5 \text{ l ha}^{-1}$ .

Eine Minereraldüngung erfolgte mit  $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ ,  $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$  und  $180 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ . Es wurden 44.000 Knollen pro ha mit einem Reihenabstand von 67,5 cm gepflanzt. Krankheiten und Schädlinge wurden nach ihrem Auftreten praxisüblich chemisch behandelt. Zur Ertragsermittlung wurde eine Teilfläche von  $19,5 \text{ m}^2$  beerntet.

Die Gesamtniederschlagsmenge lag während der Vegetationsperiode (April-September) 1999 und 2000 um 29,0 bzw. 77,5 mm höher als das langjährige Mittel von 386 mm. Die Summen der Lufttemperaturen waren gegenüber dem langjährigen Mittel ( $2544 \text{ }^\circ\text{C}$ ) um  $296 \text{ }^\circ\text{C}$  (1999) und  $332 \text{ }^\circ\text{C}$  (2000) ebenfalls deutlich erhöht.

Für die bodenmikrobiologischen Untersuchungen wurden in den Jahren 1999 und 2000 zu drei Terminen (nach

dem Pflanzen der Kartoffeln, zur Blüte, vor der Ernte) Oberbodenproben (0-15 cm) aus jeder Teilfläche gezogen. Die Proben wurden bis zur Untersuchung bei  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  in PE-Beuteln im Kühlschrank gelagert. Die mikrobiellen Besiedelungsdichten des Bodens wurden mit der Agar-Plattenmethode für wachstumsfähige Mikroorganismen ermittelt (Dunger, Fiedler, 1997) und als „Zellzahl“ auf 1 g Trockensubstanz des Bodens bezogen angegeben (Zellzahl  $\text{g TS}^{-1}$ ). Folgende mikrobiologische Parameter wurden untersucht:

- Zellzahl  $\text{g TS}^{-1}$  der Bakterien (B) im wässrigen Bodenextrakt (35 %er Bodenextrakt) (mit 0,05 %  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , 0,1 % Glukose, 1,5 % Agar,  $\text{pH} = 7$ ). Die Verdünnung des Bodenextraktes betrug  $10^{-5}$  bzw.  $10^{-6}$ ,
- Zellzahl  $\text{g TS}^{-1}$  der Aktinomyzeten (A) im Bodenextrakt (mit 0,2 %  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , 0,1 %  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , 0,1 %  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 0,1 % NaCl, 0,3 %  $\text{CaCO}_3$ , 1 % Glukose, 2 % Agar,  $\text{pH} = 6,7$ ). Die Verdünnung des Bodenextraktes betrug  $10^{-5}$  bzw.  $10^{-6}$ ,
- Zellzahl  $\text{g TS}^{-1}$  der Pilze (P) im Bodenextrakt nach Martin (1950) (0,5 % Pepton, 1 % Glukose, Mineralsalze, Antibiotika: 0,2 % Chlortetracyclin und 0,003 % Streptomycin, 0,033 % Bengalrosa,  $\text{pH} = 5,5$ ). Die Verdünnung des Bodenextraktes betrug  $10^{-3}$  bzw.  $10^{-4}$ ,
- Dehydrogenaseaktivität nach Thalmann (1968) (Puffer: 1,21 % Trishydroxymethylaminomethan,  $\text{pH} = 7,6$ , Substratlösung: 2 % Tetrazoliumchlorid (TTC) gelöst in Puffer, 5,0 g naturfeuchten Boden 24 Stunden bei  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  mit 5 ml Substratlösung inkubieren, Bestimmung des freigesetzten Tetraphenylformazan (TPF) im Extrakt mit 25 ml Aceton photometrisch bei 546 nm). Das Ergebnis wird angegeben in  $\mu\text{g TPF g TS}^{-1} \text{ d}^{-1}$ .

