

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für Unkrautforschung, Messeweg 11/12, D-3300 Braunschweig

Einfluß kurzfristiger Lagerung von Bodenproben auf die Anwendbarkeit von Kurzzeit-Atmungsmessungen für Herbizid-Nebenwirkungsuntersuchungen

Influence of a short period of storage of soil samples on the applicability of short-term respiration determinations to side-effect tests of herbicides

Von H.-P. Malkomes

Zusammenfassung

An zwei Böden wurden bis zu 48stündige Atmungsmessungen unter Glucosezusatz 10 Tage, 4 und 8 Wochen nach einer Laborbehandlung mit den Herbiziden „Aretit flüssig“ (Dinoseb-acetat) und „Tribunil“ (Methabenzthiazuron) durchgeführt. Der Boden wurde entweder unmittelbar nach der Probenahme oder nach dreitägiger Kühllagerung (+4 °C) mit anschließenden verschiedenen langen Aufwärmzeiten (2 h, 2 d) untersucht, um Einflüsse auf den Atmungsverlauf und dessen Beeinflussung durch die Herbizide zu erfassen. Beides wurde im tonigen Lehmboden gar nicht, im lehmigen Sandboden nur zu Versuchsbeginn durch die Lagerung geringfügig modifiziert. Dies bedeutet, daß bei solchen Nebenwirkungsversuchen mit Herbiziden der Versuchsumfang ohne Informationsverlust so groß gewählt werden kann, wie es eine etwa einwöchige Verarbeitungsperiode mit Zwischenlagerung erlaubt. Das Herbizid Aretit verursachte im lehmigen Sandboden starke, im tonigen Lehmboden weniger ausgeprägte Hemmwirkungen bei der Atmung. Tribunil wirkte dagegen nur relativ schwach.

Abstract

Short-term respiration (up to 48 hrs after glucose amendment) was determined in 2 soils 10 days, 4 and 8 weeks after the application of the herbicides "Aretit flüssig" (dinoseb acetate) and "Tribunil" (methabenzthiazuron) in the laboratory. Carbon dioxide production was recorded immediately after taking soil samples or after storage for 3 days at +4 °C followed by an adaptation period of 2 hrs or 2 days to study its effects on soil respiration itself and on the herbicidal influences to soil respiration. In the clay loam storage had no influence on soil respiration and on the herbicidal effects, whereas in the loamy sand little changes occurred 10 days after herbicide treatment. Therefore it seems to be acceptable for respiration studies within side-effect trials to use greater series, because soil samples can be investigated within one week without serious losses of information, using short-term storage followed by a short adaptation period. The herbicide "Aretit" inhibited short-term respiration in the loamy sand stronger than in the clay loam. The herbicide "Tribunil" only caused weak inhibitions.

Atmungsmessungen werden bereits seit Jahrzehnten eingesetzt, um die Wirkung von Pflanzenschutzmitteln auf Bodenmikroorganismen zu erfassen (DOMSCH, 1963). Allerdings

existieren verschiedene Methoden der Atmungsmessung, z. B. Kurzzeit-Atmungsmessungen für wenige Stunden nach Glucosezusatz oder mehrwöchige mehr oder weniger kontinuierliche Langzeit-Atmungsmessungen. Während die erste Methode Hinweise auf die mikrobielle Biomasse gibt (ANDERSON & DOMSCH, 1978), zeigt letztere den Kohlenstoff-Umsatz an. Auf ihre unterschiedliche Bewertung und Interpretation im Zusammenhang mit Nebenwirkungsuntersuchungen von Pflanzenschutzmitteln wurde bereits hingewiesen (MALKOMES, 1987).

Kurzzeit-Atmungsmessungen nach Glucosezufuhr eignen sich gut zur Erfassung von Pflanzenschutzmittel-Wirkungen auf die Bodenmikroflora, wenn einige Voraussetzungen (z. B. Glucosemenge, Meßzeit) berücksichtigt werden (MALKOMES, 1986). Bei größerem Versuchsumfang ist es indessen meistens unmöglich, alle zu einer bestimmten Zeit anfallenden Bodenproben gleichzeitig in einer Meßapparatur (z. B. mittels eines Infrarotgasanalysators) zu untersuchen. Die hieraus resultierende Spaltung der CO₂-Messung könnte jedoch die Vergleichbarkeit beeinträchtigen. Es galt daher hier, eine optimale Zwischenlagerungsmöglichkeit zu finden.

Für die nachfolgenden Laborversuche wurden zwei Herbizide ausgewählt: Während Dinoseb-acetat für seine potentiellen Nebenwirkungen auf Bodenmikroorganismen bekannt ist, wird Methabenzthiazuron nach den Literaturangaben als weniger wirksam eingestuft.

