

Die Wirkung der Bodenversauerung auf Protura, Diplura und Collembola (Insecta, Apterygota) — Untersuchungen am Stammfuß von Buchen

VOLKMAR WOLTERS

Mit 2 Tabellen

Abstract

In the beech forest on limestone (mull) studied, there is a marked increase in the abundance of Collembola, Protura, and Diplura in the area around beech trees. The soil close to the trunks of the beech trees is strongly acidified ($\text{pH H}_2\text{O} < 4$) by the high input of protons via stemflow-water. This area has been used as a typical example of the impact of airborne pollutants, such as protons, heavy metals etc., on the microarthropods of forest soils. It could be demonstrated that differences in soil acidity on the different sides of the trees are correlated with the distribution of Apterygota. Collembola and Protura reached highest densities in the most acid soil, while Diplura only occurred in the soil with the higher pH-value. As indicated by the quality of the organic layer and by the composition of the soilfauna, the soil-conditions in the area around the trunks come close to the conditions in a moder soil. With respect to the species-specific reaction of Collembola, the hypothesis was developed that the long-term input of acid rain (and the factors normally connected with acid rain) to base-rich soils may favor epedaphic species. In certain microhabitats, these species could indicate, and probably promote, the disintegration of the litter layer and the mineral soil — a process usually connected with soil acidification.

1. Einleitung

Wegen der hohen Akzeptorfläche des Kronendaches ist der Säure- und Schwermetalleintrag, der mit dem Stammabfluß an den Waldboden gelangt, sehr hoch. So kann im Bereich des Stammfußes von Buchen der Protoneneintrag bis zu 23mal höher sein als im stammfernen Bereich (KOENIGS 1985). Dies führt auch auf basenreichen Standorten zu einer starken Versauerung des Bodenwassers (MEIWES & BEESE 1988). Nach einer Hypothese SCHÄFER's (1988) eignet sich der extrem belastete Mikrostandort „Stammfuß“ gut als Modell für die langfristige Wirkung von Schadstoffeinträgen auf die Bodenorganismen. In der vorliegenden Arbeit wird diese Hypothese durch die Untersuchung der Verteilung von Mikroarthropoden im stammnahen und im stammfernen Bereich von Altbuchen getestet. Die Ergebnisse lassen den Schluß zu, daß die Bodenfauna auch in scheinbar gut gepufferten Waldökosystemen sensibel auf die zum Teil extreme Belastung ihrer Umgebung reagiert.

2. Methoden

Die Untersuchungen wurden im Göttinger Wald, einem ca. 130jährigen Buchenwald auf Muschelkalk (420 ü. NN), durchgeführt. In einem Bereich, in dem der Bodentyp als Terra fusca Rendzina zu bezeichnen ist, wurden an 4 Buchen Bodenkerne entnommen (Durchmesser: 5,5 cm). Der Bohrer wurde an der Nord-, der Ost-, der Süd- und der Westseite der Bäume unmittelbar am Stammfuß bis zu einer Tiefe von 3 cm eingestochen. In jeweils 2 m Entfernung von jeder der Probestellen habe ich in gleicher Weise Bodenkerne entnommen. Da die Buchen so ausgewählt wurden, daß die benachbarten Bäume mindestens 5 m entfernt waren, waren die Kon-

trollproben also immer mindestens 2 m vom Fuß der Stämme entfernt. Zusätzlich wurden Proben für die Bestimmung des pH-Wertes (in 0—3 und 4—6 cm Bodentiefe), des Wassergehaltes, des Aschegewichtes und der Bodendichte genommen. Die Mikroarthropoden wurden mit Hilfe einer modifizierten Macfadyen-Extraktion auf dem Boden ausgetrieben (WOLTERS 1983; Probenzahl n = 32).

