

Auswirkungen von Kalkungs-, Düngungs- und faunistischen Wiederbesiedlungsmaßnahmen auf die Lumbricidenfauna von Waldböden

Violette Geißen, Anne Brenner, Alexander Schöning und Gerhard W. Brümmer

Synopsis

Effects of liming, fertilization and artificial recolonisation on the earthworm communities of forest soils

This investigation presents the effects of liming in different quantities – partly combined with P/K fertilization – of strongly acidic soils under oak-beech (*Carpinus betulus/Quercus robur*) and spruce forest (*Picea abies*) on earthworms. Furthermore endogaeic and anecic forms of earthworms were transferred from neighbouring grassland into the forest soils in order to reintroduce species which are extinct in these acidic soils.

In the first two years after the 2nd treatment in the broadleaf forest there was a significant increase of the abundances of the earthworms specially in the variants treated with 3 t dolomite/ha and 12 t dolomite/ha. The introduction of endogaeic species of earthworms was successful in all plots in the broadleaf forest. Anecic species could not be introduced so far.

In the spruce forest plots the abundances of the earthworms varied strongly during the period of investigation. So far only a slightly positive influence of liming and fertilization could be determined. The introduction of endogaeic species of earthworms was successful although the abundances were still very low.

Lumbriciden, Waldböden, Laubwald, Nadelwald, Kalkung, Düngung, künstliche Ansiedlung

Earthworms, forest soil, broadleaf forest, spruce forest, liming, fertilization, artificial recolonisation

1 Einleitung

Die Versauerung von Waldböden wurde in den letzten Jahren durch anthropogene Einflüsse stark beschleunigt (ULRICH & al. 1979). Innerhalb weniger Jahre fand eine starke Absenkung der Bodenreaktion vieler Waldböden statt (VON ZEJSCHWITZ 1982). Dies führte u.a. zu einer beträchtlichen Schwermetall- und Aluminium-Mobilisierung (ULRICH 1986, BRÜMMER & al. 1991). Diese Entwicklung wird mitverantwortlich gemacht für das Auftreten der neuar-

tigen Waldschäden. Sie führte aber gleichzeitig auch zu nicht weniger bedeutsamer Schädigung der Bodenfauna (CODERRE & al. 1995).

Eine unbestritten wichtige Rolle innerhalb der Bodenfauna kommt den Lumbriciden zu. Diese haben in stark versauerten Böden kaum noch Überlebenschancen, wobei die anözischen und endogäischen Lebensformen am empfindlichsten auf Bodenversauerung reagieren (WALLWORK 1976). Fehlen diese Formen, so ist die Bioturbation gestört und die Streu wird nur teilweise abgebaut (WOLTERS & SCHAUERMANN 1989).

Ziel dieser auf mehrere Jahre angelegten Untersuchungen ist es, die Lumbriciden durch Kalkungs- und z.T. P,K-Düngungsmaßnahmen zu fördern und auf diese Weise die stark versauerten, degradierten Waldböden biologisch zu aktivieren. Da durch Kalkung und Düngung alleine keine neuen Lumbricidenarten angesiedelt werden können (MAKESCHIN 1991), wurden zusätzlich Bodenmonolithe aus einer lumbricidenreichen Waldwiese in die Versuchspartellen eingesetzt.

Die vorliegende Arbeit stellt die Auswirkungen der Behandlungen auf Arten- und Individuenzahl der Lumbriciden in den ersten zwei Jahren nach differenzierten Kalkungs- und Düngungsmaßnahmen dar.

2 Untersuchungsgebiet

Die Untersuchungen wurden im südlichen Bereich der Niederrheinischen Bucht, im Kottenforst bei Bonn, in ca. 150jährigen Hainbuchen-Stieleichen- (*Carpinus betulus* – *Quercus robur*) sowie in ca. 100jährigen Fichtenbeständen (*Picea abies*) durchgeführt. Die Waldböden werden als Pseudogleye aus Lößlehm über der Hauptterrasse des Rheins beschrieben.

Unter dem Laubwald ist die Humusform Mullartiger Moder ausgebildet, unter dem Fichtenwald Typischer bis Rohhumusartiger Moder mit mächtigeren organischen Auflagen.