Material und Methoden

Für die Laborversuche wurden zwei Böden aus der Umgebung Braunschweigs verwendet, die aus der oberen 20-cm-Schicht ackerbaulich genutzter Flächen stammten und deren biologisches Verhalten weitgehend bekannt ist. Ihre Eigenschaften sind in Tabelle 1 dargestellt. Mindestens 14 Tage vor Versuchsbeginn wurden die auf 2,5 mm gesiebten Böden bei 18 bis 20 °C zur Anpassung an die Versuchsbedingungen feucht gelagert. Das Herbizid „Aretit flüssig“ (492 g Dinoseb-acetat pro Liter) wurde mit 4 l/ha und „Tribunil“ (70 % Methabenzthiazuron) mit 4 kg/ha eingesetzt. Die flächenbezogenen praxisüblichen Dosierungen wurden auf eine angenommene Eindringtiefe in den Boden von 5 cm umgerechnet (= 1×). Außerdem wurde zusätzlich die 10fache Dosis (= 10×) eingesetzt, wie sie

Tab. 1. Eigenschaften der Versuchsböden

Bezeichnung	Bodenart	Korngrößenverteilung (%)			C _{org} (%)	pH (in 0,1n KCl)	Dichte ¹⁾ (kg/dm ³)	WK _{max} (g/100 g Boden)
		Ton	Schluff	Sand				
BBA	lehmiger Sand	10,5	40,9	48,6	1,05	6,76	1,39	23,7
Sickte	toniger Lehm	25,9	50,3	23,8	2,6	7,23	1,38	42,0

WK_{max} = maximale Wasserkapazität

¹⁾ des trockenen Bodens

kurz nach einer Applikation in der obersten Bodenschicht (bis 0,5 cm) theoretisch möglich wäre.

Beide Herbizide wurden in wäßriger Lösung bzw. Suspension in den Böden eingemischt. Die auf 60 % ihrer maximalen Wasserkapazität eingestellten Böden wurden in 1-Liter-Plastikgefrierschalen gefüllt, die einen gewissen Luftaustausch erlaubten. Die anschließende Bebrütung erfolgte bei 20 °C im Brutschrank ohne Beleuchtung, wobei der Wassergehalt kontrolliert wurde. Es standen beim Kontrollboden drei, bei den Herbizidbehandlungen zwei Parallelproben zur Verfügung.

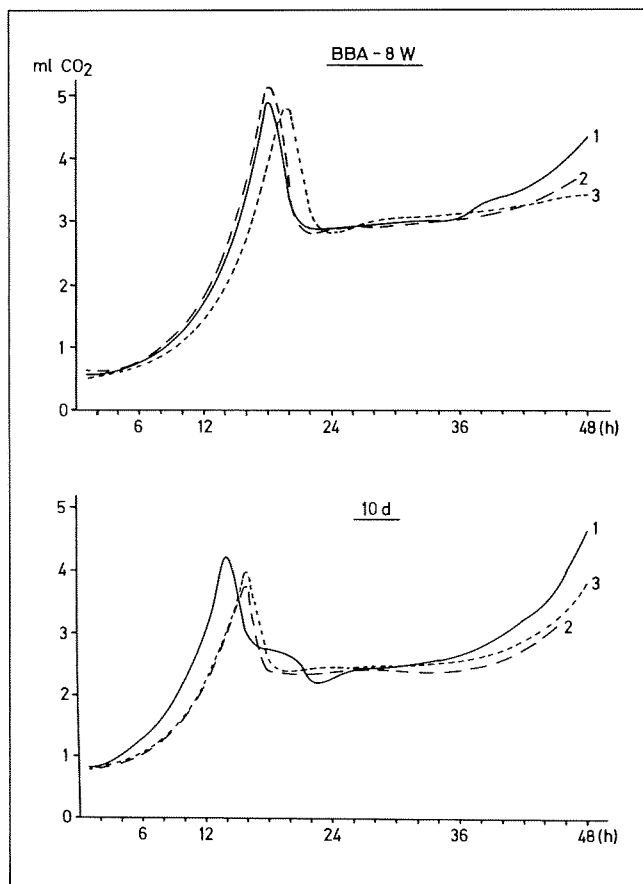
Nach 10 Tagen sowie nach 4 und 8 Wochen wurden Bodenproben entnommen und zur Messung der CO₂-Produktion mittels eines Infrarot-Gasanalytators (URAS 2T der Firma Hartmann & Braun, Frankfurt/Main) vorbereitet.

