



Abh. Ber. Naturkundemus. Görlitz	Band 71 Heft 2	S. 417-427	1999
--	-------------------	------------	------

ISSN 0373-7586

Der Einfluß des Herbizids Stomp (Pendimethalin) auf die Collem-bolenfauna (Apterygota) eines Ackerstandortes am Niederrhein

Von VIOLETTE GEI S S E N

Institut für Bodenkunde der Universität Bonn

Abstract

Influence of the herbicide Stomp (Pendimethalin) on collembola (Apterygota) - a field study.

We studied the influence of the herbicide Stomp (Pendimethalin) on collembola (springtails) of arable land testing the generally used dosis of $4,5 \text{ l Stomp ha}^{-1}$. This study focuses on a quantitative and qualitative comparison of the development of collembola in treated, untreated and hoed plots during a period of vegetation.

The variants were highly coincident in composition of collembolan species. The Renkonen-indices reached values $> 73 \%$. Furthermore, the species number did not differ significantly between all three plots. Consequently, we conclude that Stomp did not significantly influence the composition of collembolan species.

During the period of vegetation, the abundance of collembola in the Stomp-plot was significantly higher than that in the plots hoed or left untreated. The herbicide seemed to have a positive effect on the populations. This might be caused by indirect effects such as reduction of predators or changes in microbial communities.

1. Einleitung

Die Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion der letzten Jahrzehnte hat nicht nur zu Ertragssteigerungen, sondern auch zu unerwünschten Nebenwirkungen geführt. Exemplarisch sei an dieser Stelle die Artenverarmung landwirtschaftlicher Flächen aufgrund des Pflanzenschutzmitteleinsatzes genannt (DER RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN 1985; DIERCKS 1987). Mit Hilfe von Indikatororganismen ist es möglich, das Ausmaß der Veränderung der Fauna infolge von anthropogenen Maßnahmen abzuschätzen. Aufgrund ihrer hohen Individuendichte, ihrer kurzen Reproduktionszeit und ihrer geringen Mobilität sind Collembolen gut als Indikatororganismen geeignet (DUNGER 1982, EHRENSBERGER 1993). Außerdem reagieren Collembolen auf eine große Anzahl von Pestiziden kurzfristig sehr sensitiv (FRAMPTON 1994).

Die hier vorgestellten Untersuchungen haben zum Ziel, die Auswirkungen des Herbizids Stomp (Wirkstoff Pendimethalin) auf die Collembolenfauna landwirtschaftlich genutzter Flächen am Niederrhein zu untersuchen. Pendimethalin gehört zur Gruppe der Dinitroaniline. Es wirkt als selektives Bodenherbizid durch die Hemmung der Keimung und des Wurzelwachstums von Gräsern und zweikeimblättrigen Kräutern (BAIER et al. 1985). Die Effekte des Herbizids werden mit denen der Unkrauthacke unter Freilandbedingungen verglichen.

2. Material und Methoden

2.1. Untersuchungsstandort und Versuchsaufbau

Die Untersuchungen wurden 1989 auf einer Pseudogley-Braunerde aus Hochflutlehm in der niederrheinischen Tiefebene durchgeführt. Auf einem Ackerbohenschlag erfolgte vor Vegetationsbeginn die Anlage von drei je 100 m² großen Parzellen. Um Randeffekte auszuschließen, beschränkte sich die Probenahme auf den inneren Kern der Parzellen von 25 m².

Folgende Varianten wurden angelegt:

- Stompanwendung am 30.3.89 (4,5 l ha⁻¹ im Vorauflauf)
- manuelle Hacke am 10.5.89 (im Nachauflauf, Arbeitstiefe 15 cm)
- unbehandelte Kontrolle

Die erste Beprobung erfolgte am 17.2.89 zur Erfassung der Ausgangszönose. Die folgenden Probenahmeterminen richteten sich nach den Behandlungen und wurden am 31.3.89, 10.5.89, 21.6.89 und 11.8.1989 durchgeführt. Die Beprobung am 10.5.89 erfolgte ca. 1-2 Stunden nach der Hackmaßnahme.