3 Material und Methoden

3.1 Behandlungen der Versuchspartellen

Im Herbst 1993 wurden 12 Versuchspartellen mit einer Größe von je 2500 m² angelegt. Fünf Eichenpartellen (A2–A6) und fünf Fichtenpartellen (B2–B6) wurden 1988 im Rahmen einer landesweiten Kalkung mit 3 t

Dolomit/ha behandelt, während zwei Parzellen (A1 und B1) unbehandelt blieben. Im Januar 1994 und z. T. zusätzlich im Februar 1995 erfolgte eine differenzierte Behandlung der Parzellen mit unterschiedlichen Kalkmengen (Dolomit der Korngröße: 90 % < 90 µ m), z. T. kombiniert mit P,K-Düngergaben (Tab. 1).

Zur Wiederansiedlung von Lumbriciden wurden im Herbst 1994 aus einer benachbarten arten- und individuenreichen Waldwiese zylindrische Bodenmonolithe mit einem Durchmesser von 25 cm und einer Tiefe von 15 cm entnommen und in den inneren Bereich der jeweiligen Waldparzellen transplantiert (Tab. 2). 18 Implantate wurden je Versuchspartelle in einem Abstand von je zwei Metern eingesetzt. Dies entspricht der Ausbringung von ca. 20 Lumbriciden pro m² auf einer Fläche von 36 m², von der aus die Besiedlung der Parzelle erfolgte.

3.2 Probenahme und statistische Verrechnung

Die Beprobung der Versuchspartellen erfolgte im Herbst 1993 – zur Erfassung der Lumbricidenpopulation vor Anlage der Kalkungsstufen – sowie im Früh-

jahr und Herbst 1994/95. Mit Hilfe eines Stahlzylinders von 30 cm Tiefe und 25 cm Durchmesser wurden pro Parzelle jeweils zehn Bohrkern entnommen. Die Probenahme erfolgte in ein bzw. zwei Metern Entfernung von den Bodenimplantaten. Da keine signifikanten Unterschiede zwischen den Proben in den unterschiedlichen Entfernungen festgestellt wurden, sind die Ergebnisse im folgenden zusammen dargestellt. Die Lumbriciden wurden durch ein kombiniertes Verfahren aus Handauslese und dynamischer Hitzeextraktion erfaßt (DUNGER & FIEDLER 1989). Da keine Wurmgänge anözischer Lumbriciden vorhanden waren, erübrigte sich eine Austreibung mit Formalinlösung. Die Bestimmung der Lumbriciden erfolgte nach WILCKE (1967) und BOUCHÉ (1972). Zeitgleich wurden je drei Mischproben in dem inneren Bereich jeder Parzelle (100 m²) zur Bestimmung bodenchemischer Parameter entnommen. An dieser Stelle wird allerdings nur auf die Ergebnisse der pH(CaCl₂)-Werte eingegangen.

Zur Ermittlung signifikanter Unterschiede zwischen den Abundanz der Lumbriciden in den Versuchspartellen wurde der U-Test angewandt.

Tab. 1
Behandlungen der Versuchspartellen.

Laubwald	Nadelwald
A 1 ⇒ unbehandelt °	B 1 ⇒ unbehandelt °
A 2 ⇒ 1988 : 3 t Dolomit/ha °	B 2 ⇒ 1988 : 3 t Dolomit/ha °
A 3 ⇒ 1988 : 3 t Dolomit/ha Jan. 94 : 3 t Dolomit/ha °	B 3 ⇒ 1988 : 3 t Dolomit/ha Jan. 94 : 3 t Dolomit/ha °
A 4 ⇒ 1988 : 3 t Dolomit/ha Jan. 94 : 3 t Dolomit/ha plus P,K*°	B 4 ⇒ 1988 : 3 t Dolomit/ha Jan. 94 : 3 t Dolomit/ha plus P,K* °
A 5 ⇒ 1988 : 3 t Dolomit/ha Jan. 94 : 6 t Dolomit/ha plus P,K*°	B 5 ⇒ 1988 : 3 t Dolomit/ha Jan. 94 : 6 t Dolomit/ha plus P,K* °
A 6 ⇒ 1988 : 3 t Dolomit/ha Jan. 94 : 6 t Dolomit/ha plus P,K*° Jan. 95 : 6 t Dolomit/ha	B 6 ⇒ 1988 : 3 t Dolomit/ha Jan. 94 : 6 t Dolomit/ha plus P,K* ° Jan. 95 : 6 t Dolomit/ha
*) Die P,K-Düngung erfolgte mit 200 kg/ha P ₂ O ₅ (weicherdiges Rohphosphat), 150 kg/ha K ₂ O (Kaliumsulfat) im Juni 94 nach der 2. Probenahme	
°) Herbst 1994: Einsetzen der Transplantate vor der 3. Probenahme	

Table 1
Treatment of the variants.