Abb. 1. Dynamik der CO₂-Bildung im lehmigen Sandboden (BBA) ohne Herbizidbehandlung, dessen Proben 10 Tage bzw. 8 Wochen nach Versuchsbeginn unterschiedlichen Zwischenlagerungen und Aufwärmzeiten unterworfen waren.

1 = Proben sofort gemessen

2 = Proben 3 Tage bei +4 °C gelagert, danach 2 Stunden Aufwärmzeit bei 20 °C

3 = Proben 3 Tage bei +4 °C gelagert, danach 2 Tage Aufwärmzeit bei 20 °C.



Um den Einfluß einer Zwischenlagerung bei 4 °C, in der sich der Boden möglichst wenig ändern soll, und der anschließenden Aufwärmperiode auf die Meßergebnisse zu erfassen, wurden die Bodenproben wie folgt aufgeteilt:

1. Sofort nach der Probenahme zu messende Proben
2. Kühlung (+4 °C) für drei Tage mit anschließender zweistündiger Aufwärmphase (20 °C)
3. Kühlung (+4 °C) für drei Tage mit anschließender zweitägiger Aufwärmphase (20 °C).

Alle Bodenproben (100 g Trockenmasse-Äquivalent) wurden direkt vor Beginn der CO₂-Messung – entsprechend früherer Erfahrungen (MALKOMES, 1986) – mit 1 g Glucose/100 g Boden versetzt und nach gründlichem Mischen in Glasrohre (24 cm Länge, 5 cm Ø) gefüllt, die mit dem Meßgerät verbunden waren und kontinuierlich mit 20 Litern CO₂-freier Luft durchströmt wurden. Die Luftfeuchtigkeit wurde bei Bedarf durch einen Meßgaskühler eliminiert. Die CO₂-Bildung wurde jeweils über eine 48stündige Meßphase verfolgt (= „Kurzzeit-Atmung“); für die Beurteilung der Herbizidwirkung dienten jedoch nur die ersten 6 bis 12 Stunden (MALKOMES, 1986).

Ergebnisse

1 Einfluß der Proben-Zwischenlagerung auf die Dynamik der CO₂-Bildung

Am Beispiel der nach 10 Tagen und 8 Wochen gewonnenen Proben wird der Einfluß der kühlen Zwischenlagerung auf den Kurvenverlauf der CO₂-Bildung dargestellt. Die CO₂-Bildung im lehmigen Sandboden (BBA) zeigte einen Verlauf, wie er nach einem Glucosezusatz anzutreffen ist (Abb. 1). Allerdings trat die Phase der maximalen Atmung (Peak-Phase) – vor allem beim ersten Probenahmetermin – sehr früh ein, wie es in diesem Boden meistens nur nach Zufuhr von Pflanzenmaterial (z. B. Luzernemehl) zu erwarten ist. Offensichtlich wurde dieses Verhalten hier begünstigt durch Gründüngungspflanzen auf der Bodenentnahmefläche. Die Peak-Phase trat beim letzten Probenahmetermin bereits später auf und war auch höher, was die vorherige Erklärung untermauert. Mit zunehmender Versuchszeit nahmen auch die Anfangswerte der CO₂-Bildung ab: In der ersten Meßstunde wurden von den nach 10 Tagen gewonnenen Proben 0,8 ml CO₂/h produziert, nach 8 Wochen nur noch knapp 0,6 ml.

Die Atmung der im frischen Zustand gemessenen Bodenproben war beim ersten Probenahmetermin in den ersten und letzten 12 Stunden der CO₂-Meßphase stärker als bei den einander ähnelnden beiden Kühlungslagerungsformen. Beim letzten Probenahmetermin unterschied sich die Atmung in der ersten 6stündigen Meßphase kaum zwischen den einzelnen Lagerungsvarianten. Danach trat bei der Variante „3 Tage Kühlung + 2 Tage Aufwärmzeit“ eine leicht verringerte Atmung mit etwas späterer Peak-Phase auf. Anschließend unterschieden sich die beiden Kühlungslagerungs-Varianten kaum noch. Nach 36 Stunden war allerdings die Atmung der „Frischproben“ stärker geworden.