2.2. Probenahmetechnik im Gelände

Zur Erfassung der Collembolenfauna wurden pro Probenahmetermin und Parzelle zehn Wiederholungsproben bis zu einer Tiefe von 25 cm in fünf Tiefenstufen entnommen. Die Probenahme erfolgte mit Hilfe eines zylindrischen Stahlbohrers mit einem Durchmesser von 5,8 cm. Jeder Bohrkern wies über die gesamte Beprobungstiefe somit ein Volumen von 660 cm³ auf. Die Darstellung der Ergebnisse bezieht sich im folgenden auf die gesamte Beprobungstiefe von 0-25 cm.

Die Collembolen wurden zusammen mit der übrigen Bodenmesofauna in einer modifizierten Berlese-Tullgren-Apparatur aus den Bodenproben ausgetrieben. Die Determination der Collembolen erfolgte auf Artniveau, im wesentlichen nach GISIN (1960 und 1959 - 1967) und FJELLBERG (1979 und 1980). Die Nachbestimmung einiger Arten wurde von W. Dunger und H.-J. Schulz durchgeführt.

Begleitend zu den faunistischen Untersuchungen wurden die Verlagerung und der Abbau von Pendimethalin im Boden in 0-5 cm und 5-15 cm Tiefe untersucht. Hierzu wurden drei Einzelproben pro Tiefe entnommen. Den gaschromatischen Nachweis des Wirkstoffs nahm die LUFA Bonn vor.

An jedem Probenahmetermin wurde die Anzahl der Ackerwildkräuter in den Parzellen ermittelt, um etwaige Auswirkungen der unterschiedlichen Maßnahmen auf das Unkrautkommen zu erfassen.

2.3. Statistische Auswertung

Die Ähnlichkeit der Versuchspartellen bezüglich ihrer Artenzusammensetzung wurden durch Artenidentität (Jaccardindex) und Dominanzidentität (Renkonenindex) beschrieben. Signifikante Unterschiede zwischen der Anzahl der Unkrautpflanzen m^{-2} in den Partellen wurden mit dem multiplen t-Test ermittelt. Der U-Test wurde verwendet, um signifikante Unterschiede zwischen der Collembolenabundanz in den Partellen an jedem Untersuchungstermin festzustellen. Eine α -Korrektur für multiple Vergleiche wurde nach Sidak vorgenommen.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1. Abbau und Verlagerung von Pendimethalin

Pendimethalin wurde sehr langsam abgebaut und war zum Zeitpunkt der Ernte noch mit $0,8 \text{ mg kg}^{-1}$ in den oberen 5 cm des Bodens nachzuweisen (Abb. 1). Aufgrund seiner starken Sorption an organische Substanz unterlag es nur in geringem Maße der Auswaschung (PLIETH 1983). Auch BAIER et al. (1985) wiesen eine geringe Mobilität nach. Während des gesamten Untersuchungszeitraums wirkte Pendimethalin somit potentiell auf die Bodenfauna.

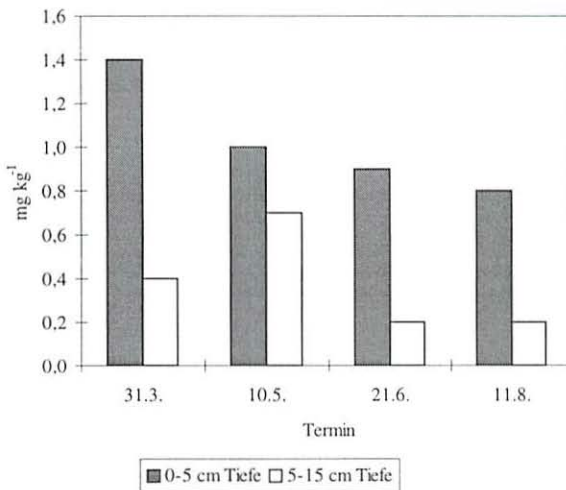


Abb. 1 Abbau und Verlagerung von Pendimethalin (Angaben in mg kg^{-1})

3.2. Unkrautauflkommen

Die Stompvariante war im ganzen Untersuchungszeitraum durch ein signifikant geringeres Unkrautauflkommen als die Hack- und Kontrollvariante charakterisiert. Dies ist auf den Langzeiteffekt des Herbizids zurückzuführen. Die Hack- und Kontrollparzelle unterschieden sich bezüglich der Anzahl der Unkräuter nicht signifikant (Tab. 1). Die einmalige Hacke bewirkte somit im Versuchszeitraum keine signifikante Reduzierung der Unkräuter.