Tab. 2
Abundanzen der Lumbriciden
in der Waldwiese im Herbst
1994 bis in 15 cm Tiefe.

Table 2
Abundances of the lumbricids
in the grassland in
autumn 1994 in the upper
15 cm.

	Wiese Individuen/m ²
Lumbricus terrestris	16,3
Lumbricus rubellus rubellus	4,1
Lumbricus rubellus rubellus juv.	114,2
Aporrectodea caliginosa f. typica	77,5
Aporrectodea limicola	49,0
Aporrectodea rosea f. interposita	18,4
Aporrectodea juv.	508,0
Summe	787,4

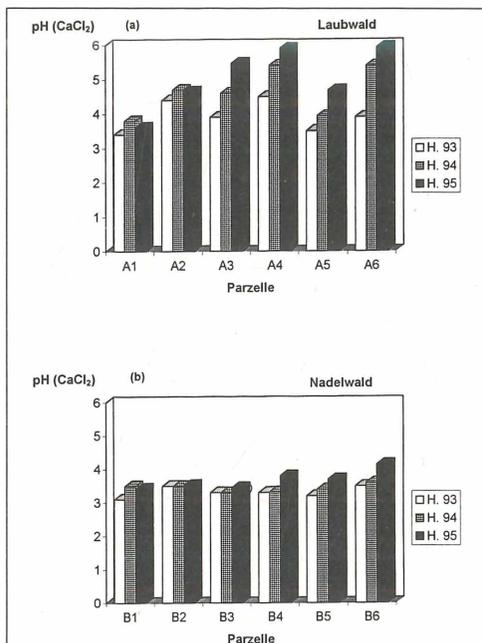


Abb. 1a, b

pH (CaCl₂) – Werte im Ah-Horizont (0–5 cm) der Laub- (a) und Nadelwaldparzellen (b) von Herbst 1993 bis Herbst 1995.

Fig. 1a, b

pH (CaCl₂) values in the Ah horizons (0–5 cm) of the broad-leaf (a) and the spruce forest variants (b) from autumn 1993 to autumn 1995.

4 Resultate und Diskussion

4.1 Veränderungen der pH-Werte infolge der Behandlungsmaßnahmen

Die Veränderungen der pH(CaCl₂)-Werte in den obersten 5 cm des Ah-Horizontes der Laub- und Nadelwaldparzellen von Herbst 1993 bis Herbst 1995 sind in den Abb. 1a und b dargestellt. Die Kalkungsmaßnahmen haben zu einem deutlichen Anstieg der pH-Werte geführt. In den Laubwaldparzellen war eine kontinuierliche Erhöhung um bis zu zwei pH-Einheiten im Ah-Horizont festzustellen. In den Nadelwaldparzellen erfolgte insbesondere von Herbst 1994 bis Herbst 1995 ein Anstieg der pH-Werte, allerdings nur um bis zu 0.5 pH-Einheiten. Der Anstieg der pH-Werte im Ah-Horizont war in den behandelten Fichtenparzellen infolge der insgesamt stärkeren Versauerung und des mächtigeren Auflagehorizontes geringer ausgeprägt. Im Nadelwald erfolgte eine starke Veränderung durch die Maßnahmen zunächst in der organischen Auflage (ILLMANN & al. 1997). Durch die Mächtigkeit dieser Auflage ist dort eine verzögerte Wirkung im Ah-Horizont zu erwarten.

4.2 Veränderung der Individuenzahlen der Lumbriciden

Die Abb. 2a und 2b zeigen die Entwicklung der Abundanzen aller Lumbriciden in den Laub- (a) und

Nadelwaldparzellen (b) von Herbst 1993 – vor den differenzierten Behandlungsmaßnahmen im Winter 1994 – bis Herbst 1995. Die Resultate der Parzelle A5 sind nicht dargestellt, da dort starke Störungen durch Wildschweine auftraten.

Die Behandlungsmaßnahmen haben in den Laubwaldparzellen zu deutlich höheren Abundanzen der Lumbriciden geführt. Sowohl im Herbst 1994 als auch im Herbst 1995 konnte eine signifikant höhere Besiedlung der behandelten Parzellen (A3, A4, A6) durch Lumbriciden ermittelt werden ($p < 0.05$). Zwischen den behandelten Parzellen konnten am jeweiligen Termin (Herbst 1994 bzw. 1995) nur zufällige Unterschiede bezüglich der Abundanzen festgestellt werden (Abb. 2a). Auch SCHAUERMANN (1985), MAKESCHIN (1991) u. a. beschreiben eine Zunahme der Abundanzen von Lumbriciden durch Kalkungsmaßnahmen.