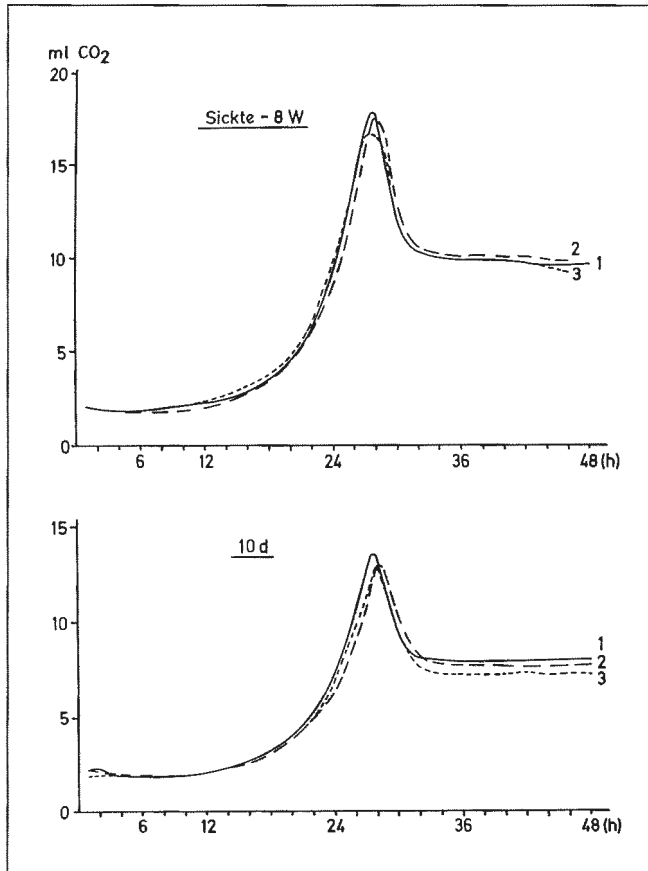


Abb. 2. Dynamik der CO₂-Bildung im tonigen Lehmboden (Sicke) ohne Herbizidbehandlung, dessen Proben 10 Tage bzw. 8 Wochen nach Versuchsbeginn unterschiedlichen Zwischenlagerungen und Aufwärmzeiten unterworfen waren. (Erklärungen siehe Abb. 1).

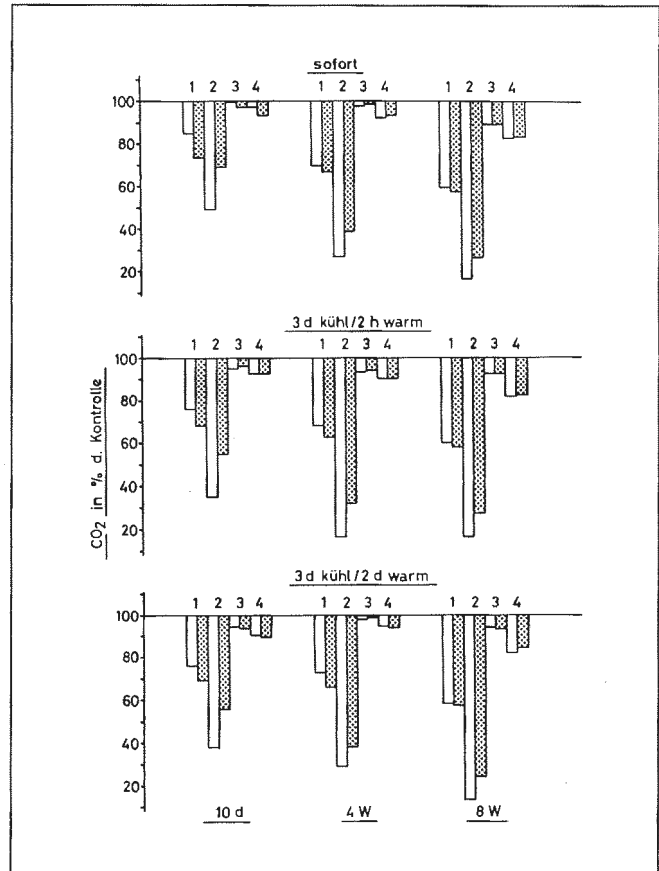


Abb. 3. Herbizideinfluß auf die Atmung des lehmigen Sandbodens (BBA) zu verschiedenen Probenahmeterminen und bei unterschiedlicher Zwischenlagerung und Meßzeit.

1 = Aretit 1×
2 = Aretit 10×
3 = Tribunil 1×
4 = Tribunil 10×

h = Stunden
d = Tage
W = Wochen
□ = 6 h Meßzeit
■ = 12 h Meßzeit

Der Kurvenverlauf im tonigen Lehmboden (Sicke) entsprach weitgehend dem von diesem Boden bereits bekannten Bild (Abb. 2). Die Phase mit relativ konstanter CO₂-Bildung hielt hier etwa 12 Stunden an. In der ersten Meßstunde wurden unabhängig vom Probenahmetermin 1,6 ml CO₂/h produziert. Bei den nach 10 Tagen gezogenen Proben unterschied sich die Atmung bis zur Peak-Phase kaum zwischen den Lagerungsvarianten, während danach die Werte der Frischproben geringfügig über denen der anderen Proben lagen. Beim letzten Probenahmetermin (8 W) kamen alle Peak-Phasen geringfügig später und waren höher. Es traten praktisch keine Unterschiede mehr zwischen den Lagerungsvarianten auf.