3. Ergebnisse

3.1 Bodenversauerung im Stammfußbereich

In der Streuschicht am Fuße der Buchen war der Wassergehalt signifikant höher als im baumfernen Bereich ($p < .05$). Dies weist auf die Bedeutung des Stammabflußwassers und der veränderten mikroklimatischen Verhältnisse im Stammfußbereich hin. Gemessen an der Feuchtigkeit der Stämme läuft an der Süd-/Ostseite der Bäume ein besonderes großer Teil des Stammablaufwassers hinunter. Die Feuchtigkeit von Streu und Boden war allerdings an der Süd- und Westseite der Bäume am höchsten ($p < .05$). Die pH-Werte zeigen, daß der Boden an der südlichen Seite der Stämme besonders stark versauert ist (Tab. 1). Der Zusammenhang zwischen Stammablauf und Bodenversauerung wird durch die geringe Versauerung des Bodens an der relativ trockenen Nordseite der Stämme besonders deutlich.

Methode	I pH (H ₂ O)						II pH (KCl)											
	I	N	I	O	I	S	I	W	II	N	I	O	I	S	I	W	I	
Himmelsrichtung	I	N	I	O	I	S	I	W	II	N	I	O	I	S	I	W	I	
Stammfuß	0-3	I	4.4	I	3.9	I	3.7	I	3.9	II	3.7	I	3.1	I	2.9	I	2.8	I
		I	I	I	I	I	I	II	II	I	I	I	I	I	I	I	I	I
	3-6	I	4.2	I	3.8	I	3.6	I	3.9	II	3.5	I	3.0	I	2.9	I	3.1	I
		I	I	I	I	I	I	II	II	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Mittelwert	0-3	I				3.9				II			3.0					I
(stammnah)		I								II								I
	3-6	I				3.8				II			3.6					I
		I								II								I
stammfern	0-3	I				5.6				II			4.3					I
		I								II								I
	3-6	I				5.3				II			3.9					I
		I								II								I

Tab. 1: pH-Wert der Bodenlösung am Stammfuß von Buchen und im stammfernen Bereich (Ah-Horizont des Göttinger Kalkbuchenwaldes, Humusform: mull).

3.2 Umsatz der organischen Substanz am Stammfuß

Am Fuß der Bäume war das Trockengewicht der Streuauflage signifikant erhöht ($p < .05$). An den verschiedenen Seiten der Bäume nahm das Gewicht der Streuauflage in der Reihenfolge $S > O > W > N$ ab. Das hohe Gewicht der Streu an der Westseite der Bäume wurde vor allem durch den großen Anteil an mineralischen Bestandteilen verursacht. Eine Akkumulation organischer Substanz fand also nur an der Süd- und Ostseite des Stammfußes statt. In diesem Bereich war die Beschaffenheit des Auflagehorizontes z. T. mit der eines Moderbodens vergleichbar. An der Westseite der Bäume war bei hoher Bodendichte relativ wenig organisches Material in den oberen 3 cm des Ah-Horizontes. Dies weist darauf hin, daß der hohe Anteil an mineralischen Bestandteilen in der Streuschicht nicht eine Folge der Bioturbation (d. h. einer Vermengung von Streu und Mineralboden durch die Bodentiere) ist, sondern auf abiotische

Einflüsse (Einwaschung o. ä.) zurückgeht. An der Nordseite der Stämme war die Streuauflage besonders dünn.

3.3 Verteilung und Individuendichte der Apterygota im Stammfußbereich von Buchen

Im Stammfußbereich der Buchen war die Abundanz der Protura, Diplura und Collembola deutlich erhöht (Tab. 2). Abgesehen von einer gewissen Zunahme des Anteils hemiedaphischer Arten, waren die Lebensformtypen der Collembolen in Stammnähe in ähnlicher Zusammensetzung vertreten wie im stammfernen Bereich. Dies zeigt, daß die unmittelbare Umgebung Bäume durchaus mit der freien Fläche zu vergleichen ist. Eine Bevorzugung des Stammfußbereiches ließ sich für *H. burkilli*, die meisten Poduromorpha (*X. armatus*, *X. corticalis*, *F. clavisetata*) *T. krausbaueri*, die meisten Onychiuridae (*O. tricamatus*, *O. furcifer*, *O. sublegans*), *F. quadrioculata*, juvenile Isotomiden und *E. corticalis* nachweisen. Eine Meidung des baumnahen Bereiches zeigte nur *H. denticulata*.

