

# Auswirkungen von Kalkungs- und Düngungsmaßnahmen auf die bodenbewohnende Collembolenfauna in Laub- und Nadelwald

Jutta Illmann, Violette Geißen und Gerhard W. Brümmer

## Synopsis

Effects of liming and fertilization on the soil-inhabiting collembolan communities of a deciduous and a coniferous forest

The effects of different quantities of lime, partly combined with P, K-fertilization on the soil-inhabiting collembolan communities were investigated in deciduous and coniferous forests of the Kottenforst near Bonn. Nine months after liming, samples were collected and the collembolan fauna was examined. In addition, soil reaction, content of organic carbon and total nitrogen and the mobile fractions of certain nutrients, heavy metals and aluminum were determined.

The population densities of the collembola were significantly higher in the coniferous plots. However, there was no relation between the treatment and level of abundance. The dominance of certain species varied between the differently limed plots (*Onychiurus furcifer*, *Onychiurus armatus*, *Lepidocyrtus cyanus*) and between P, K-fertilized and unfertilized plots (*Mesaphorura tenuisensillata*, *Isotomiella minor*, *Onychiurus quadriocellatus*, *Lepidocyrtus cyanus*, *Lepidocyrtus lanuginosus*).

Certain collembolan species showed strong correlations with soil chemical parameters. However, the different dominance structure cannot be explained by those correlations. Further investigations will give more informations.

*Collembolen, Laubwald, Nadelwald, Waldboden, Waldkalkung, P,K-Düngung, bodenchemische Parameter*

*collembola, deciduous forest, coniferous forest, forest soil, liming, P,K-fertilization, soil chemical parameters*

## 1 Einleitung

Die Versauerung von Waldböden ist ein wichtiger Faktor im Ursachengefüge neuartiger Waldschäden (ULRICH 1982, BRÜMMER 1990). Um der fortschreitenden Versauerung entgegenzuwirken, werden seit einigen Jahren großflächige Kalkungs- und Düngungsmaßnahmen durchgeführt. Die Auswirkungen

dieser Behandlungen auf das Waldökosystem sind bisher nur unzureichend bekannt.

In den stark versauerten Waldböden gewinnt die Mesofauna, vor allem Milben und Collembolen, an Bedeutung für den Streuabbau, da die Vertreter der Makrofauna, besonders die Lumbriciden, in Abundanz und Biomasse zurücktreten (SCHAEFER & SCHAUERMANN 1990).

Collembolen, die ubiquitär auftreten und eine hohe Reproduktionsrate haben, könnten geeignete Indikatoren für anthropogen bedingte Veränderungen des Bodenzustandes darstellen (DUNGER 1982). Mit den Untersuchungen von HAGVAR (1984), HARTMANN & al. (1989), WEBER & MAKESCHIN (1991) und FRITSCH & EISENBEIS (1992) liegen zwar einige Ergebnisse zur Auswirkung von Kalkungsmaßnahmen auf Collembolenzönosen vor, doch besteht weiterer Forschungsbedarf hinsichtlich des Zusammenhanges zwischen dem komplexen bodenchemischen Zustand und den Reaktionen der Tiere. Auch beschränken sich die obengenannten Untersuchungen größtenteils auf Koniferenwälder. Über die Auswirkung einer Düngung weiterer Nährstoffe wie z. B. Phosphor und Kalium auf die Waldbodenfauna und speziell die Collembolen liegen erst sehr wenige Untersuchungen vor (TIMANS 1990).

Ziel der durchgeführten Untersuchungen ist es, die Reaktion von Collembolenpopulationen und das Verhalten einzelner Arten nach Kalkung und P, K-Düngung in Laub- und Nadelwaldbeständen zu erfassen und in Beziehung zum bodenchemischen Zustand des Waldbodens zu setzen.

## 2 Material und Methoden

Das Untersuchungsgebiet befindet sich ca. 10 km südwestlich von Bonn im Staatsforst Kottenforst, einem nahezu geschlossenen, 3900 ha großen Waldgebiet, das in 160–190 m Höhe liegt.

Die Versuchspartzen liegen teils in einem 100jährigen Fichtenbestand, teils in ca. 150 Jahre alten Beständen aus Hainbuche, Rotbuche, Stieleiche und Winterlinde. Bei den Böden handelt es sich um Pseudogleye aus Lößlehm über der Hauptterrasse des Rheins; als Humusform tritt im Laubwald vorwiegend Mullartiger Moder, im Nadelwald Typischer bis Rohhumusartiger Moder auf.