Auf Grundlage der bodenkundlichen und bodenmikrobiologischen Analysen wurde der sogenannte „Biologische Indikator der Bodenfruchtbarkeit“ (BIB) nach Myskow et al. (1996) wie folgt berechnet:

$$BIB = \sqrt{M^2 + C^2 + T^2} \cdot 100$$

M = Zellzahl der Bakterien und Aktinomyzeten oder das Verhältnis von Bakterien und Aktinomyzeten zu Pilzen [ $10^3 \text{ g TS}^{-1} \text{ Boden}$ ] oder die Dehydrogenaseaktivität [ $\mu\text{g TPF g TS}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ],

C = Gehalt an organischem Kohlenstoff im Boden [ $\text{g kg}^{-1}$ ],

T = Kationenaustauschkapazität des Bodens [ $\text{mmol kg}^{-1}$ ].

Da die Werte für M, C und T in unterschiedlichen und nicht vergleichbaren Einheiten vorliegen (siehe oben), wurden die Werte gemäß Myskow et al. (1996) gewichtet und normiert (0 - 1). Diese Werte wurden dann zur Berechnung des biologischen Indikators für die Bodenfruchtbarkeit (BIB) verwendet.

Mittelwerte wurden statistisch mit dem Tukey-Test (Signifikanzniveau  $\alpha = 5 \%$ ) geprüft (Tretowski, Wojcik, 1998).

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Die Untersuchungen zur Mikroflora des Bodens haben ergeben, dass weder die unterschiedlichen Methoden der Bodenbearbeitung noch die Art der Unkrautkontrolle einen signifikanten Einfluss auf die Zellzahlen der Mikroorganismen im Oberboden hatten. Tendenziell lässt sich jedoch erkennen, dass bei Anbau mit Herbstwällen und reduzierter Bodenbearbeitung der Anteil an Bakterien um  $531 \cdot 10^{-3} \text{ g TS}^{-1}$  (14 %) bzw.  $754 \cdot 10^{-3} \text{ g TS}^{-1}$  (19 %) höher lag als bei konventioneller Bodenbearbeitung (Abbildung 1). Die Zellzahlen  $\text{g TS}^{-1}$  der Bakterien lagen zudem bei chemischer Unkrautkontrolle im Durchschnitt um  $420 \cdot 10^{-3} \text{ g TS}^{-1}$  (10 %) höher als bei mechanischer oder mechanisch-chemischer. Die höchste Zahl an Bodenbakterien ( $5145 \cdot 10^{-3} \text{ g TS}^{-1}$ ) wurde bei Kombination von Herbstwallbereitung in Verbindung mit chemischer Unkrautkontrolle festgestellt, wohingegen nur noch 73 % ( $3793 \cdot 10^{-3} \text{ g TS}^{-1}$ ) bei der Kombination von konventioneller Bodenbearbeitung und mechanisch-chemischer Unkrautkontrolle auftraten.

Die höchste Zellzahl an Aktinomyzeten wurde bei reduzierter Bodenbearbeitung gefunden; die anderen beiden Methoden der Bodenbearbeitung (KBB und HWB) wiesen durchschnittlich um 18 % geringere Gehalte auf.

Von den Methoden zur Unkrautkontrolle wies die mechanische die höchsten Gehalte an Aktinomyzeten auf und bei chemischer oder mechanisch-chemischer

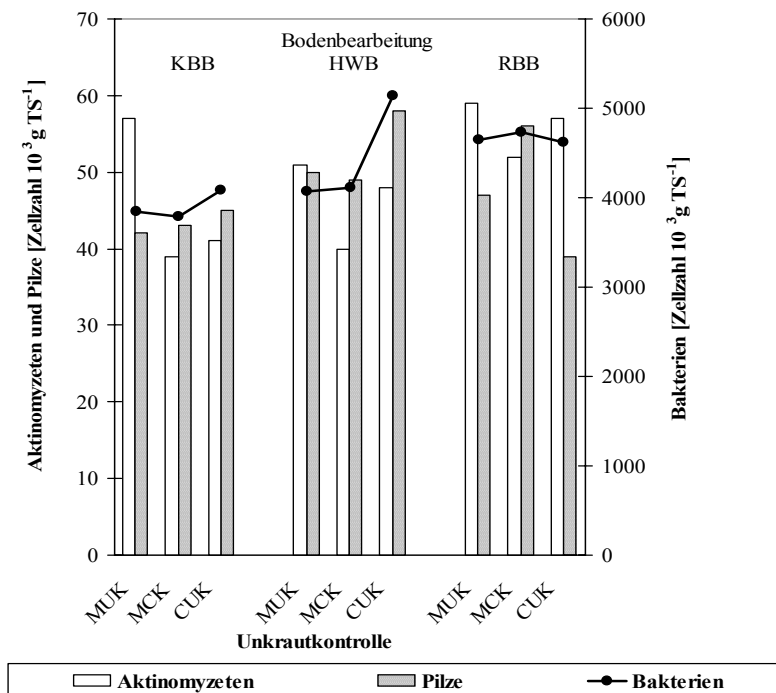


Abb. 1: Mikrobielle Zellzahlen im Oberboden (0-15 cm); Mittelwerte der 3 Beprobungstermine