Betrachtet man die Entwicklung der Abundanzen im Zeitverlauf, so wies die mit 3+12t/ha gekalkte und mit P,K gedüngte Parzelle A6 die höchste Steigerung von 8 Individuen/m² im Herbst 1993 auf 82 Individuen/m² im Herbst 1995 auf (Abb. 2a) und scheint die günstigsten Bedingungen für die Entwicklung der Lumbriciden zu bieten. Auch in Parzelle A3 (3+3t Dolomit/ha) zeigte sich ein starker Anstieg der Abundanzen der Lumbriciden von 1993 bis 1995 (Abb. 2a). Parzelle A4 (3+3t Dolomit/ha + P,K) wies nur geringfügige Veränderungen im Zeitverlauf auf, hatte allerdings mit 70 Individuen/m² eine wesentlich höhere Ausgangspopulation als die anderen Parzellen.

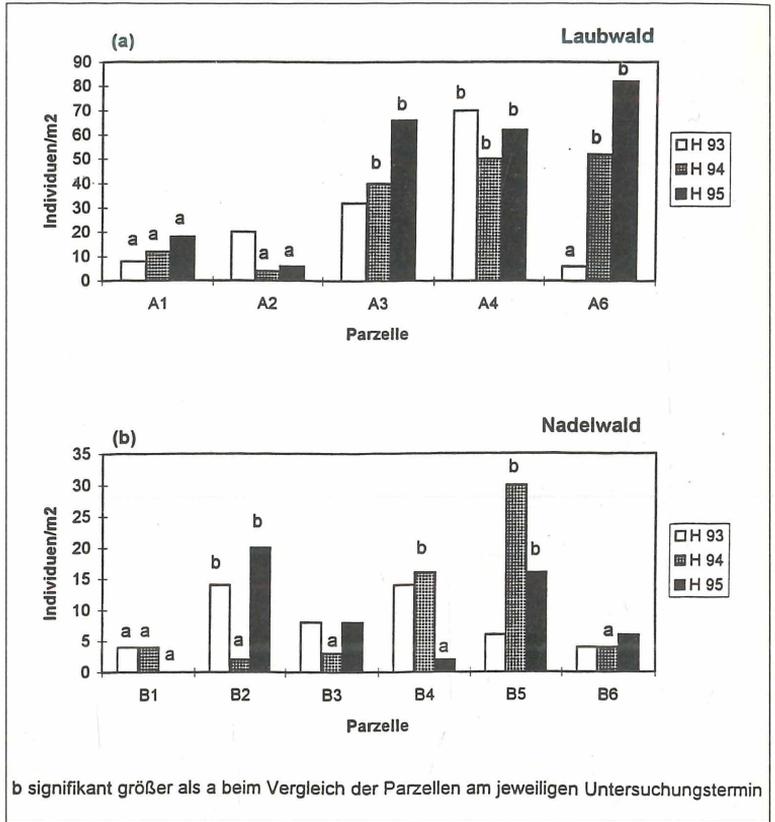


Abb. 2a, b

Abundanzen der Lumbriciden in den Laub- (a) und Nadelwaldparzellen (b) von Herbst 1993 bis Herbst 1995 (Resultate von A5 nicht dargestellt).

Fig. 2a, b

Abundances of the lumbricides in the broadleaf (a) and the spruce forest variants (b) from autumn 1993 to autumn 1995 (results of A5 not presented).

Die Wiederansiedlung der Lumbriciden durch die Bodenmonolithe führte in der ansonsten unbehandelten Parzelle A1 zumindest zu einem kurzfristigen, d.h. erstmals im Frühjahr 1995 nachzuweisenden, aber nicht signifikanten Anstieg der Abundanzen.

Die Nadelwaldparzellen wurden in weitaus geringerem Maße von Lumbriciden besiedelt als die Laubwaldparzellen (Abb. 2b), was die Untersuchungen von FUNKE (1986) bestätigt. Auf dem stark versauerten Boden der Nadelwaldparzelle B1 (Nullvariante) waren nur extrem geringe Abundanzen und im Herbst 1995 gar keine Individuen nachzuweisen. Auch AMMER (1992) bestätigt derartig geringe Individuenzahlen in stark versauerten Fichtenbeständen. In den behandelten Parzellen B2, B3, B4 und B6 waren stark schwankende Individuenzahlen im Zeitverlauf festzustellen (Abb. 2b). Nur in der mit 3 + 6t Dolomit/ha gekalkten und mit P,K gedüngten Parzelle B5 zeigte sich trotz der Schwankungen eine Tendenz zur Zunahme der Abundanzen.