Tab. 1

Behandlung der Laub- (A1 – A6) und Nadelwaldparzellen (B1–B6): Kalkung in den Jahren 1988 und 1994 (Januar) [t Dolomit/ha]; \* P, K-Düngung im Juni 1994 [200 kg/ha  $P_2O_5$  als teilaufgeschlossenes weicherdiges Rohphosphat und 150 kg/ha  $K_2O$  als  $K_2SO_4$ ].

Laubwald	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Nadelwald	B1	B2	B3	B4	B5	B6
1988	0	3	3	3	3	3
1994	0	0	3	3 + P, K*	6 + P, K*	6 + P, K*

Table 1

Treatment of the deciduous (A1 – A6) and coniferous sections (B1–B6): Liming in 1988 and 1994 (January) [t dolomite/ha]; \* P, K- fertilization in June 1994 [200 kg/ha  $P_2O_5$  as partially acidified rockphosphat and 150 kg/ha  $K_2O$  as  $K_2SO_4$ ].

Untersucht wurden sechs Nadel- und sechs Laubwaldparzellen von jeweils 2500 m<sup>2</sup> Größe. Die Behandlungen der Versuchspartellen sind in Tab. 1 dargestellt. 1988 erfolgte die Behandlung im Rahmen einer landesweiten Hubschrauberalkung mit 3 t Dolomit/ha, 1994 wurde feinvermahlener dolomitischer Kalk (Korngröße zu 90 % unter 90 µm) in den angegebenen Mengen ausgebracht, z.T. kombiniert mit einer P, K-Düngung.

Zur Untersuchung der Collembolenpopulation wurden im Oktober 1994 in jeder Parzelle jeweils in einer Kernzone von 100 m<sup>2</sup> 10 Parallelproben mit einem Bohrstock (Ø: 5 cm) entnommen. Im Laubwald wurden der Of-Horizont und die obersten 10 cm des Mineralbodens (Ah-Horizont) jeweils getrennt beprobt, wobei die Mineralbodenproben in 5 cm mächtige Tiefenstufen unterteilt wurden; im Nadelwald erfolgte die Probenentnahme aus dem Of- und Oh-Horizont sowie den obersten 5 cm des Mineralbodens.

Die Austreibung der Fauna erfolgte mittels eines Berlese-Tullgren-Extraktors. Die Collembolen wurden größtenteils nach GISIN (1960, 1959–67) und FJELLBERG (1980) bestimmt, Tiere aus der Unterfamilie der Tullbergiinae nach DUNGER & ZIMDARS (1994).

Nach der Austreibung der Fauna wurden für die bodenchemischen Analysen aus den 10 Bohrkernen und zwei weiteren pro Tiefenstufe und Parzelle jeweils drei Mischproben hergestellt. Außer den pH ( $CaCl_2$ )-Werten wurden die Gehalte an organischem Kohlenstoff, Gesamtstickstoff und mobilen Nähr- und Schadstoffen ( $NH_4NO_3$ -Extraktion, ZEIEN & BRÜMMER 1989) bestimmt.

Um Auswirkungen der unterschiedlichen Kalkmengen sowie der P, K-Düngung auf die Gesamtindividuenzahl der Collembolen und die Dominanzen einzelner Arten zu ermitteln, wurde der Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. Dabei wurden die Parzellen nach Bestockungstyp und innerhalb eines Be-

stockungstyps entsprechend ihrer Behandlung zusammengefaßt (1994 ungekalkt: A 1, 2 und B 1, 2; 1994 mit 3 t Dolomit/ha gekalkt: A 3, 4 und B 3, 4; 1994 mit 6 t Dolomit/ha gekalkt: A 5, 6 und B 5, 6; ohne P, K-Düngung: A 1–3 und B 1–3; mit P, K-Düngung: A 4–6 und B 4–6). Dadurch konnten die Effekte der unterschiedlichen Kalkmengen sowie der P, K-Düngung separat ermittelt werden. Berechnungen der Korrelationen zwischen den Dominanzen ausgewählter Arten und den bodenchemischen Parametern erfolgten nach Spearman. Die statistischen Tests und die Korrelationen wurden mit Hilfe des PC-Programmes SPSS sowie des Programmpaketes SAS durchgeführt.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Bodenchemische Parameter