Die Verteilung der Apterygota am Fuße der Bäume bestätigt die Bedeutung des Stammabflusses für die Zusammensetzung der Bodenfauna. Die Gesamtzahl der Collembolen korrelierte linear mit dem pH-Wert an den verschiedenen Seiten der Buchen (obere 3 cm des Mineralbodens, $r^2 = .93$): mit zunehmender Bodenversauerung stieg die Dichte der Collembolen an. Die Proturen bevorzugten ebenfalls den versauerten Bereich an der Ost- und an der Südseite der Buchenstämme, mieden jedoch den stark verdichteten Boden an der Westseite. Dies weist auf die Bedeutung der Veränderung bodenphysikalischer Verhältnisse durch den erhöhten Wassereintrag hin. Dipluren wurden nur an der am geringsten belasteten Nordseite der Bäume gefunden. Die artspezifischen Unterschiede in der Bevorzugung bestimmter Seiten des Stammfußes durch Collembolen zeigen, daß die Reaktion der Mikroarthropoden auf die Veränderungen im Stammfußbereich von den biologischen Besonderheiten der einzelnen Arten abhängt (Tab. 2). Nach den abiotischen Faktoren lassen sich verschiedene Gruppen der Apterygotenecoenose am Stammfuß zusammenfassen:

a. Bevorzugung des wenig belasteten Bereiches (N): *T. krausbaueri*, *Diplura*;

b. Bevorzugung des stark belasteten Bereiches (S): *T. callipygos*, *L. lignorum*, *T. flavescens*, *E. corticalis*;

b1. Bevorzugung besonders feuchter Bereiche (S/W): *H. burkilli*, *I. notabilis*;

b2. Bevorzugung des Bereiches, in dem die organische Substanz akkumuliert (S/O und O): *H. denticulata*, *O. scotarium*, *I. minor*, *M. minimus*, Protura.

Der starke Anstieg Oberflächen-orientierter Arten an der stark belasteten Südseite der Bäume ist besonders auffällig.

Diskussion

Im Zusammenhang mit der Diskussion von Großaggregaten der Mikroarthropoden entlang von Umweltgradienten betont STREIT (1982) die große Bedeutung der Baumstämme für die edaphische Mesofauna. Meine Untersuchungen an Proturen, Dipluren und Collembolen bestätigen diesen Befund. Zwar konnte ich keine so extreme Steigerung der Siedlungsdichte von Springschwänzen im baumnahen Bereich nachweisen wie STEBAYEVA (1975), aber auch im Göttinger Wald war die Dichte der Collembolen am Fuß der Bäume bis zu 1,5mal zu hoch wie im stammfernen Bereich. Die Dichte der Proturen war an bestimmten Seiten der Buchen sogar um den Faktor 6.6 und die Dichte der Dipluren um den Faktor 5 gegenüber der freien Fläche erhöht.

An der Seite der Buchen, an der die größte Menge des Stammablaufes herunterfließt, kommt es zu einer starken Bodenversauerung und zu einer Streuakkumulation. Die positive Korrelation zwischen dem Anstieg der Bodenversauerung und der Siedlungsdichte der Collembolen belegt die große Bedeutung des erhöhten Protoneneintrages für die edaphischen Mikroarthropoden. Die erhöhte Abundanz der Collembolen im besonders versauerten Bereich des Stammfußes deckt sich mit der positiven Reaktion dieser Tiergruppe auf experimentelle Bodenver-