Tab. 1 Anzahl der Unkräuter m^{-2} in der Kontroll-, Hack- und Stompvariante im Vegetationsverlauf (\bar{x} = Mittelwert, s = Standardabweichung); signifikante Unterschiede zwischen den Varianten am jeweiligen Beprobungstermin ($p(\text{Sidak}) < 0,02$): $a < b$; (Erfassung der Unkräuter am 10.5 vor Durchführung der Hackmaßnahme)

Unkrautpflanzen m^{-2}				
Termin		Kontrolle	Hacke	Stomp
31.3.	-	-	-	
10.5.	\bar{x}	11,3 <i>b</i>	14,4 <i>b</i>	5,1 <i>a</i>
	s	1,1	1,0	1,5
21.6.	\bar{x}	15,5 <i>b</i>	11,4 <i>ab</i>	6,5 <i>a</i>
	s	2,1	1,1	1,0
11.8.	\bar{x}	10,4 <i>b</i>	9,6 <i>b</i>	2,8 <i>a</i>
	s	1,1	0,7	0,5

3.3. Individuendominanz der Collembolenarten in den Varianten

In allen drei Parzellen traten als dominante Arten *Parisotoma notabilis*, *Isotoma viridis*, *Folsomia fimetaria* und *Protaphorura armatus* auf. *Isotomurus palustris* war nur in der Kontrollparzelle dominant vertreten (Tab. 2). Die Familie der Isotomidae war mit insgesamt 13 Arten dominierend vertreten, während die Poduridae nur mit *Choreutinula inermis* rezedent bis subrezedent auftraten. Im Gesamtzeitraum wurden sechs Onychiuriden-Arten und fünf Arten der Entomobryidae bestimmt. Aus der Familie der Sminthuridae wurden sieben Arten nachgewiesen, die meist rezedent oder subrezedent auftraten.

Tab. 2 Individuendominanz der Collembolenarten in der Kontroll-, Hack- und Stompvariante, bezogen auf den Gesamtzeitraum (Angaben in %)

Artname	Individuendominanzen		
	Kontrolle	Hacke	Stomp
Poduridae			
<i>Choreutinula inermis</i> (Tullberg, 1871)	0,43	0,60	1,22
Onychiuridae			
<i>Mesaphorura macrochaeta</i> Rusek, 1976	2,36	0,80	1,74
<i>Mesaphorura tenuisensillata</i> Rusek, 1974	-	-	0,17
<i>Protaphorura armatus</i> (Tullberg, 1869)	14,56	12,47	16,96
<i>Protaphorura bicampatus</i> (Gisin, 1956)	0,21	0,20	0,70
<i>Stenaphorurella denisi</i> (Bagnall, 1935)	1,71	0,60	1,57
<i>Stenaphorurella quadrispina</i> (Börner, 1901)	2,36	3,22	4,19
<i>Cryptopygus scapellifera</i> (Gisin, 1955)	-	0,20	-