Die bodenchemischen Parameter ließen deutliche Auswirkungen der Kalkungs- und Düngungsmaßnahmen in den Of-Horizonten und zum Teil in den Ah- (0–5 cm) bzw. Oh-Horizonten erkennen: So waren die pH-Werte in den Of-Horizonten der gekalkten Parzellen um bis zu 1,5 pH-Einheiten höher als in den ungekalkten Varianten (Abb. 1). Entsprechendes gilt für die mobilen Gehalte an Ca und Mg, während die mobile Al-Fraktion (nur im Laubwald) sowie die mobilen Fraktionen der Schwermetalle Zn, Pb und Cd (im Laub- und Nadelwald) in den ungekalkten Varianten am höchsten waren (Tab. 2). In der organischen Auflage der gedüngten Parzellen (A 4–6 und B 4–6) wiesen P und K meist deutlich höhere Werte auf als in den ungedüngten Parzellen, ebenso S (da K als  $K_2SO_4$  gedüngt wurde). Für den Mineralboden ließ sich dagegen noch kein Einfluß von Kalkung und Düngung auf den bodenchemischen Zustand feststellen.

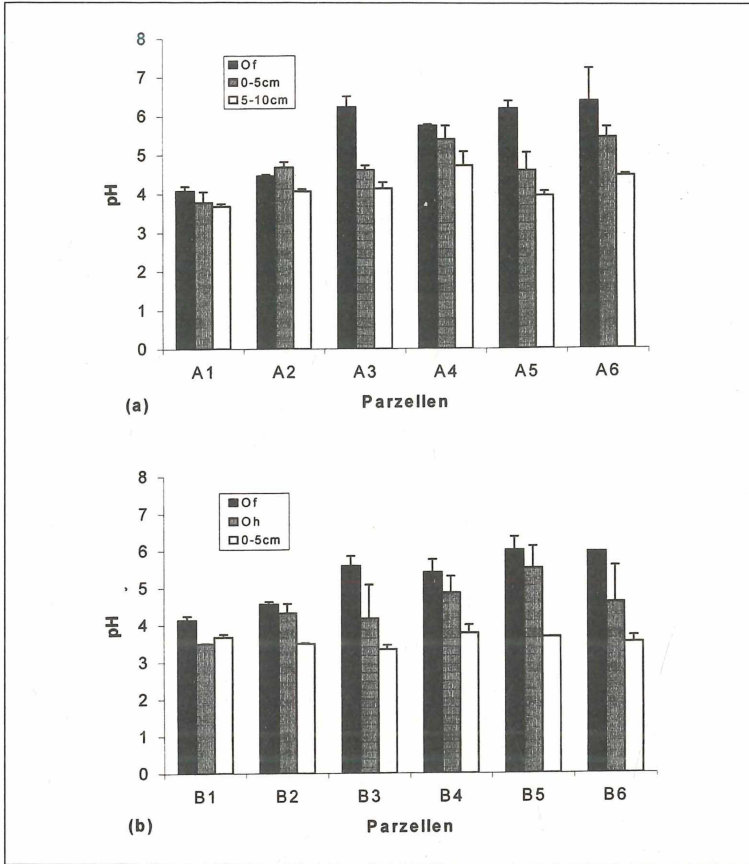


Abb. 1  
pH(CaCl<sub>2</sub>)-Werte in den verschiedenen Tiefenstufen der Laubwaldparzellen (A1 – A6) (a) und Nadelwaldparzellen (B1 – B6) (b) 9 Monate nach der Kalkausbringung.

Fig. 1  
pH(CaCl<sub>2</sub>) values in the different depth levels of the deciduous (A1 – A6) (a) and coniferous sections (B1 – B6) (b), determined nine months after liming.

Tab. 2  
Mobile Fraktionen von P, S, K, Ca, Mg, Na, Al, Zn, Cd und Pb im Of-Horizont der Laub- (A1 – A6) und Nadelwaldparzellen (B1 – B6).

Table 2  
Mobile fractions of P, S, K, Ca, Mg, Na, Al, Zn, Cd and Pb in the Of-layer of the deciduous (A1 – A6) and coniferous sections (B1 – B6).