Himmelsrichtung	I stammfern I		Stammfuß						I				
	I	I	I	N	I	O	I	S		I	W	I	Mittel
<i>Hypogastrura</i>	I	80	I	0	I	0	I	632	I	948	I	395	I
<i>burkilli</i>	I		I		I		I		I		I		I
<i>Hypogastrura</i>	I	526	I	0	I	211	I	316	I	0	I	132	I
<i>denticulata</i>	I		I		I		I		I		I		I
<i>Neanura</i>	I	55	I	0	I	0	I	0	I	0	I	0	I
<i>muscorum</i>	I		I		I		I		I		I		I
Übrige Poduromorpha	I	265	I	2527	I	421	I	4948	I	3053	I	2737	I
(s. Text)	I		I		I		I		I		I		I
<i>Onychiurus</i>	I	948	I	948	I	1790	I	632	I	526	I	974	I
<i>scotarius</i>	I		I		I		I		I		I		I
<i>Tullbergia</i>	I	2921	I	7370	I	3790	I	4572	I	1684	I	4354	I
<i>krausbaueri</i>	I		I		I		I		I		I		I
<i>Tullbergia</i>	I	79	I	0	I	0	I	211	I	0	I	53	I
<i>callipygos</i>	I		I		I		I		I		I		I
Übrige Onychiuri-	I	895	I	2632	I	1684	I	1895	I	316	I	1632	I
dae (s. Text)	I		I		I		I		I		I		I
<i>Folsomia</i>	I	1500	I	3158	I	4001	I	3895	I	5053	I	4027	I
<i>quadrioculata</i>	I		I		I		I		I		I		I
<i>Isotoma</i>	I	5184	I	3474	I	3895	I	6317	I	6212	I	4975	I
<i>notabilis</i>	I		I		I		I		I		I		I
<i>Isotomiella</i>	I	5447	I	5053	I	10107	I	4738	I	4527	I	6106	I
<i>minor</i>	I		I		I		I		I		I		I
<i>Isotoma</i> juv.	I	1605	I	316	I	4843	I	2000	I	6001	I	3290	I
	I		I		I		I		I		I		I
<i>Lepidocyrtus</i>	I	6683	I	3580	I	4422	I	8582	I	5475	I	5515	I
<i>lignorum</i>	I		I		I		I		I		I		I
<i>Pseudosinella</i>	I	342	I	0	I	632	I	0	I	526	I	290	I
<i>alba</i>	I		I		I		I		I		I		I
<i>Heteromurus</i>	I	132	I	105	I	105	I	0	I	105	I	79	I
<i>nitidus</i>	I		I		I		I		I		I		I
<i>Tomocerus</i>	I	763	I	211	I	316	I	1474	I	737	I	685	I
<i>flavescens</i>	I		I		I		I		I		I		I
<i>Entomobrya</i>	I	211	I	0	I	0	I	0	I	0	I	0	I
<i>muscorum</i>	I		I		I		I		I		I		I
<i>Entomobrya</i>	I	211	I	737	I	632	I	4001	I	0	I	1343	I
<i>corticalis</i>	I		I		I		I		I		I		I
<i>Orchesella</i>	I	79	I	211	I	0	I	0	I	0	I	53	I
<i>flavescens</i>	I		I		I		I		I		I		I
<i>Megalothorax</i>	I	1131	I	421	I	3369	I	1579	I	316	I	1421	I
<i>minimus</i>	I		I		I		I		I		I		I
<i>Arrhopalites</i> juv.	I	0	I	0	I	105	I	0	I	0	I	26	I
	I		I		I		I		I		I		I
Collembola	I	28186	I	28214	I	36006	I	42322	I	34637	I	35295	I
	I		I		I		I		I		I		I
Protura	I	658	I	316	I	4316	I	2572	I	0	I	1801	I
	I		I		I		I		I		I		I
Diplura	I	105	I	526	I	0	I	0	I	0	I	263	I
	I		I		I		I		I		I		I

Tab. 2: Abundanz der Apterygota am Stammfuß von Buchen und im stammfernen Bereich (Ind. pro m² in der Laubauflage und im Ah-Horizont des Göttinger Kalkbuchenwaldes, Humusform: mull; n = 32, Juni).

sauerung (e. g. HAGVAR 1984, HAGVAR & KJÖNDAL 1981). Der von CORSMANN (1982) nachgewiesene Biomasseanstieg der säureempfindlichen Gehäuseschnecken am Fuß der Buchen des Göttinger Waldes verdeutlicht jedoch, daß eine einfache Korrelation zwischen der Bodenversauerung und der Dichte der Tiere am Stammfuß problematisch ist. Es ist schwer zu klären, inwieweit dieser Bereich für bestimmte Arten nur als Durchgangszone bzw. als kurzfristiges Refugium (z. B. vor Austrocknung) dient. So deutet die Artenzusammensetzung der Gastropoden darauf hin, daß die empfindliche Reaktion kleiner, immobilere Arten auf Belastungen im Stammfußbereich durch große Arten, die schnell zwischen verschiedenen Mikrohabitaten wechseln können, überlagert wird. Entsprechend läßt sich sicherlich auch die Verteilung der Mikroarthropoden am Stammfuß nicht allein auf eine Bodenversauerung zurückführen. Die Untersuchungen von van STRAALEN et al. (1987) belegen z. B. die große Bedeutung der säurebedingten Nährstoffverarmung für die Mesofauna. Weitere Untersuchungen müssen zeigen, welchen Einfluß solche und andere Faktoren (erhöhte Bodenfeuchte, Schwermetallbelastung, veränderte Beschaffenheit von Streu und Boden etc.) auf Bodenorganismen im Mikrostandort „Stammfuß“ haben.