Artname	Individuendominanzen		
	Kontrolle	Hacke	Stomp
Isotomidae			
<i>Folsomia fimetaria</i> (Linné, 1758)	9,85	21,52	16,60
<i>Folsomia fimetarioides</i> (Axelson, 1903)	1,28	-	0,35
<i>Folsomia inoculata</i> Stach, 1947	-	-	0,17
<i>Folsomia spec.</i>	-	-	0,17
<i>Isotoma antennalis</i> (Bagnall, 1940)	0,86	0,40	1,05
<i>Isotoma elegans</i> Carl, 1899	0,21	-	-
<i>Parisotoma notabilis</i> (Schäffer, 1896)	11,13	11,67	10,66
<i>Isotoma olivacea</i> Tullberg, 1871	1,71	4,22	1,22
<i>Isotoma viridis</i> Bourlet, 1839	13,48	22,53	11,89
<i>Isotoma spec.</i>		0,20	
<i>Isotomiella minor</i> (Schäffer, 1896)	1,28	1,21	0,35
<i>Isotomodes productus</i> (Axelson, 1906)	0,64	0,40	0,87
<i>Isotomurus palustris</i> (Müller, 1776)	10,70	4,63	2,62
<i>Hydroisotoma</i> (Krausbauer, 1898)	-	0,60	-
Entomobryidae			
<i>Entomobrya lanuginosa</i> (Nicolet, 1842)	0,43	-	-
<i>Lepidocyrtus cyaneus</i> Tullberg, 1871	4,92	5,03	5,59
<i>Lepidocyrtus lanuginosus</i> (Gmelin, 1788)	6,42	3,01	2,80
<i>Pseudosinella alba</i> (Packard, 1873)	2,78	1,20	4,90
<i>Pseudosinella spec.</i>	4,92	1,81	8,38
<i>Sinella coeca</i> (Schött, 1886)	0,43	0,20	0,87
Sminthuridae			
<i>Deuterosminthurus pallipes</i> (Bourlet, 1842)	-	-	0,35
<i>Heterosminthurus insignis</i> (Reuter, 1876)	-	0,20	-
<i>Megalothorax minimus</i> Willem, 1900	3,00	1,40	2,97
<i>Sphaeridia pumilis</i> (Krausbauer, 1898)	0,21	0,80	0,87
<i>Sminthurinus elegans</i> (Fitch, 1863)	0,21	-	-
<i>Sminthurinus krausbaueri</i> Börner, 1901	0,21	0,20	-
<i>Sminthurinus aureus</i> (Lubbock, 1862)	1,93	0,60	-
Anzahl der Arten	27	26	25
Anzahl der Arten < 1%	10	14	10

3.4. Arten- und Dominanzidentität

In den drei Versuchsvarianten wurden im Gesamtzeitraum keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Artenzahl ermittelt. Die Anzahl der Arten in den Varianten schwankte von 25-27 (Tab. 3). Die Übereinstimmung der Varianten bezüglich ihres Artenspektrums war mit einem Jaccardindex von $> 65\%$ als hoch zu bewerten. Die Hack- und die Kontrollvariante zeigten die größte Übereinstimmung bezüglich ihres Artenspektrums mit einem Jaccardindex von 75% (Tab. 4). Die geringere Artenidentität der Stomp- und Hackvariante ist durch das Auftreten einiger Arten zu begründen, die nur mit sehr wenigen Individuen vertreten waren. Bezüglich des Dominanzspektrums stimmten die Versuchspartellen mit einem Renkonenindex von über 73% gut überein (Tab. 5). Eine deutliche Beeinflussung der Artenzusammensetzung durch die verschiedenen Unkrautregulierungsmaßnahmen konnte somit im Gesamtzeitraum nicht festgestellt werden.

Tab. 3 Anzahl der Collembolenarten in der Kontroll-, Hack- und Stompvariante an den einzelnen Terminen und im Gesamtzeitraum

Termin	Kontrolle	Hacke	Stomp
17.2.	13	13	14
31.3.	18	18	16
10.5.	18	14	14
21.6.	14	16	19
11.8.	8	10	12
Gesamtzeitraum	27	26	25

Tab. 4 Artenidentität (Jaccardindex) der Varianten (Angaben in %)

	Kontrolle	Hacke	Stomp
Kontrolle	100	75	70
Hacke		100	65
Stomp			100

Tab. 5 Dominanzidentität (Renkonenindex) der Varianten (Angaben in %)

	Kontrolle	Hacke	Stomp
Kontrolle	100	73	78
Hacke		100	75
Stomp			100

3.5. Vergleich der Varianten anhand der Populationsentwicklung

Die Wirkungen der Behandlungsmaßnahmen auf die Entwicklung der Collembolenfauna während der Vegetationszeit (Februar bis August 1989) sind in Abb. 2 a-c dargestellt. An dieser Stelle wird sowohl die Individuendichte aller Collembolen als auch die der vier häufigsten Arten (*Protaphorura armatus*, *Isotoma viridis*, *Folsomia fimetaria* und *Parisotoma notabilis*) berücksichtigt.