Element	P	S	K	Ca	Mg	Na	Al	Zn	Cd	Pb
Parzelle	[mg·kg <sup>-1</sup> ]								[µg·kg <sup>-1</sup> ]	
A1	11	324	823	3250	373	51	16	11	71,67	306,67
A2	48	228	860	4727	975	65	4	10	46,67	98,33
A3	61	297	841	7207	2003	74	0	1	0,17	10,00
A4	151	762	1920	5113	1483	78	3	1	11,67	48,33
A5	55	612	657	5780	1079	59	4	0	3,33	26,67
A6	154	1103	1062	6950	1423	65	2	0	0,00	0,00
B1	35	111	632	3887	254	53	10	24	235,00	1233,33
B2	55	253	788	5840	1383	90	7	12	163,33	785,00
B3	27	192	701	5970	1777	83	3	2	28,33	241,67
B4	104	1174	1109	7257	1577	79	10	3	98,33	258,33
B5	68	699	1001	7087	1823	73	10	1	58,33	230,00
B6	150	1470	1073	7887	605	70	8	1	71,67	75,00

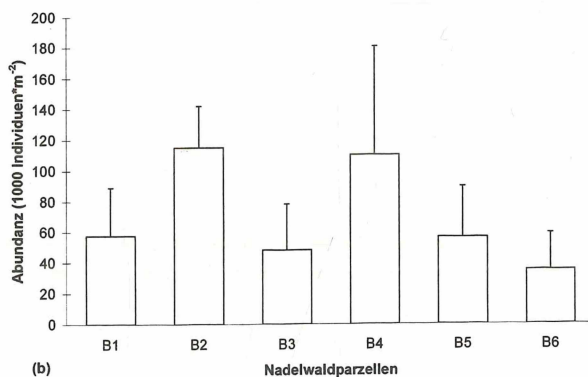
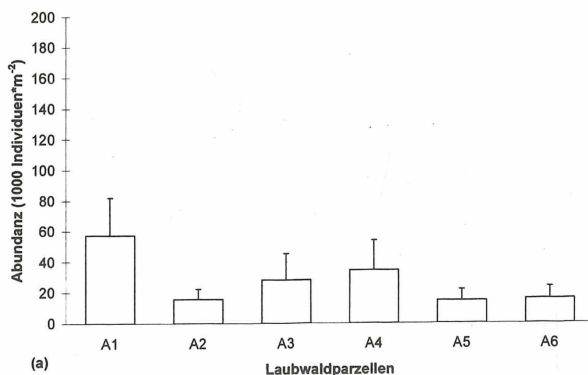


Abb. 2  
Abundanzen aller Collembolen in den Laubwaldparzellen A1–A6 (a) und Nadelwaldparzellen B1–B6 (b)  
Signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ): A1>A2,A3,A4,A6; A2<A4; A3>A6; A4>A5,A6  
B1<B2; B2>B3,B5,B6; B4>B6.

Fig. 2  
Abundance values of total collembola in the deciduous (A1–A6) (a) and coniferous sections (B1–B6) (b)  
Significant differences ( $p < 0,05$ ): A1>A2,A3,A4,A6; A2<A4; A3>A6; A4>A5,A6  
B1<B2; B2>B3,B5,B6; B4>B6.

### 3.2 Abundanzen der Collembolen

Zwischen den einzelnen Parzellen bestanden deutliche Unterschiede hinsichtlich der Abundanzen der Collembolen (Abb. 2). Ein wesentlicher Unterschied zeigte sich dabei zwischen den beiden Bestockungstypen: Die Besiedlungsdichten der Collembolen in den Laubwaldparzellen lagen mit Ausnahme der unbehandelten Parzellen signifikant unter denen der Nadelwaldparzellen, was sich z. T. in Übereinstimmung mit SCHAEFER & SCHAUERMANN (1990) auf die verschiedenen Humusformen zurückführen läßt. Auch zwischen den verschiedenen Behandlungsvarianten innerhalb eines Bestockungstyps bestanden teilweise signifikante Abundanzunterschiede ( $p < 0,05$ ). Diese ließen sich jedoch nicht eindeutig auf die verschiedenen Behandlungen zurückführen. In den Laubwaldparzellen schienen Kalkungen sich jedoch negativ auf die Abundanzen auszuwirken, da die unbehandelte Parzelle A1 die höchsten Abundanzen aufwies. Möglicherweise werden sich die Einflüsse der unterschiedlichen Mengen an Kalk in

Kombination mit der Düngung erst nach einem längeren Zeitraum deutlicher zeigen. FRITSCH & EISENBEIS (1992) fanden allerdings bei Collembolen auch drei Jahre nach Kalkungsmaßnahmen keine veränderten Abundanzen. Auch in anderen Untersuchungen über die Auswirkungen von Kalkungsmaßnahmen auf Collembolenzönosen (BAATH & al. 1980, HAGVAR & ABRAHAMSEN 1980) konnte kein Effekt auf die Besiedlungsdichten festgestellt werden. HAGVAR (1984) jedoch beschreibt eine Abnahme der Abundanzen nach Kalkung, was die hier gefundenen Ergebnisse für die Laubwaldparzellen bestätigen könnte. Ob auch in den Nadelwaldparzellen noch Abundanzänderungen auftreten, muß in weiteren Untersuchungen geklärt werden.