Eine Reihe von Autoren hat die Folgen künstlicher Bodenversauerung auf die Bodenfauna untersucht (z. B. ABRAHAMSEN 1983, BAATH et al. 1980, HAGVAR 1984, HAGVAR & AMUNDSEN 1981, HEUNGENS & van DALE 194, LEETHAM et al. 1982, SCHAUERMANN 1987). In allen Fällen reagierten die einzelnen Bodentierarten sehr unterschiedlich auf die erhöhte Säurebelastung. Meine Untersuchungen bestätigen dieses artspezifische Reaktionsmuster der Bodentiere. Betrachtet man allerdings den pH-Wert als die Hauptvariable, so stehen meine Ergebnisse zum Teil im Widerspruch zu den Befunden der genannten Autoren. So reagierten *I. notabilis* und *I. minor* in den Experimenten von HAGVAR & KJÖNDAL (1981) sehr empfindlich auf simulierten sauren Regen, während *M. yosii* (eine Art, die möglicherweise mit *T. krausbaueri* identisch ist) durch den simulierten sauren Regen gefördert wurde. Nach meinen Untersuchungen bevorzugte *I. notabilis* dagegen die Süd-/Westseite und *I. minor* bevorzugte die Ostseite der Bäume — also besonders stark versauerte Bereiche des Stammfußes. *T. krausbaueri* bevorzugte eindeutig die weniger versauerte Nordseite. Die langfristige Wirkung erhöhter Schadstoffbelastung im Stammfußbereich läßt sich also nur begrenzt mit den Ergebnissen relativ kurzfristiger Versauerungsexperimente vergleichen.

Trotz aller Probleme bei der Bewertung meiner Untersuchungsergebnisse bestätigt die klare Reaktion der Proturen, Dipluren und Collembolen die Hypothese von der Eignung des Mikrostandortes „Stammfuß“ für die Beurteilung der Auswirkungen erhöhter Schadstoffbelastungen auf die Bodenorganismen. Zusammen mit der Bodenversauerung und der Streuakkumulation zeigt der Anstieg der Mesofauna in besonders belasteten Bereichen des Stammfußes, daß es auch in scheinbar gut gepufferten Mullböden zu einer Entwicklung in Richtung auf die biotischen und abiotischen Verhältnisse eines Moderbodens kommen kann. Aus der überraschenden Zunahme der Biomasse Oberflächen-orientierten Collembolenarten im besonders versauerten Bereich der Bäume läßt sich die Hypothese ableiten, daß bei der kleinräumigen Versauerung von Waldböden Tierarten gefördert werden, die auf die säurebedingte Entkopplung von organischer Auflage und Mineralboden hinweisen — und diese möglicherweise sogar beschleunigen. Eine typische „Moder-Fauna“ kann sich erst einstellen, wenn die Versauerung so weit fortgeschritten ist, daß sich acidophile Arten ausbreiten bzw. ansiedeln. Da das Verständnis solcher und ähnlicher Entwicklungen innerhalb der Zersetzergemeinschaft von großer Bedeutung für die Beurteilung der Stabilität von Waldökosystemen ist, sind weitere Untersuchungen dringend erforderlich.

Literatur

ABRAHAMSEN, G. (1983): Effects of lime and artificial acid rain on the enchytraeid (Oligochaeta) fauna in coniferous forest. — *Holarc. Ecol.* 6, 247—254.