Die Individuendichte der Ausgangszönose (17.2.) in der Kontroll- und Stompparzelle entsprach sich in etwa, während die der Hackparzelle doppelt so hoch war und signifikant von denen der beiden anderen Parzellen abwich (Abb. 2 a-c). Die hohe Individuendichte in der Hackvariante war durch das signifikant höhere Auftreten von *Isotoma viridis* und *Folsomia fimetaria* bedingt. Diese beiden Arten sind als Rottecollembolen bekannt. 51 % der Individuen dieser Arten besiedelten in der Hackparzelle die Tiefe von 20-25 cm (GEISSEN-BROICH 1992). In der Hackvariante wurden in dieser Tiefe am ersten Probenahmetermin noch teilweise unvollständig zersetzte Strohreste der Vorjahresfrucht gefunden, die in den anderen Parzellen nicht mehr nachzuweisen waren. Dieser Sachverhalt erklärt das gehäufte Auftreten der Rottecollembolen in der Hackvariante. In der Kontroll- und Hackparzelle wurden an diesem Termin je 13 Arten nachgewiesen, in der Stompparzelle 14 (Tab. 3).

Am 31.3., dem Tag nach der Aussaat und der Stompanwendung, waren in der Hackparzelle keine Strohreste mehr vorzufinden. Die Individuendichte aller Collembolen war an diesem Termin in der Hackvariante signifikant niedriger als in der Kontrollparzelle (Abb. 2 a, b). Gegenüber der Ausgangspopulation war die Individuendichte von *Folsomia fimetaria* und *Isotoma viridis* in der Hackvariante signifikant reduziert. Dies ist vermutlich auf die Beendigung des Strohabbaus zurückzuführen. Mit steigender Erwärmung des Bodens und der Bodenruhe seit der Aussaat stiegen die Individuenzahlen in der Kontroll- und Stompparzelle an (Abb. 2 a, c). Die Herbizidanwendung zeigte zu diesem Zeitpunkt keinen Einfluß auf die Individuendichte der Collembolen. Auch die Artenzahlen wichen in den einzelnen Parzellen nur geringfügig voneinander ab: 16 Arten in der Stompparzelle, 18 in der Kontrolle, 18 in der Hackparzelle (Tab. 3).

Am 10.5. sank mit abnehmender Bodenfeuchte die Collembolenabundanz in allen drei Varianten. Collembolen reagieren negativ auf sinkenden Wassergehalt des Bodens (CHRISTIANSEN 1964, VERHOEF & LI 1983). Die auf Trockenheit empfindlich reagierende *Parisotoma notabilis* trat in allen Varianten stark zurück. Die manuelle Hacke zeigte keine Auswirkungen auf die Collembolenfauna. Die Individuendichte in der Hackvariante unterschied sich nicht signifikant von der der Kontrollparzelle. Allerdings war die Abundanz aller Collembolen in der Stompparzelle signifikant gegenüber der in der Hackvariante erhöht. Die Kontrollparzelle wies an diesem Termin die höchste Artenzahl mit 18 Arten auf, in der Hack- und Stompparzelle konnten nur je 14 Arten nachgewiesen werden.

Am 21.6. sank die Individuendichte in der Kontroll- und Hackparzelle weiter ab (Abb. 2 a-b). Die Populationsentwicklung in der Hackparzelle entsprach der der Kontrolle. Die feuchtigkeitsliebende *Isotoma viridis* trat in allen Parzellen wegen der zunehmenden Trockenheit stark zurück. In der Stompparzelle hingegen stieg die Individuendichte aller Collembolen an (Abb. 2 c) und lag signifikant über der der anderen Parzellen. Auch *Protaphorura armatus* trat in der Stompparzelle an diesem Termin signifikant häufiger auf als in den anderen Varianten. Die Anzahl der Arten war in der Stompparzelle mit 19 Arten höher als in der Hackparzelle (16 Arten) und der Kontrolle (14 Arten) (Tab. 3). Die Individuendichte aller Collembolen war in der Stompparzelle im Vegetationsverlauf (am 10.5. und 21.6.) im Vergleich zu der der anderen Varianten signifikant erhöht. Das Herbizid scheint somit einen fördernden Effekt auf die Collembolenfauna zu haben, während ein indirekter Effekt der Hacke, wie ihn PRASSE (1977) beschreibt, nicht festgestellt wurde.

Am 11.8. nahm aufgrund der lang anhaltenden Trockenheit die Collembolenabundanz in allen Parzellen ab (Abb. 2 a-c), die Artenzahlen sanken auf acht Arten in der Kontrollparzelle, 10 in der Hackparzelle und 12 in der Stompparzelle (Tab. 3).