Unkrautkontrolle waren die Gehalte um  $7 \cdot 10^{-3} \text{ g TS}^{-1}$  (13 %) bzw.  $12 \cdot 10^{-3} \text{ g TS}^{-1}$  (21 %) reduziert (Abbildung 1). Bei zusätzlicher Berücksichtigung der Bodenbearbeitung wurde die höchste Zellzahl an Aktinomyzeten bei der Kombination von reduzierter Bodenbearbeitung mit mechanischer Unkrautkontrolle festgestellt und der niedrigste Wert (66 % vom Maximalwert) bei Kombination von konventioneller Bodenbearbeitung mit mechanisch-chemischer Unkrautkontrolle (Abbildung 1). Für das Wachstum der Bodenpilze erwies sich der Anbau mit Herbstwällen als vorteilhaft. In Kombination mit der Unkrautkontrolle fand sich die höchste Zellzahl an Bodenpilzen bei Herbstwallbereitung in Verbindung mit chemischer Unkrautkontrolle und am deutlichsten reduziert, und zwar um  $19 \cdot 10^{-3} \text{ g TS}^{-1}$  (33 %), war die Zellzahl an Pilzen bei reduzierter Bodenbearbeitung mit chemischer Unkrautkontrolle.

Dies scheint aus pflanzenbaulicher Sicht vorteilhaft, weil eine stärkere Entwicklung von Bodenpilzen in sauren Böden eine ungünstige Erscheinung darstellt, z. B. im Hinblick auf die oftmals höhere Freisetzung von Toxinen im Boden (Smyk, 1974). Auch Myskow et al. (1996) fanden in ihren Experimenten unter sauren Bodenbedingungen eine verstärkte Entwicklung von Pilzen und sie beschreiben das Verhältnis von Bakterien (zusammen mit Aktinomyzeten) zu Pilzen als eine gute Kennziffer, um die Zusammensetzung der Bodenmikroflora zu charakterisieren.

Die Korrelationsanalyse ergab, dass die Zellzahlen an Bakterien und Pilzen der hier vorgestellten Untersuchung positiv korreliert waren ( $r = 0,6008$ ). Auch zwischen dem Anteil an Bakterien und Aktinomyzeten bestand eine signifikante positive Korrelation ( $r = 0,3719$ ).

Tabelle 2:

Einfluss von Bodenbearbeitung und Unkrautkontrolle auf den Ertrag von Kartoffeln, die Dehydrogenaseaktivität (D), den pH-Wert, den Gehalt an organischer Substanz sowie die Kationenaustauschkapazität des Bodens (T) des Bodens (Mittelwerte aus den Jahren 1999 und 2000)