2 Einfluß der Probenlagerung auf die Herbizidwirkungen gegenüber der Bodenatmung

Als Indikator für die Herbizidwirkung auf bodenmikrobielle Aktivitäten wurde die Summe der in den ersten 6 bzw. 12 h gebildeten CO₂-Menge im Vergleich zum unbehandelten Kontrollboden angegeben. Die Berücksichtigung der in früheren Versuchen kaum ausgewerteten 6stündigen Meßphase erschien besonders beim BBA-Boden notwendig, weil hier die Peak-Phase sehr früh eintrat.

In Abbildung 3 ist die Wirkung der Herbizidbehandlungen auf die Atmung im lehmigen Sandboden (BBA) dargestellt.

Bei den im frischen Zustand gemessenen Bodenproben zeigten sich deutliche dosisabhängige Hemmwirkungen durch die Herbizide, die bei den späteren Probenahmeterminen noch verstärkt waren. Aretit hemmte bereits mit der einfachen Dosierung die Atmung zwischen etwa 10 und 40 %, mit der 10fachen Dosis sogar etwa 30 bis 80 %. Tribunil verursachte anfangs kaum eine Wirkung, während später etwa 10 % (bei 1×) bzw. 20 % Hemmungen (bei 10×) auftraten. Vor allem bei Aretit waren zum ersten Probenahmetermin die Hemmwirkungen unterschiedlich stark ausgeprägt, je nachdem die CO₂-Aufsummierung 6 oder 12 Stunden erfaßte, was indessen durch den raschen Anstieg der Peak-Phase begründet war. Kühlungslagerung der Bodenproben mit anschließender kurzer (2 h) Aufwärmphase zeigten nahezu gleiche Herbizidwirkungen wie die Messung an frischen Proben, doch schien das Ausmaß teilweise geringfügig verstärkt. Ähnliches trifft auch für die Kühlungslagerung mit längerer Aufwärmphase zu.

Die Herbizidwirkungen im tonigen Lehmboden unterscheiden sich deutlich von denen im vorigen Boden (Abb. 4). Bei frisch gemessenen Bodenproben verursachte nur Aretit mit der 10fachen Dosis deutliche Hemmwirkungen von 10 bis 50 %, während die anderen Herbizidwirkungen unbedeutend waren oder geringfügig stimulierten. Auch in diesem Boden trat eine Tendenz zur Verstärkung der Herbizidwirkungen mit zunehmender Versuchszeit auf. Die Unterschiede zwischen

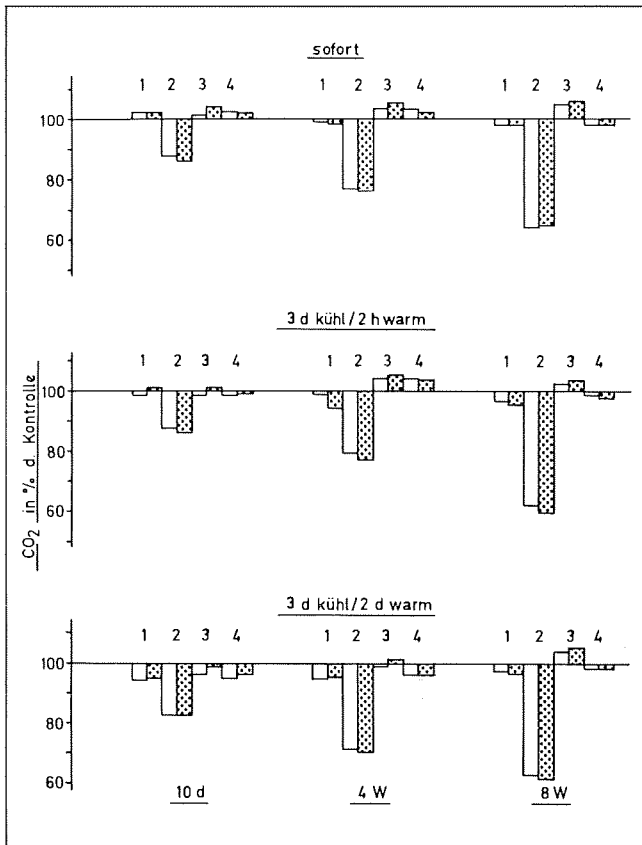


Abb. 4. Herbizideinfluß auf die Atmung des tonigen Lehm Bodens (Sickte) zu verschiedenen Probenahmetermen und bei unterschiedlicher Zwischenlagerung und Meßzeit. (Erklärungen siehe Abb. 3).

der 6- und 12stündigen Meßphase waren zu keiner Zeit sehr deutlich. Kühlagerung der Proben vor der CO_2 -Messung ergab – unabhängig von der Aufwärmphase – ähnliche Wirkungen, doch trat bereits bei der einfachen Aretit-Dosierung eine Tendenz zu Hemmwirkungen auf.