Herbizide können auf die Collembolenfauna fördernd oder dezimierend wirken (CONRADY 1986, STINNER et al. 1986, VREEKEN-BUIJS et al. 1994) oder die Collembolenzönose unbeeinflusst lassen (HOUSE et al. 1987). Sie können direkt durch orale Aufnahme oder äußerlichen Kontakt sowie indirekt durch die Beeinflussung der Unkrautflora sowie der Prädatoren und der Mikroflora wirken (EDWARDS & STAFFORD 1979, EDWARDS 1982, FRAMPTON 1994).

Aufgrund der Langzeitwirkung von Stomp, das die Keimung der Unkräuter hemmt, fielen in der Stomppvariante weniger absterbende Unkräuter an als in der Hackvariante (Tab. 1). Das Nahrungsangebot war also in der Hackparzelle höher. Da die Stompparzelle trotzdem stärker besiedelt wurde, scheint die Unkrautflora nicht der beeinflussende Faktor zu sein. Möglicherweise erfolgte eine positive indirekte Wirkung auf die Collembolenfauna über eine Veränderung der Zusammensetzung der Mikroflora. GLEIM (1983) wies zwar nach, daß Stomp in praxisüblicher Dosierung weder die mikrobielle Atmung noch die Enzymaktivität im Boden verändert, wobei diese Summenparameter allerdings nichts über den Anteil von Pilzen, Bakterien und Algen an der Mikroflora aussagen. Obwohl Collembolen prinzipiell als Generalisten bezüglich ihrer Nahrungswahl bezeichnet werden, bevorzugen sie Pilzhypen (HOPKIN 1997), die wichtige Nährstoffe für die Collembolen enthalten (BÄÄTH 1991, DRAHEIM & LARING 1995). Möglicherweise wurde die Zusammensetzung der Mikroflora durch den Herbizideinsatz zugunsten der Pilze verschoben, so daß dies zu einer indirekten Förderung der Collembolen führte.

Andererseits dienen Collembolen insbesondere anderen Arthropoden als Nahrung (HOPKIN 1997). Der fördernde Effekt von Stomp kann somit auch auf einer Reduktion der Prädatoren beruhen. Für diese These spricht die signifikant höhere Abundanz von *Protaphorura armatus* in der Stomppvariante. Diese euedaphisch lebende Onychiuriden-Art ist blind und hat eine sehr reduzierte Furca, so daß sie für Prädatoren, insbesondere für Raubmilben, eine gute Beute ist (KROGH 1995). Ob nur einer der beiden indirekten Faktoren oder ihre Kombination zu einer Förderung der Colembolenfauna geführt hat, kann nicht abschließend geklärt werden.