Parameter	Unkrautkontrolle	Bodenbearbeitung			Mittel	P ≤ 0,05
		KBB	HWB	RBB		
Kartoffelertrag	MUK	25,8	26,6	20,5	24,3	0,75
	MCK	26,4	26,8	21,8	25,0	
	CUK	24,6	24,1	21,0	23,2	
	<b>Mittel</b>	<b>25,6</b>	<b>25,8</b>	<b>21,1</b>	<b>24,2</b>	
		P ≤ 0,05			0,75	
D	MUK	1,59	2,80	1,70	2,03	0,25
	MCK	0,77	0,90	1,42	1,03	
	CUK	0,50	0,54	0,79	0,61	
	<b>Mittel</b>	<b>0,95</b>	<b>1,41</b>	<b>1,30</b>	<b>1,22</b>	
		P ≤ 0,05			0,25	
pH <sub>KCl</sub>	MUK	6,1	6,0	5,9	6,0	Nicht signifikant
	MCK	6,0	5,9	5,8	5,9	
	CUK	5,9	5,9	5,8	5,9	
	<b>Mittel</b>	<b>6,0</b>	<b>5,9</b>	<b>5,8</b>	<b>5,9</b>	
		P ≤ 0,05			Nicht signifikant	
C <sub>org</sub>	MUK	9,7	9,6	9,4	9,6	0,2
	MCK	9,8	9,7	9,3	9,6	
	CUK	10,2	9,4	10,1	9,9	
	<b>Mittel</b>	<b>9,9</b>	<b>9,6</b>	<b>9,6</b>	<b>9,7</b>	
		P ≤ 0,05			0,2	
T	MUK	38,4*	34,4	34,9	35,9	1,5
	MCK	37,5	45,4	39,2	40,7	
	CUK	38,6	36,1	35,4	36,7	
	<b>Mittel</b>	<b>38,2</b>	<b>38,6</b>	<b>36,5</b>	<b>37,8</b>	
		P ≤ 0,05			Nicht signifikant	

KBB = konventionelle Bodenbearbeitung, HWB = Herbstwallbereitung, RBB = reduzierte Bodenbearbeitung, MUK = mechanische Unkrautkontrolle, MCK = mechanisch-chemische Unkrautkontrolle, CUK = chemische Unkrautkontrolle. Ertrag der Kartoffelknollen in  $\text{t ha}^{-1}$ ; Dehydrogenaseaktivität in  $\mu\text{g TPF g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ; C<sub>org</sub> in  $\text{g kg}^{-1}$ ; Kationenaustauschkapazität des Bodens (T) in  $\text{mmol kg}^{-1}$ ; Signifikanzniveau (\*P ≤ 0,05) für die Interaktion zwischen Bodenbearbeitung und Unkrautkontrolle = 1,8

Die Dehydrogenasen werden mit Oxidasen, Reduktasen und Oxigenasen zu der Enzymhauptklasse der Oxidoreduktasen zusammengefasst. Sie stellen die größte Gruppe aller Enzyme dar (Karlson, 1988). Dehydrogenasen katalysieren die Oxidation bzw. Dehydrogenierung organischer Verbindungen, indem sie gleichzeitig mit der Übertragung von 2 Elektronen 2 Wasserstoffatome vom Substrat abspalten und sie auf Co-Enzyme (NAD<sup>+</sup> oder NADP<sup>+</sup>) übertragen. Da viele spezifische Dehydrogenasen an der biologischen Substratoxidation beteiligt sind, wird die Summe ihrer Aktivität häufig als Indikator biologischer Redoxprozesse sowie als Maß für die Intensität mikrobieller Stoffumsetzungen im Boden angesehen (Dunger, Fiedler, 1997).

Eine erhöhte Dehydrogenaseaktivität fand sich bei Herbstwallbereitung und reduzierter Bodenbearbeitung, während bei konventioneller Bodenbearbeitung die Werte ca. um 30 % reduziert waren (Tabelle 2). Außerdem zeigte sich bei mechanischer Unkrautkontrolle die höchste Dehydrogenaseaktivität, die bei mechanisch-chemischer Unkrautkontrolle im Mittel um 49 % und bei rein chemischer Behandlung sogar um 70 % nachließ. Obwohl also die Bodenbearbeitung und die Unkrautkontrolle keinen signifikanten Einfluss auf die Zellzahlen der Bakterien, Aktinomyzeten und Pilze hatte, zeigte sich eine klare Differenzierung, wenn man die Aktivität der Dehydrogenase betrachtet. Die Herbstwallbereitung in Kombination mit mechanischer Unkrautkontrolle scheint somit am günstigsten hinsichtlich der Aktivität der Bodenmikroorganismen zu sein.

Die Methoden der Bodenbearbeitung und Unkrautkontrolle hatten in dem kurzen Versuchszeitraum auf den pH Wert keinen signifikanten Einfluss und auch auf den Gehalt an organischer Substanz nur einen geringen (Tabelle 2). Der höchste Gehalt an organischer Substanz wurde bei konventioneller Bodenbearbeitung in Verbindung mit chemischer Unkrautkontrolle festgestellt, während die Gehalte in den anderen Varianten ca. um 3 % geringer waren.