### 3.3 Individuendominanzen einzelner Arten

Da die Gesamtabundanzen der Collembolen in den einzelnen Parzellen große Unterschiede zeigten, wurden zum Vergleich einzelner Arten in den verschie-

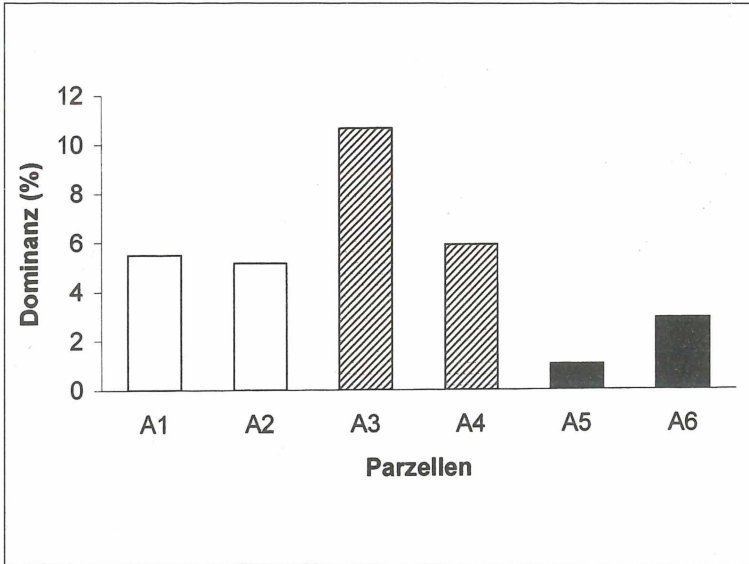


Abb. 3  
Mittelwerte der Dominanzen von *Onychiurus furcifer* in den 1994 unbehandelten (A1/A2) sowie den mit 3t Dolomit/ha gekalkten (A3/A4) und mit 6t Dolomit/ha gekalkten (A5/A6) Laubwaldparzellen (n = 10) ■ signifikant geringer als □ / ▨

Fig. 3  
Mean dominance values of *Onychiurus furcifer* in the deciduous plots that had been untreated in 1994 (A1/A2), in the ones limed with 3t dolomite/ha (A3/A4) and in the ones limed with 6t dolomite/ha (A5/A6); ■ significantly lower than □ / ▨

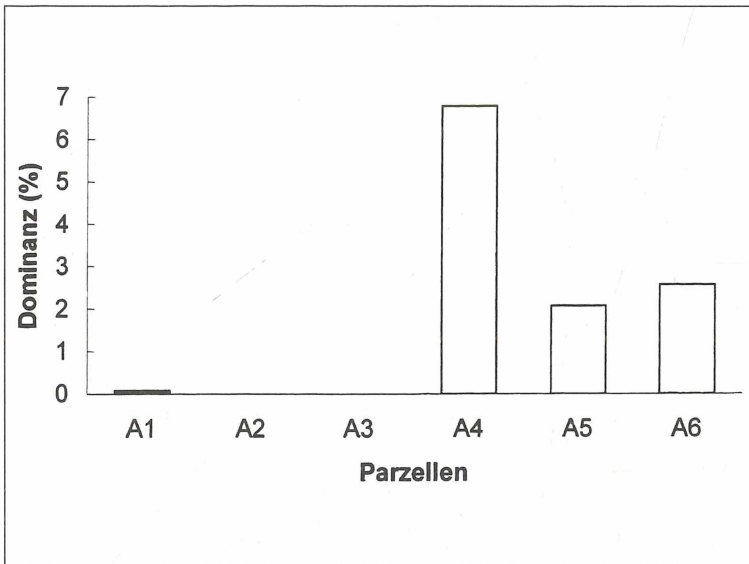


Abb. 4  
Mittelwerte der Dominanzen von *Lepidocyrtus lanuginosus* in den ungedüngten (A1 – A3) und den P, K-gedüngten (A4 – A6) Laubwaldparzellen (n = 10) ■ signifikant geringer als □

Fig. 4  
Mean dominance values of *Lepidocyrtus lanuginosus* in the unfertilized deciduous plots (A1–A3) and in the ones that had been fertilized with P, K (A4–A6) (n = 10) ■ significantly lower than □

denen Parzellen die Dominanzen (bezogen auf die gesamte beprobte Tiefe) verwendet.