Diskussion

Ein optimaler Versuchsablauf sollte normalerweise so geplant sein, daß die für mikrobiologische Untersuchungen zu bestimmten Terminen anfallenden Bodenproben ohne Zeitverzögerung analysiert werden können. Dies wird aus Gründen der Arbeits- und Gerätekapazität in vielen Fällen kaum möglich sein. Kurzzeit-Atmungsmessungen erfolgen in unserem Labor für jeweils 2 Tage, was 3 Durchgänge pro Woche ermöglicht. Bei einer Gerätekapazität von derzeit 16 Meßstellen lassen sich somit bei 3 Parallelproben bis zu 5 Varianten gleichzeitig untersuchen, was für viele Versuche nicht ausreicht. Bei kurzfristiger Lagerungsmöglichkeit würde die Kapazität jedoch bis auf 15 Varianten pro Woche erweitert werden können. Voraussetzung der Nutzung dieser Möglichkeit ist jedoch, daß eine Zwischenlagerung weder die Atmung des Bodens selbst noch die Reaktion der Atmung auf Pflanzenschutzmittel oder Chemikalien wesentlich verändert.

Als geeignete Temperatur zur Lagerung von Bodenproben für mikrobiologische Untersuchungen hat sich oft $+4^\circ\text{C}$ erwiesen, so z. B. für die Amylase, Invertase, Protease und Urease, während offensichtlich die Dehydrogenase und Phosphatase hierbei weniger stabil sind (PANCHOLY & RICE, 1972; SPEIR & ROSS, 1975). Auch für Biomasse-Untersuchungen

scheint diese Lagerungstemperatur verwendbar zu sein (ROSS et al., 1980). Doch weisen bereits ROSS & MCNEILLY (1972) darauf hin, daß bei $+4^\circ\text{C}$ gelagerte Bodenproben eine weniger starke O_2 -Aufnahme aufwiesen als frische, wenn sie nicht mit Glucose versetzt wurden, während mit Glucosezusatz keine merklichen Unterschiede auftraten. Zwar erscheint eine verlustfreie Lagerung zum Teil auch bei -20°C möglich, doch würde dies für unsere Atmungsmessungen durch die dann in jedem Fall vor der Messung notwendige längere Auftau- und Adaptationsphase eine Erschwernis bedeuten und könnte eventuell bereits zu Veränderungen der Biomasse führen (TATE & JENKINSON, 1982). Leider sind aus der Literatur keine eindeutigen Angaben darüber bekannt, ob durch eine Lagerung bzw. Zwischenlagerung die Reaktion der Atmung (und anderer mikrobieller Aktivitäten) gegenüber Pflanzenschutzmitteln verändert wird.

Aus den vorliegenden Ergebnissen geht hervor, daß der Kurvenverlauf der Atmung des tonigen Lehm Bodens (Sickte) offensichtlich nicht wesentlich durch die Lagerungsvarianten beeinflusst wird. Im lehmigen Sandboden (BBA) verursachte die Lagerung der nach 8 Wochen gezogenen Bodenproben ebenfalls kaum Veränderungen, während bei den bereits nach 10 Tagen gewonnenen und frisch analysierten Proben die Atmung bereits in den ersten 6 Meßstunden einen relativ starken Anstieg aufwies, nicht jedoch bei den kühl gelagerten Proben. Dies bedeutet, daß bei derartigen frisch analysierten Bodenproben Herbizideffekte je nach Meßzeit unterschiedlich deutlich ausfallen können. Aufgrund der Ergebnisse erscheint hier die Zwischenlagerung sogar vorteilhafter, wie die Abbildung 3 bestätigt.

Das Ausmaß der Hemmwirkungen, vor allem der starken von Aretit ($1\times$ und $10\times$ im BBA-Boden, $10\times$ im Sickte-Boden), unterschied sich nur wenig zwischen den einzelnen Lagerungsvarianten. Mit zunehmender Versuchszeit verringerten sich außerdem die anfangs teilweise deutlichen Unterschiede der Herbizidwirkungen zwischen 6- und 12stündiger Meßzeit weitgehend.