Die Kationenaustauschkapazität des Bodens war am höchsten bei mechanisch-chemischer Unkrautkontrolle und sank im Mittel bei mechanischer und chemischer Unkrautkontrolle um 11 %. Die verschiedenen Methoden der Bodenbearbeitung beeinflussten hingegen die Kationenaustauschkapazität des Bodens nicht (Tabelle 2).

In Tabelle 3 ist der „Biologische Indikator für die Bodenfruchtbarkeit (BIB)“ dargestellt, und es ergaben sich unterschiedliche Werte, je nachdem, welche Fraktion als Parameter der biologischen Aktivität des Boden (M) in die Gleichung eingesetzt wurde:

- war M gleich die Zellzahlen an Bakterien und Aktinomyzeten, so betrug BIB durchschnittlich 11,3;
- war M gleich die Zellzahlen an Bakterien und Aktinomyzeten geteilt durch den Anteil an Pilzen, so ergab sich für BIB im Mittel ein Wert von 10,5;
- war M gleich der Aktivität der Dehydrogenase, so ergab sich ein mittlerer BIB-Wert von 10,5.

Myskow et al. (1996) haben beobachtet, dass sich die höchsten Werte für den Indikator BIB ergaben, wenn die Summe der Zellzahlen von Bakterien und Aktinomyzeten zur Berechnung des BIB eingesetzt wurde. Die niedrig-

Tabelle 3:  
"BIB" (Biologischer Indikator der Bodenfruchtbarkeit) (berechnet nach Myskow et al., 1996)

Variable	Unkrautkontrolle	KBB	HWB	RBB	Mittel
M = B + A	MUK	11,1	11,0	11,1	11,1
	MCK	11,1	11,4	11,2	11,2
	CUK	11,7	11,3	11,7	11,6
	Mittel	11,3	11,3	11,3	11,3
M = B + A/P	P ≤ 0,05	Nicht signifikant			
	MUK	10,5	10,2	10,1	10,3
	MCK	10,5	10,7	10,1	10,5
	CUK	11,0	10,1	10,8	10,6
	Mittel	10,6	10,4	10,3	10,5
M = D	P ≤ 0,05	Nicht signifikant			
	MUK	10,5	10,6	10,2	10,4
	MCK	10,5	10,7	10,2	10,5
	CUK	10,9	10,1	10,7	10,6
	Mittel	10,6	10,5	10,3	10,5
	P ≤ 0,05	Nicht signifikant			

A = Aktinomyzeten, B = Bakterien, P = Pilze, D = Dehydrogenaseaktivität, M = Biologische Aktivität des Bodens

sten Werte ergaben sich, wenn die Zellzahlen an Bakterien und Aktinomyzeten durch den Anteil an Pilzen geteilt wurden. So zeigten z. B. Issa, Wood (1999), dass schon kleinste Mengen an Atrazin im Boden die mikrobielle Aktivität hemmten und zu einer Degradation der mikrobiellen Gemeinschaft führten. Der Anteil an Mikroorganismen war jedoch umso höher, je mehr organische Substanz zur Verfügung stand und die Aktivität der Mikroflora hatte einen großen Einfluss auf den Abbau des Atrazins.

Die niedrigsten Werte für den Faktor der Bodenfruchtbarkeit BIB finden sich nach Myskow et al. (1996) bei ausschließlich mineralischer Düngung. Entgegengesetzte Ergebnisse erzielten Vetanovetz und Peterson (1992). Sie beobachteten eine Erhöhung der Population von Bakterien, Aktinomyzeten und Pilzen bei Düngung mit mineralischem Stickstoff. Sie führten dies auf eine verbesserte Bodenstruktur zurück. Bei Myskow et al. (1996) lagen die BIB-Werte auf leichten Böden mit organischer Düngung zwischen 15 und 20, während leichte, saure Böden nur einen BIB-Wert von 5-6 ergaben. In dem hier dargestellten Experiment lagen die BIB-Werte zwischen 10 und 11, was vergleichbar erscheint, da der Untersuchungsstandort ein leichter Boden war, dessen Reaktion leicht sauer war und der eine organische Düngung erhalten hatte.