Beim Vergleich der Individuenzahlen der Lumbriciden in den verschiedenen Varianten an den einzelnen Terminen wiesen Parzelle B4 (3 + 3t Dolomit/ha + P,K) und B5 (3 + 6t Dolomit/ha + P,K) im Herbst 1994 eine signifikant höhere Besiedlung auf als die

anderen Parzellen. Im Herbst 1995 wurden in Parzelle B2 (1994 unbehandelt) und in Parzelle B5 (6t Dolomit/ha + P,K) signifikant höhere Abundanzen nachgewiesen als in den anderen Parzellen. Kalkungs- und Düngungsmaßnahmen sowie die künstliche Lumbriciden-Ansiedlung haben in den Nadelwaldparzellen somit noch keine eindeutigen Auswirkungen gezeigt. Auch FUNKE (1986) beschreibt einen verzögerten Anstieg der Abundanzen von Lumbriciden im Nadelwald nach Kalkung. Die verzögerte Reaktion der Lumbricidenfauna ist wahrscheinlich auch darauf zurückzuführen, daß sich die chemischen Bodeneigenschaften in den Fichtenparzellen in den ersten beiden Jahren nach der Behandlung noch nicht in dem Maße verändert haben, wie es für eine stärkere Besiedlung erforderlich wäre (unveröffentlichte Ergebnisse). So war auch der Anstieg der pH-Werte im Ah-Horizont unter Fichtenwald in den ersten zwei Jahren wesentlich geringer als unter Laubwald. Obwohl die pH-Werte in der organischen Auflage z. T. bis auf pH 6 anstiegen (ILLMANN & al. 1997), konnten auch bei den epigäischen Lebensformen noch keine starken Veränderungen der Abundanzen beobachtet werden. Weitere Untersuchungen in den Folgejahren werden über mittelfristige Auswirkungen Auskunft geben.

4.3 Entwicklung des Artenspektrums

Die Abb. 3 bis Abb. 8 zeigen die Entwicklung der Art-dominanzen sowie des Artenspektrums der Lumbriciden von Herbst 1993 bis Herbst 1995 am Beispiel ausgewählter Parzellen. Im **Laubwald** konnten deutlich positive Effekte der Wiederansiedlung der Lumbriciden festgestellt werden: In der Nullparzelle A1

(Abb. 3) haben die Bodenimplantate eine Ansiedlung der endogäischen Art *Aporrectodea caliginosa* f. *typica* sowie der intermediären Art *Lumbricus rubellus* bewirkt.

Die mit 3+3t Dolomit/ha gekalkte Variante A3 (Abb. 4) zeigte eine deutliche Zunahme der Dominanzen von endogäischen Aporrectodea-Arten sowie eine Neuansiedlung von *Lumbricus rubellus*. Apor-

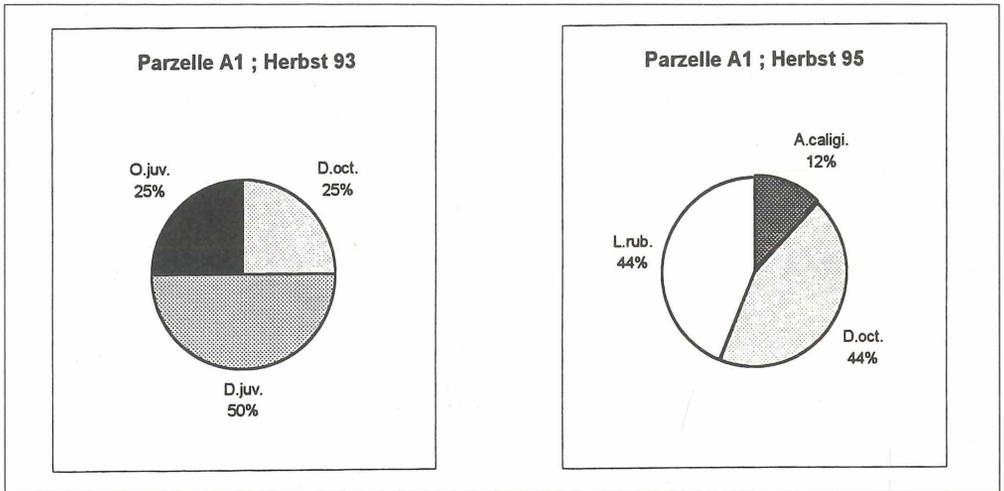


Abb. 3

Artdominanz der Lumbriciden in der unbehandelten Parzelle A1 im Herbst 93 (n = 8 Individuen/m²) und Herbst 95 (n = 18 Individuen/m²).