Es konnten signifikante Unterschiede zwischen den Dominanzen einzelner Arten in den beiden Bestockungstypen nachgewiesen werden: Die Arten *Friesea mirabilis* TULLBERG 1871, *Isotoma notabilis* SCHÄFER 1896 und *Lepidocyrtus cyaneus* TULLBERG 1871 zeigten signifikant höhere Dominanzen in den Nadelwaldparzellen, *Mesaphorura macrochaeta* RUSEK 1976, *Mesaphorura tenuisensillata* RUSEK 1974, *Onychiurus armatus* s.l. (POMORSKI 1990) und

*Onychiurus quadriocellatus* GISIN 1947 dagegen in den Laubwaldparzellen.

Signifikante Dominanzunterschiede ergaben sich für einige Arten auch zwischen den Behandlungsvarianten. So wies *Onychiurus furcifer* BÖRNER 1901 in den mit der Höchstmenge von 6 t Dolomit/ha gekalkten Laubwaldparzellen A5 und A6 signifikant geringere Dominanzen als in den mit weniger Kalk behandelten übrigen Parzellen (A1–A4) auf (Abb. 3). Dasselbe Verhalten im Laubwald zeigte *Onychiurus armatus*. Für beide Arten liegen keine Literaturanga-

Tab. 3

Collembolenarten, die im Laub- oder Nadelwald signifikante Dominanzunterschiede zwischen ungedüngten (A 1–3, B 1–3) und gedüngten Parzellen (A 4–6, B 4–6) zeigten

○ signifikant höhere Dominanzen im Laubwald

□ signifikant höhere Dominanzen im Nadelwald.

Table 3

Collembolan species showing significantly different dominance in the unfertilized (A 1–3, B 1–3) and fertilized (A 4–6, B 4–6) plots of the deciduous or coniferous forest

○ dominance significantly higher in the deciduous forest

□ dominance significantly higher in the coniferous forest.

Art	ungedüngt	gedüngt
<i>Mesaphorura tenuisensillata</i>	○ (**)	
<i>Onychiurus quadriocellatus</i>		□ (**)
<i>Isotomiella minor</i>	○ (*)	
<i>Lepidocyrtus cyaneus</i>		○ (**) □ (*)
<i>Lepidocyrtus lanuginosus</i>		○ (***)

\* :  $p \leq 0,05$ ; \*\* :  $p \leq 0,01$ ; \*\*\* :  $p \leq 0,001$

ben über Dominanzänderungen nach Kalkung vor; für *O. armatus* fand HAGVAR (1984) allerdings einen Rückgang der Abundanzen nach Kalkung, gleichzeitig jedoch auch eine Abnahme nach künstlicher Versauerung. *Lepidocyrtus cyaneus* zeigte im Nadelwald in den mit 6 t Dolomit/ha gekalkten Parzellen signifikant höhere Dominanzen als in den 1994 ungekalkten und den mit 3 t Dolomit/ha behandelten. Eine Förderung dieser Art durch Kalkung wird durch HAGVAR & ABRAHAMSEN (1980) bestätigt.

Auch hinsichtlich der P, K-Düngung konnten signifikante Dominanzunterschiede ermittelt werden (Abb. 4, Tab. 3): *Mesaphorura tenuisensillata* und *Isotomiella minor* SCHÄFER 1896 wiesen im Laubwald in den ungedüngten Parzellen signifikant höhere Dominanzen auf, *Lepidocyrtus cyaneus* und *Lepidocyrtus lanuginosus* dagegen in den gedüngten. *Lepidocyrtus cyaneus* zeigte dasselbe Verhalten auch im Nadelwald, ebenso *Onychiurus quadriocellatus*. Von diesen Arten liegen nur für *Isotomiella minor* Literaturangaben über das Verhalten nach Düngung vor: TIMANS (1990) untersuchte die Wirkung zweier Dünger (Dolomit + Kalkmagnesia und Kalkammonsalpeter) auf die Bodenfauna eines Fichtenwaldes, fand für *I. minor* jedoch keine Reaktion auf die Düngung. Für die übrigen Arten gibt es keine derartigen Untersuchungen; lediglich von *Lepidocyrtus cyaneus* ist – allerdings für Ackerstandorte – eine Phosphor-Bedürftigkeit (HÖLLER-LAND 1962) bekannt, die für eine positive Wirkung der P, K-Düngung sprechen könnte.