Im Hinblick auf den Ertrag an Kartoffelknollen wurden die höchsten Erträge bei Herbstwallbereitung und konventioneller Bodenbearbeitung erzielt. Bei reduzierter Bodenbearbeitung (RBB) waren die Erträge durchschnittlich um 18 % geringer (Tabelle 2). Auch die Methode der Unkrautkontrolle hatte einen Einfluss auf den Kartoffelertrag. Die höchsten Erträge ergaben sich bei mechanisch-chemischer Unkrautkontrolle, während die mechanische und die chemische Unkrautkontrolle den Ertrag im Mittel um 6 % senkten. Die statistische Analyse ergab, dass der Ertrag negativ mit der Zellzahl der Bakterien im Boden ( $r = -0,6904$ ) und auch mit der Zellzahl der Aktinomyzeten ( $r = -0,6509$ ) korreliert war.

Zwischen dem Ertrag und der Menge an Pilzen im Boden und dem biologischen Indikator der Bodenfruchtbarkeit ergaben sich in der vorliegenden Untersuchung keine Beziehungen.

## Literatur

- Darwin C (1881) The formation of vegetable mould, through the action of worms with observations on their habits. London : Murray, 326 pp
- Dunger W (ed) (1997) Methoden der Bodenbiologie. Jena u.a. : Fischer, 539 pp, ISBN 3-437-35050-1
- Galstian AS (1963) Kocenke stiepieni plodorodija poczvy fermentativnymi reakcijami. Mikroorganizmy w sielskom chazajstvie. Izd MGU; 327-335
- Golebiewska J (1979) Mikrobiologia rolnicza. PWRiL; 166-251
- Haug G, Schuhmann G, Fischbeck G (1990) Pflanzenproduktion im Wandel : neue Aspekte in den Agrarwissenschaften. Weinheim u. a. : Verl. Chemie, p 167-190, ISBN 3-527-26316-0
- Issa S, Wood M (1999) Degradation of atrazine and isoproturon in the unsaturated zone : a study from Southern England. *Pest Sci* 55(5):539-545
- Karlson P (1988) Kurzes Lehrbuch der Biochemie für Mediziner und Naturwissenschaftler. Stuttgart : Thieme, ISBN 3-13-357813-8
- Maliszewska W (1969) Comparison of the biological activity of different soil types. *Agrokem Talajtan* 18:76-82
- Martin JP (1950) Use of acid bengal rose and streptomycin in the plate method for estimating soil fungi. *Soil Sci* 69:215-232
- Mocek A, Drzymala S, Maszner P (1997) Geneza, analiza i klasyfikacja gleb. Wydawnictwa AR Poznan. 445 p
- Myskow W, Stachyra A, Zieba S, Masiak D (1996) Aktywnosc biologiczna gleby jako wskaznik jej zyznosci i urodzajnosci. *Rocz Glebozn* 47(1-2): 89-99
- Ostrowska A, Gawlinski S, Szczubialka Z (1991) Metody analizy i oceny wlasciwosci gleb i roslin. Katalog Instytutu Ochrony Srodowiska. Warszawa, p 9-333
- Roszak W (1997) Ogolna uprawa roli i roslin. Wyd PWN Warszawa. p 228-230
- Smyk B (1974) Biologically active toxic substances of fungal origin and their influence upon the soil habitat. *Rocz Glebozn* 25:91-100
- Swaby RJ (1949) The relationship between micro-organisms and soil aggregation. *J Gen Microbiol* 3:236-254
- Thalman A (1968) Zur Methodik der Bestimmung der Dehydrogenaseaktivität im Boden mittels Triphenyltetrazoliumchlorid (TTC). *Landwirtsch Forsch* 21:249-258
- Tiurin IV (1951) K metodike analiza dla spravnitelnogo iznaczenija sostava poczvennogo gumusa. *Trudy Poczvn NS SSSR* 38, 5
- Tretowski JJ, Wojcik AR (1998) Metodyka doswiadczen rolnicznych. WSR.-P Siedlce, 538 p
- Vetanovetz R, Peterson J (1992) Effect of carbon source and nitrogen on urease activity in a sphagnum peat medium. *Comm Soil Sci Plant Anal* 23:379-388