Tribunil verursachte im lehmigen Sandboden (BBA) anfangs kaum Hemmwirkungen, während später bis etwa 10% ($1\times$) bzw. 20% ($10\times$) erreicht wurden. Im tonigen Lehm Boden (Sickte) konnte keine deutliche Wirkung beobachtet werden. In Feldversuchen konnte MALKOMES (1979) in einem vergleichbaren Boden ebenfalls eine leichte Hemmwirkung auf die Kurzzeit-Atmung feststellen. Die meisten Angaben in der Literatur über den Einfluß von Tribunil (Methabenzthiazuron) beziehen sich indessen auf andere Formen der Atmungsmessung (meistens >1 Woche Meßzeit, zum Teil nach einer Bodentrocknung). Die dort teilweise beobachteten Stimulationen bzw. nicht vorhandenen Effekte (REICHOVA, 1975; HICKISCH, 1981; MACHULLA, 1982; MÜLLER, 1982; MAILLARD et al., 1983; ALDAG et al., 1985; KUMAR et al., 1985) sind anders zu interpretieren, da diese Form der Atmung weniger ein Indikator für die Biomasse als vielmehr für Umsetzungen innerhalb des Kohlenstoff-Stoffwechsels ist (MALKOMES, 1987).

Die durch Aretit (Dinoseb-acetat) verursachten, besonders im lehmigen Sandboden (BBA) sehr starken Hemmwirkungen ($1\times$ bis 60%, $10\times$ bis 80%) bestätigen weitgehend die aus der Literatur bekannten Effekte des Herbizids gegenüber Bodenmikroorganismen und deren Aktivitäten (z. B. MALKOMES, 1980, 1985; WIEDEMANN, 1981; SCHRÖDER, 1984; AUSPURG, 1986).

In den vorliegenden Versuchen fällt auf, daß besonders das Ausmaß der starken Hemmwirkungen mit der Versuchszeit noch zunehmen kann. Dieser Effekt, der auch bei anderen

Herbiziden gefunden wurde (POSCHENRIEDER, 1978; SMITH & PUGH, 1979; MALKOMES, 1981), beruht möglicherweise auf deutlichen Veränderungen der mikrobiellen Biomasse. Er kann unter Laborbedingungen noch anhalten, wenn bereits ein weitgehender Herbizidabbau stattgefunden hat (MALKOMES & PESTEMER, 1984).

Aus den vorliegenden Versuchen ist zu schließen, daß es für die beiden untersuchten Böden weitgehend unwichtig ist, ob die Atmungsmessungen an frischen oder einige Tage bei + 4 °C zwischengelagerten Proben durchgeführt werden. Aus Gründen einer optimalen Nutzung der Arbeits- und Gerätekapazität sowie der Standardisierung erscheint daher im Rahmen der Nebenwirkungsuntersuchungen von Pflanzenschutzmitteln auf Bodenmikroorganismen die Atmungsmessung nach mehrtägiger Kühlung (+ 4 °C) und anschließender kurzer (2h) Aufwärmphase am geeignetsten.