### 3.4 Korrelationen

Nur für wenige Collembolenarten konnten durch Korrelationen mit bodenchemischen Parametern die beobachteten signifikanten Dominanzunterschiede in den verschieden behandelten Parzellen erklärt wer-

den (Tab. 4). So kann z.B. die negative Korrelation der Dominanzen von *Mesaphorura tenuisensillata* mit den mobilen Schwefelgehalten auf einen Zusammenhang mit der Düngung hindeuten, da Kalium als  $K_2SO_4$  gedüngt wurde, und die mobilen Gehalte an Schwefel im Of-Horizont der mit P, K gedüngten Parzellen ebenso wie die an Kalium höher waren als in den ungedüngten. Die Dominanzen dieser Art lagen dementsprechend im Laubwald in den gedüngten Parzellen signifikant unter denen der ungedüngten.

Teilweise werden die Befunde aber auch durch andere Untersuchungen bestätigt. Für *Lepidocyrtus cyaneus* z. B. mit signifikant höheren Dominanzen in den mit P, K gedüngten Parzellen fanden HAGVAR & ABRAHAMSEN (1984) eine positive Korrelation mit Kalium. *Isotoma notabilis*, die in der vorliegenden Untersuchung keine signifikanten Dominanzunterschiede vorwies, zeigte auch bei HAGVAR (1984) keine Reaktion auf Kalkung.

Die Untersuchungen wurden neun Monate nach den Behandlungsmaßnahmen durchgeführt. Es ist davon auszugehen, daß sich das System noch in der Umstellungsphase befindet, so daß erst in den Folgejahren kausale Zusammenhänge zwischen bodenchemischen Parametern und den Dominanzen spezieller Arten beschrieben werden können. Um die Ursachen für die Reaktionen einzelner Arten auf die Behandlungsmaßnahmen genauer zu klären, ist es daher nötig, die Entwicklung der Collembolenzönosen und das Verhalten spezieller Arten weiter zu verfolgen.

### Danksagung

Dem Forstamt Kottenforst (Bonn) sei an dieser Stelle für freundliche Unterstützung dieser Arbeit, dem Ministerium für Umwelt, Reaktorsicherheit und Landwirtschaft von NRW für die Bereitstellung finanzieller Mittel gedankt.

Art	Element	Laubwald			Nadelwald	
		Of	0–5 cm	5–10 cm	Of	Oh
<i>Mesaphorura macrochaeta</i>	C		-0,94**			
	N					-0,90*
	Na	+0,89*	-0,81*			
<i>M. tenuisensillata</i>	C		-0,83*			
	Na		-0,87*			
	S		-0,89*			
<i>Onychiurus armatus</i>	K	+0,83*				
	P			+0,83*		
<i>O. furcifer</i>	N	+0,94**				
	K				+0,94**	
	Cu	+0,83*				
	S				+0,89*	
	P				+0,83*	
<i>O. quadriocellatus</i>	C		+0,89*			
	N		+0,83*			
	S		+0,83*			
<i>Isotoma notabilis</i>	N					-0,90*
	Na					-0,83*
<i>Isotomiella minor</i>	K					+0,90*
	Ca					+0,90*
	Al					-0,90*
	Pb					-0,90*
<i>Lepidocyrtus cyaneus</i>	Na					-0,83*

\* :  $p \leq 0,05$ ; \*\* :  $p \leq 0,01$ ; \*\*\* :  $p \leq 0,001$

Tab. 4  
Korrelationskoeffizienten (SPEARMAN) für die signifikanten Korrelationen der Dominanzen einzelner Arten mit bodenchemischen Parametern. (Es wurden nur die Tiefenstufen berücksichtigt, in denen die entsprechende Art in mindestens vier Parzellen eines Bestockungstyps vorkam, davon mindestens in einer Parzelle mit  $\geq 500$  Individuen  $\cdot m^{-2}$ ). (n = 6).

Table 4  
Correlation coefficients (SPEARMAN) of the significant correlations between species dominances and soil chemistry parameters. (Only the depth levels were considered where a species was found in at least four plots of one forest type having in at least one of these plots  $\geq 500$  Individuen  $\cdot m^{-2}$ ). (n = 6).

Literatur

BAATH, E., BERG, B., LOHM, U., LUNDGREN, B., LUNDKVIST, H., ROSSWALL, T., SÖDERSTRÖM, B. & A. WIREN, 1980: Effects of experimental acidification and liming on soil organisms and decomposition in a Scots pine forest. – *Pedobiologia* 20: 85–100.