Fig. 3

Dominance of earthworm species in the untreated variant A1 in autumn 1993 (n = 8 individuals/m²) and autumn 1995 (n = 18 individuals/m²).

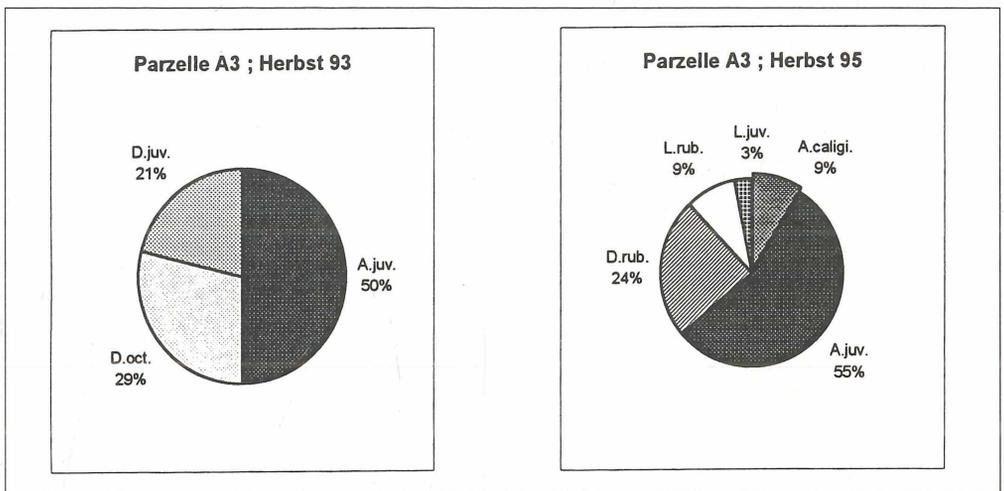


Abb. 4

Artdominanz der Lumbriciden in Parzelle A3 (3+3 t Dolomit/ha) im Herbst 93 (n = 32 Individuen/m²) und Herbst 95 (n = 66 Individuen/m²).

Fig. 4

Dominance of earthworm species in variant A3 (3+3t dolomite/ha) in autumn 1993 (n = 32 individuals/m²) and in autumn 1995 (n = 66 individuals/m²).

rectodea-Arten reagieren positiv auf eine Erhöhung des pH-Wertes bei gleichzeitigem Anstieg des Gehaltes an austauschbarem Ca (SPRINGETT & SYERS 1984).

Eine ähnliche Entwicklung läßt sich in Parzelle A6 (Abb. 5) beobachten. Auch hier konnten Aporectodea-Arten angesiedelt werden, während der Anteil epigäischer Formen an der Gesamtzahl der Lumbriciden abnahm.

Die Kombination von Kalkung und Düngung sowie künstlicher Lumbriciden-Ansiedlung hat sich auf diesen Parzellen für die Ausbreitung endogäischer und z.T. intermediärer Arten als erfolgreich herausgestellt. Anözische Arten konnten dagegen noch nicht erfolgreich angesiedelt werden.

Auch das Artenspektrum in den Nadelwaldparzellen hat sich sehr gewandelt. Die Entwicklung der