Literatur

- ALDAG, R., B. MEYER, K. E. WEGENER, 1985: Einfluß von Herbiziden auf die N₂-Fixierung und Atmungsaktivität von Mikroorganismen in Ackerböden. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. **148**, 379–388.
- ANDERSON, J. P. E., K. H. DOMSCH, 1978: A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. Soil Biol. Biochem. **10**, 215–221.
- AUSPURG, B., 1986: Verhalten und Nebenwirkungen von Igran (Terbutryn) – allein und in einer Pflanzenschutzmittel-Spritzfolge – im Boden. Dissertation Univ. Göttingen, 122 S. + Anhang.
- DOMSCH, K. H., 1963: Bodenatmung – Sammelbericht über Methoden und Ergebnisse. Zbl. Bakter., 2. Abt. **116**, 33–78.
- HICKISCH, B., 1981: Nebenwirkungen von Agrochemikalien auf Bodenmikroorganismen. Wiss. Z. Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg, Math.-Nat. Reihe **30**, 127–132.
- KUMAR, K., J. S. KOLAR, S. C. BHANDARI, 1985: Effect of terbutryn, methabenzthiazuron and pendimethalin on soil microflora in Bengal gram (*Cicer arietinum* L.) and lentil (*Lens culinaris* Medic.). Abstr. Pap., Annu. Conf. Indian Soc. Weed Sci., 50; zit.: Weed Abstr. **35**, (1986) 1765.
- MACHULLA, G., 1982: Der Einfluß ein- und mehrmaliger Applikation von Herbiziden auf Bodenmikroorganismen in Modellversuchen. Diss. Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg, 94 S. + Anhang.
- MAILLARD, A., E. R. KELLER, W. JÄGGI, 1983: Erhaltung der Ertragsfähigkeit des Bodens auf lange Sicht unter dem Einfluß verschiedener Fruchtfolgen, Düngungs- und Unkrautbekämpfungsverfahren. II. Vergleich der Veränderungen von bodenbiologischen Merkmalen der Ertragsfähigkeit eines Bodens nach 5 Versuchsjahren. Schweiz. Landw. Forsch. **22**, 187–199.
- MALKOMES, H.-P., 1979: Verhalten der Bodenmikroflora nach Anwendung von 2 bei Winterweizen im Nachaufverfahren eingesetzten Herbiziden. Zbl. Bakter., 2. Abt. **134**, 573–586.
- MALKOMES, H.-P., 1980: Verhalten von bodenbiologischen Aktivitäten und Pflanzenwuchs bei Nachaufverfahren einer Herbizid-Tankmischung zu Wintergetreide. Z. Pflanzenkr. Pflanzensch. **87**, 621–630.
- MALKOMES, H.-P., 1981: Einfluß eines Zuckerrüben-Herbizids auf die Mikroflora verschiedener Böden im Laborversuch. I. Mikroorganismenpopulationen und Dehydrogenaseaktivität. Zbl. Bakter., 2. Abt. **136**, 451–460.
- MALKOMES, H.-P., 1985: Einfluß des Herbizids Dinoseb-acetat und dessen Kombination mit einem Phospholipid auf bodenbiologische Aktivitäten unter Labor- und Gewächshausbedingungen. Z. Pflanzenkr. Pflanzensch. **92**, 489–501.
- MALKOMES, H.-P., 1986: Einfluß der Glucosemenge auf die Reaktion der Kurzzeit-Atmung im Boden gegenüber Pflanzenschutzmitteln, dargestellt am Beispiel eines Herbizids. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzkd., Braunschweig **38**, 113–120.
- MALKOMES, H.-P., 1987: Comparison of 2 kinds of respiration measurements with one for the determination of dehydrogenase activity after soil application of herbicides under laboratory and field conditions. – Proc. Symp. „The side effects of pesticides on soil microflora“, Cambridge 1985 (im Druck).
- MALKOMES, H.-P., W. PESTEMER, 1984: Beeinflussung mikrobieller Aktivitäten und des Dinoseb-Abbaus im Boden durch ausgewählte Umweltchemikalien unter Freilandbedingungen. Z. Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz, Sonderh. **X**, 193–202.
- MÜLLER, G. jr., 1982: Beeinflussung der CO₂-Bildung im Boden durch Agrochemikalienanwendung. Zbl. Mikrobiol. **137**, 573–586.
- PANCHOLY, S. K., E. L. RICE, 1972: Effect of storage conditions on activity of urease, invertase, amylase, and dehydrogenase in soil. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. **36**, 536–537.
- POSCHENRIEDER, G., 1978: Untersuchungen über Interaktionen chemischer Pflanzenschutzmittel im Boden. Dissertation TU München, 84 S.
- REICHLOVA, E., 1975: (The effect of herbicides on some microbial processes in soil). Rostl. Vyroba **21**, 607–615 (in Tschech.).
- ROSS, D. J., B. A. MCNEILLY, 1972: Effects of storage on oxygen uptakes and dehydrogenase activities of beech forest litter and soil. New Zeal. J. Sci. **15**, 453–462.
- ROSS, D. J., K. R. TATE, A. CAIRNS, K. F. MEYRICK, 1980: Influence of storage on soil microbial biomass estimated by 3 biochemical procedures. Soil Biol. Biochem. **12**, 369–374.
- SCHRÖDER, M., 1984: Stickstoff-, Phosphor- und Kalium-Freisetzungen im Boden nach Schädigung der mikrobiellen Biomasse durch biozide Chemikalien. Dissertation Univ. Hannover, 163 S.
- SMITH, S. N., G. J. F. PUGH, 1979: Evaluation of dehydrogenase activity as a suitable indicator of soil microflora activity. Enzyme Microb. Technol. **1**, 279–281.
- SPEIR, T. W., D. J. ROSS, 1975: Effects of storage on the activities of protease, urease, phosphatase, and sulphatase in 3 soils under pasture. New Zeal. J. Sci. **18**, 231–237.
- TATE, K. R., D. S. JENKINSON, 1982: Adenosine triphosphate (ATP) and microbial biomass in soil: effects of storage at different temperatures and at different moisture levels. Commun. Soil Sci. Plant Anal. **13**, 899–908.
- WIEDEMANN, A., 1981: Nebenwirkungen von Herbiziden und Fungiziden und deren Kombination auf die mikrobielle Aktivität im Boden. Dissertation Univ. Göttingen, 117 S. + Tab.