BRÜMMER, G., 1990: Stoffliche Belastung des Bodens und ihre ökologische Bedeutung. – In: Umwelt und Gesundheit. Beitrag Bundesvereinigung für Gesundheitserziehung (Hrsg.): 93–118.

DUNGER, W., 1982: Die Tiere des Bodens als Leitformen für anthropogene Umweltveränderungen. – *Decheniana – Beih.* 26: 151–157.

FJELLBERG, A., 1980: Identification keys to Norwegian Collembola. – *Norsk Entomologisk Forening*: 152 S.

FRITSCH, N. & G. EISENBEIS, 1992: Auswirkungen der Waldkalkung auf die Bodenmesofauna – Ergebnisse aus dem Fichtenstandort Hunsrück. – *Mitt. forstl. Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz* 21: 123–146.

GISIN, H., 1960: Collembolenfauna Europas. – *Ed. Mus. Hist. Nat. Genève*: 312 S.

GISIN, H., 1959–1967: Summarische Nachträge zur

Collembolenfauna Europas. – *Musée d'Histoire Naturelle, Genève*.

HAGVAR, S., 1984: Effects of liming and artificial acid rain on Collembola and Protura in coniferous forest. – *Pedobiologia* 27: 341–353.

HAGVAR, S. & G. ABRAHAMSEN, 1980: Colonisation by Enchytraeidae, Collembola and Acari in sterile soil samples with adjusted pH levels. – *Oikos* 34: 245–258.

HAGVAR, S. & G. ABRAHAMSEN, 1984: Collembola in Norwegian coniferous forest soils. III. Relations to soil chemistry. – *Pedobiologia* 27: 331–339.

HARTMANN, P., FISCHER, R. & M. SCHEIDLER, 1989: Auswirkungen der Kalkdüngung auf die Bodenfauna in Fichtenforsten. – *Verh. Ges. Ökol.* 17: 585–589.

HÖLLER-LAND, G., 1962: Die Abhängigkeit der bodenbewohnenden Collembolen von Düngung und anderen Standortfaktoren. – In: Die Beeinflussung der Bodenfauna durch Düngung. – *Monographien zur angewandten Entomologie* 18: 80–120.

POMORSKI, R. J., 1990: Morphological-systematic studies on the variability of pseudocelli and some morphological characters in *Onychiurus* of the

- »armatus-group« (*Collembola*, *Onychiuridae*). Part II. On synonyms within the »armatus-group«, with special reference to diagnostic characters. – Ann. Zool. 26: 535–576.
- SCHAEFER, M. & J. SCHAUERMANN, 1990: The soil fauna of beech forests: comparison between a mull and a moder soil. – Pedobiologia 34: 299–314.
- TIMANS, U., 1990: Zur Wirkung von zwei Düngern auf die Bodenfauna eines Fichtenwaldes. – J. Appl. Ent. 109: 347–357.
- ULRICH, B., 1982: Eine ökosystemare Hypothese über die Ursachen des Tannensterbens (*Abies alba* MILL.). – Forstwiss. Cbl. 100: 228–236.
- WEBER, R. & F. MAKESCHIN, 1991: Einfluß von saurer Beregnung und Kalkung auf die oberflächenaktiven Collembolen (*Collembola*: Apterygota) im Fichtenaltbestand Höglwald. – In: K. KREUTZER & A. GÖTTLEIN (Hrsg.): Ökosystemforschung Höglwald – Beiträge zur Auswirkung von saurer Beregnung und Kalkung in einem Fichtenaltbestand. – Hamburg und Berlin: 134–143.
- ZEIEN, H. & G.W. BRÜMMER, 1989: Chemische Extraktion zur Bestimmung von Schwermetallbindungsformen in Böden. – Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 59/1: 505–510.
- ZIMDARS, B. & W. DUNGER, 1994: Synopses on Palaearctic *Collembola*, Vol. 1: Tullbergiinae. – Abh. Ber. Naturkundemus. Görlitz 68, 3: 1–4.

### Adresse

Jutta Illmann  
Dr. Violette Geißen  
Prof. Dr. Gerhard W. Brümmer  
Institut für Bodenkunde  
Nussallee 13  
53115 Bonn



# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1996

Band/Volume: [27\\_1996](#)

Autor(en)/Author(s): Geißen Violette, Brümmer Gerhard W., Illmann Jutta

Artikel/Article: [Auswirkungen von Kalkungs- und Düngungsmaßnahmen auf die bodenbewohnende Collembolenfauna in Laub- und Nadelwald 427-434](#)