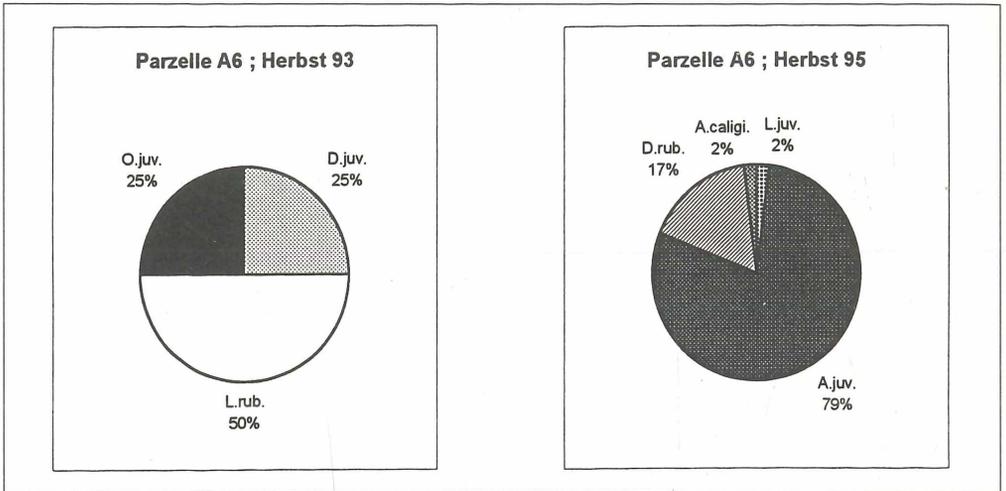


Abb. 5

Artdominanz der Lumbriciden in Parzelle A6 (3+12 t Dolomit/ha + P,K) im Herbst 93 (n = 6 Individuen/m²) und Herbst 95 (n = 82 Individuen/m²).

Fig. 5

Dominance of earthworm species in variant A6 (3+12 t dolomite/ha + P,K) in autumn 1993 (n = 6 individuals/m²) and in autumn 1995 (n = 82 individuals/m²).

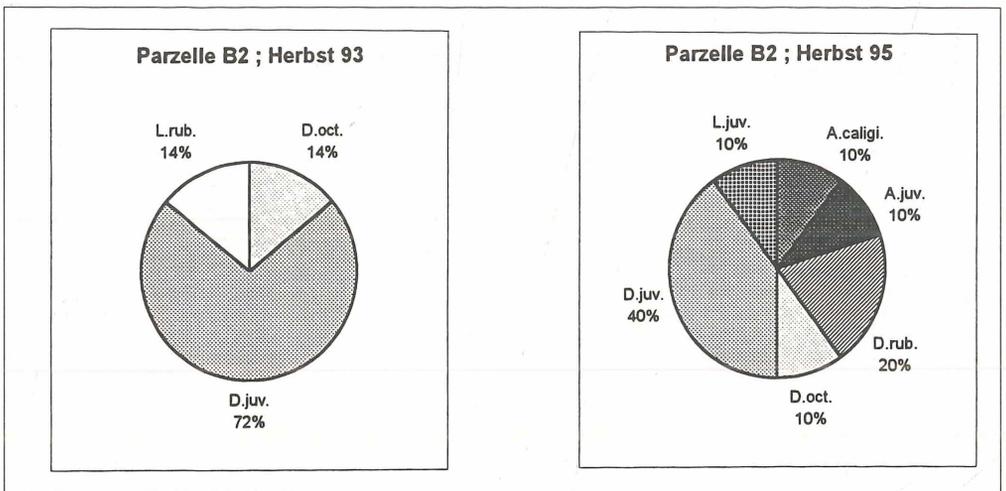


Abb. 6

Artdominanz der Lumbriciden in Parzelle B2 (nur 1988 gekalkt) im Herbst 93 (n = 14 Individuen/m²) und Herbst 95 (n = 20 Individuen/m²).

Fig. 6

Dominance of earthworm species in variant B2 (only limed in 1988) in autumn 1993 (n = 14 individuals/m²) and in autumn 1995 (n = 20 individuals/m²).

Lumbricidenpopulation in der nur 1988 gekalkten Parzelle B2 (Abb. 6) macht deutlich, daß eine künstliche Ansiedlung endogäischer Formen sogar auf sehr stark versauerten Standorten kurzfristig erfolgreich sein kann. Aporrectodea-Arten traten im Herbst 1995 erstmalig auf mit einer Individuendominanz von 20 %, während die Individuenzahl nur geringfügig anstieg.

Auch in der mit 3+6t Dolomit/ha gekalkten und mit P,K gedüngten Parzelle B5 (Abb. 8) konnten Aporrectodea-Arten erfolgreich angesiedelt werden mit Individuendominanzen von 25 %. Der pH-Wert erhöhte sich in der organischen Auflage z.T. bis auf pH 6 (ILLMANN & al. 1997), so daß die endogäischen Arten eine Lebensgrundlage vorfanden. In dieser Parzelle stiegen die Abundanzen gleichzeitig an. In der