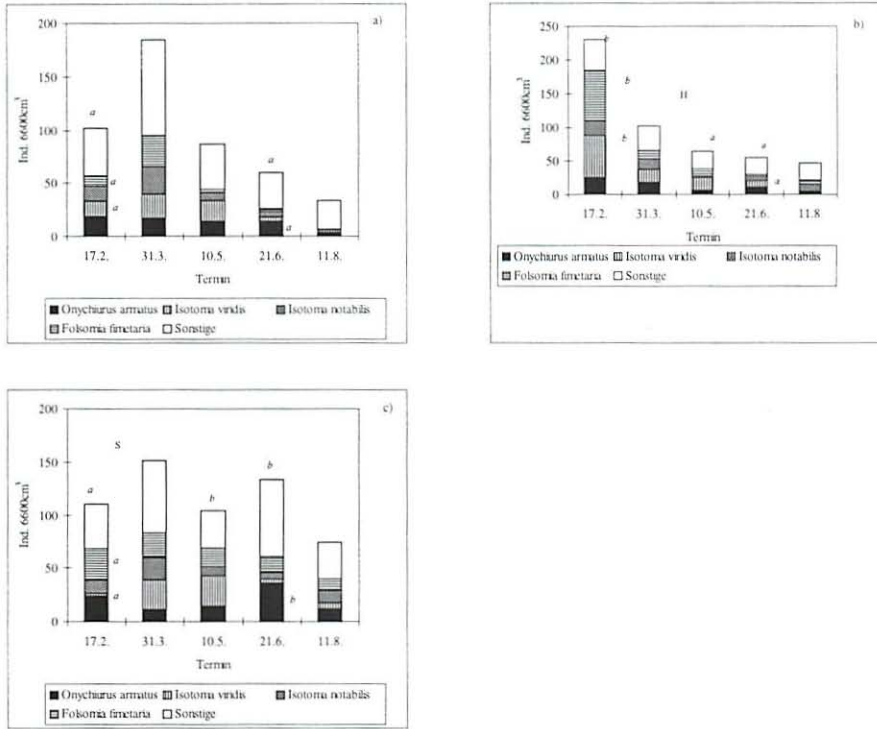


Abb. 2 a – c Veränderung der Individuendichte aller Collembolen sowie der der vier häufigsten Arten in der Kontroll- (a), Hack- (b) und Stompvariante (c) von Februar bis August 1989 (Angaben in Individuen 6600 cm⁻³);
signifikante Unterschiede zwischen den Varianten an den einzelnen Terminen (bezogen auf die Gesamtabundanz sowie die Abundanz einzelner Arten)
(p (Sidak) < 0,02): b > a
H: manuelle Hacke; S: Stompausbringung (4,5 l ha⁻¹)

4. Danksagung

Für die finanzielle Unterstützung sei dem Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein Westfalen gedankt. Herrn Prof. Dr. H. Bick danke ich für die umfassende Betreuung der Untersuchungen, Herrn Prof. Dr. W. Dunger und Herrn Dr. H.-J. Schulz für die Nachbestimmung einiger Arten.

5. Zusammenfassung

Im Freilandversuch wurden die Auswirkungen des Herbizids Stomp mit dem Wirkstoff Pendimethalin auf die Collembolenfauna eines Ackerbohenschlages am Niederrhein untersucht. Als Vergleichsvarianten wurden eine Hackvariante und eine unbehandelte Kontrolle angelegt. Die Behandlung mit Stomp erfolgte in praxisüblicher Aufwandmenge von $4,5 \text{ l ha}^{-1}$.

Im Untersuchungszeitraum konnten hohe Übereinstimmungen bezüglich des Artenspektrums der Varianten festgestellt werden; der Renknotenindex wies Werte $>73 \%$ auf. Stomp beeinflusste somit die Artenzusammensetzung nicht in ersichtlicher Form. Es bestanden auch keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Anzahl der Arten in den Varianten.

Im Vegetationsverlauf wies die Stompvariante eine teilweise signifikant höhere Individuendichte der Collembolen auf als die anderen Varianten. Die Anwendung des Herbizids Stomp wirkte somit fördernd auf die Collembolenfauna. Diese Wirkung ist vermutlich auf indirekte Effekte des Wirkstoffs auf die Mikroflora oder auf Prädatoren zurückzuführen. Eine indirekte Wirkung durch ein erhöhtes Angebot absterbender Unkräuter wurde ausgeschlossen.

6. Literatur

- BÄÄTH, E. (1991): Tolerance of copper by entomogenous fungi and the use of copper-amended media for isolation of entomogenous fungi from soil. - *Mycological Research* **95**: 1140-1142
- BAIER, C., K. HURLE & J. KIRCHHOFF (1985): Datensammlung zur Abschätzung des Gefährdungspotentials von Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen für Gewässer. - DVWK-Schriften **74**. - Parey-Verlag Hamburg, Berlin, 138
- CHRISTIANSEN, K. (1964): Bionomics of Collembola. - *Ann. Rev. Ent.* **9**: 141-178
- CONRADY, D. (1986): Ökologische Untersuchungen über die Wirkung von Umweltchemikalien auf die Tiergemeinschaft eines Grünlandes. - *Pedobiologia* **29**: 273-284
- DER RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN (1985): Umweltprobleme der Landwirtschaft. Sondergutachten. - Kohlhammer Verlag Stuttgart, Mainz, 423 S.
- DIERCKS, R. (1987): Brauchen wir neue Wege im Pflanzenschutz? - In HOFFMANN, M. & B. GEIER (Hrsg.): Beikrautregulierung statt Unkrautbekämpfung: 15-40. - C. F. Müller Verlag, Karlsruhe
- DRAHEIM, R. & O. LARING (1995): Effects of differently cultured fungi as a diet of Collembola. - *Acta Zoologica Fennica* **196**: 168-170
- DUNGER, W. (1982): Die Tiere des Bodens als Leitformen für anthropogene Umweltveränderungen. - *Decheniana-Beihefte Bonn* **26**: 151-157
- EDWARDS, C. A. (1982): Problems caused by contamination of agricultural land and woodlands by toxic chemicals. - *Decheniana-Beihefte Bonn* **26**: 145-150
- & C. J. STAFFORD (1979): Interaction between herbicides and the soil fauna. - *Ann. Appl. Biol.* **91**: 132-137
- EHRENSBERGER, R. (1993): Bodenzöologie und Agragökosysteme. - In EHRENSBERGER, R. (Hrsg.): Bodenmesofauna und Naturschutz: 11-41. *Inf. Natursch. Landschaftspfl.* **6**. Günther Runge Verlag, Cloppenburg
- FJELLBERG, A. (1979): Revision of the European species in the *Isotoma olivacea* group (Collembola: Isotomidae). - *Ent. scand.* **10**: 91-108
- (1980): Identification keys to Norwegian Collembola. - *Norw. Ent. Soc. As.*, 152 S.
- FRAMPTON, G. K. (1994): Sampling to detect effects of pesticides on epigeal Collembola (spring-tails). - *Asp. Appl. Biol.* **37**: 121-130