- BAATH, E., BERG, B., LOHM, U., LUNDGREN, B., LUNDQUIST, H., ROSSWALL, T., SÖDERSTRÖM, B. & WIREN, A. (1980): Effects of experimental acidification and liming on soil organisms and decomposition in Scots pine forest. — *Pedobiologia* **20**, 85—100.
- CORSMANN, M. (1982): Untersuchungen zur Ökologie der Schnecken (Gastropoda) eines Kalkbuchenwaldes: Populationsdichte, Phänologie und kleinräumige Verteilung. — *DROSERA* **81**, 75—92.
- HAGVAR, S. (1984): Effects of liming and artificial acid rain on Collembola and Protura in coniferous forest. — *Pedobiologia* **27**, 341—354.
- HAGVAR, S. & AMUNDSEN, T. (1981): Effects of liming and artificial acid rain on the mite (Acari) fauna in coniferous forest. — *Oikos* **37**, 7—20.
- HAGVAR, S. & KJÖNDAL, B. R. (1981): Effects of artificial acid rain on the microarthropod fauna in decomposing birch leaves. — *Pedobiologia* **22**, 409—422.
- HEUNGENS, A. & van DAELE, E. (19884): The influence of some acids, bases and salts on the mite and Collembola population of a pine litter substrate. — *Pedobiologia* **27**, 299—311.
- KOENIES, H. (1985): Über die Eigenart der Mikrostandorte im Fußbereich der Altbuchen unter besonderer Berücksichtigung der Schwermetallgehalte in der organischen Auflage und im Oberboden. — *Berichte aus dem Forschungszentrum Waldökosysteme/Waldsterben*, **9**, 288 S.
- LEETHAM, J. W., McNARY, T. J., DODD, J. L. & LAUENROTH, W. K. (1982): Response of soil Nematodes, Rotifers, and Tardigrades to three levels of season-long sulfur dioxide exposure. — *Water, Air and Soil Pollution* **17**, 343—356.
- MEIWES, K. J. & BEESE, F. (1988): Ergebnisse der Untersuchung des Stoffhaushaltes eines Buchenwaldökosystemes auf Kalkgestein. — *Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme B*, **9**, 1—141.
- SCHÄFER, H. (1988): Auswirkungen der Deposition von Luftschadstoffen auf die Streuzersetzung in Waldökosystemen. — Eine Fallstudie an den durch Stammablaufwasser stark säure- und schwermetallbelasteten Baumfuß-Bodenbereichen alter Buchen. — *Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben A*, **37**, 244pp.
- SCHAUERMANN, J. (1987): Tiergesellschaften der Wälder im Solling unter dem Einfluß von Luftschadstoffen und künstlichem Säure- und Düngereintrag. — *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*, Bd. **16**, 53—62.
- STEBAYEVA, S. K. (1975): Phytogenetic microstructure of Collembola associations in steppes and forests of Siberia. — In: J. VANEK (ed.): *Progress in Soil Zoology. Proc. 5th Int. Coll. Soil. Zool., The Hague (W. Junk/Prague (Academia)*, 77—84.
- van STRAALEN, N. M., GEURS, M. & van der LINDEN, J. M. (1987): Abundance, pH-preference and mineral content of Oribatida and Collembola in relation to vitality of pine forests in the Netherlands. — In: Perry R., Harrison, R. M., Bell J. N. B., Lester, J. N. (eds.). *Acid Rain: Scientific and Technical Advances. Publications Division, Selper Ltd., London*, pp 674—679.
- STREIT, B. (1982): Microarthropod population gradients and aggregations in the soil of a mixed temperate deciduous forest. — *Rev. suisse Zool.*, **89**, 993—1004.
- WOLTERS, V. (1983): Ökologische Untersuchungen an Collembolen eines Buchenwaldes auf Kalk. — *Pedobiologia*, **25**, 73—85.

Anschrift des Verfassers:
 Dr. VOLKMAR WOLTERS,
 II. Zoologisches Institut der Universität,
 Berliner Str. 28,
 D-3400 Göttingen

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahresberichte des Naturwissenschaftlichen Vereins Wuppertal](#)

Jahr/Year: 1989

Band/Volume: [42](#)

Autor(en)/Author(s): Wolters Volkmar

Artikel/Article: [Die Wirkung der Bodenversauerung auf Protura, Diplura und Collembola \(Insecta, Apterygota\) - Untersuchungen am Stammfuß von Buchen 45-50](#)