- GEISSEN-BROICH, V. (1992): Die Auswirkungen unterschiedlicher Bewirtschaftungsweisen und Unkrautregulierungsmaßnahmen auf die Collembolenfauna landwirtschaftlich genutzter Flächen am Niederrhein. - Diss. Univ. Bonn, 163 S.
- GISIN, H. (1959-1967): Summarische Nachträge zur Collembolenfauna Europas. - Muséé d'Histoire Naturelle, Genève
- (1960): Collembolenfauna Europas. - Muséé d'Histoire Naturelle, Genève, 312 S.
- GLEIM, D. (1983): Beeinflussung von mikrobiellen Aktivitäten im Boden durch ein Pflanzenschutzsystem für den Wintergerstenanbau. - Diss. Univ. Kiel, 112 S.
- HOPKIN, S. P. (1997): Biology of the Springtails (Insecta: Collembola). - Oxford University Press., Oxford - New York - Tokyo, 330 S.
- HOUSE, G. J., A. D. WORSHAM, T. J. SHEETS & R. E. STINNER (1987): Herbicide effects on soil arthropod dynamics and wheat straw decomposition in a North Carolina no-tillage agroecosystem. - Biol. Fert. Soils 4: 109-114
- KROGH, P. H. (1995): Effects of pesticides on the reproduction of *Hypoaspis aculeifer* (Gamasida: Laelapidae) in the laboratory. - Acta Zoologica Fennica 196: 333-337
- PLIETH, H.-E. (1983): Das Abbauverhalten von Pendimethalin im Boden in Gegenwart von anderen Pflanzenschutzmitteln und Stroh. - Diss. Univ. Kiel, 114 S.
- PRASSE, J. (1977): Die Struktur von Mikroarthropodenzönosen in Agro-Ökosystemen und ihre Beeinflussung durch Herbizide. - Pedobiologia 18: 381-383
- STINNER, B. R., H. R. KRÜGER & D. A. McCARTNEY (1986): Insecticide and tillage effects on pest and non-pest arthropods in corn agroecosystems. - Agric. Ecosystems Environ. 15: 11-21
- VERHOEF, H. A. & W. K. LI (1983): Physiological adaptations to the effects of dry summer periods in Collembola. - In LEBRUN, P., H. M. ANDRE, A. De METS, C. GREGOIRE-WIBO & G. WAUTHY (eds.): New trends in soil biology Verlag Dieu-Brichard, Ottignies-Louvain-la Neuve: 345-365
- VREEKEN-BUIJS, M. J., M. GEURS, P. C. DE RUITER & L. BRUSSAARD (1994): Micropod biomass-C dynamics in the belowground food webs of two arable farming systems. - Agric. Ecosystems Environ. 51: 161-170

Manuskriptannahme: 12.10.1999

Anschrift der Verfasserin:

Dr. Violette Geissen, Institut für Bodenkunde, Nußallee 13, D-53115 B o n n
e-mail: geissen@boden.uni-bonn.de