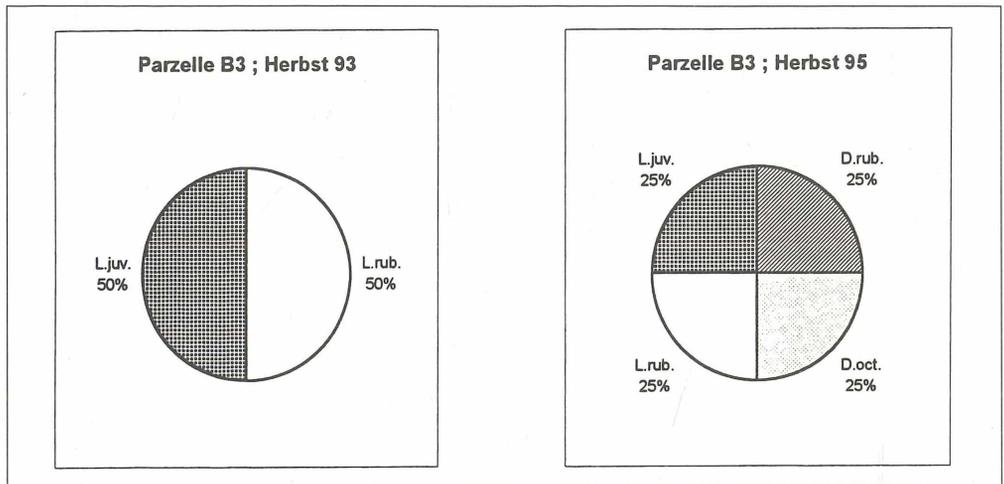


Abb. 7
Artdominanz der Lumbriciden in Parzelle B3 (3+3 t Dolomit/ha) im Herbst 93 ($n = 8$ Individuen/m²) und Herbst 95 ($n = 8$ Individuen/m²).

Fig. 7
Dominance of earthworm species in variant B3 (3+3 t dolomite/ha) in autumn 1993 ($n = 8$ individuals/m²) and in autumn 1995 ($n = 8$ individuals/m²).

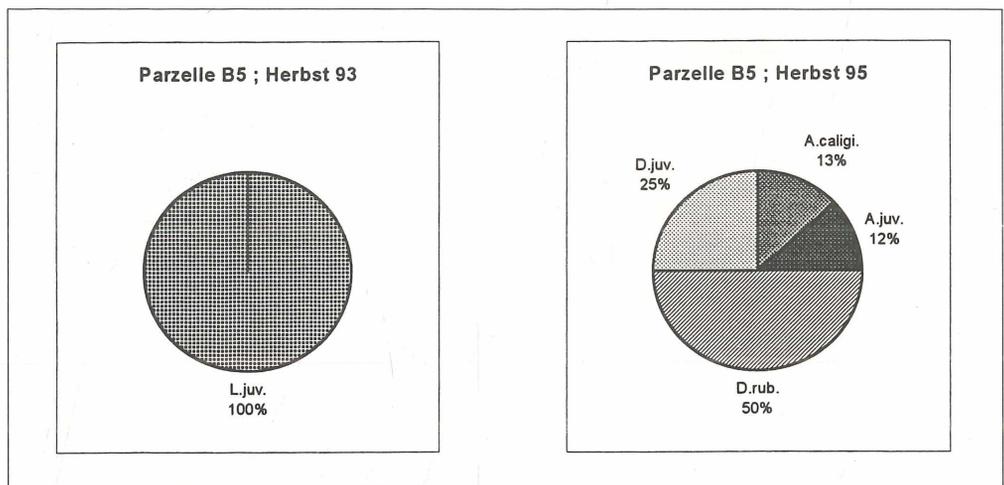


Abb. 8
Artdominanz der Lumbriciden in Parzelle B5 (3+6 t/ha Dolomit + P,K) im Herbst 93 ($n = 6$ Individuen/m²) und Herbst 95 ($n = 16$ Individuen/m²).

Fig. 8
Dominance of earthworm species in variant B5 (3+6 t dolomite/ha + P,K) in autumn 1993 ($n = 6$ individuals/m²) and in autumn 1995 ($n = 16$ individuals/m²).

mit nur 3+3t Dolomit/ha gekalkten Parzelle B3 (Abb. 7) gelang die Wiederansiedlung endogäischer Formen bisher nicht.

Die durchgeführten Kalkungs- und Düngungsmaßnahmen in Kombination mit künstlicher Ansiedlung haben sich also auch auf Versuchsflächen unter Nadelwald z.T. als erfolgreich herausgestellt, allerdings können aufgrund der immer noch geringen Abundanzen hier nur Tendenzen aufgezeigt werden.

Eine natürliche Wiederbesiedlung der Waldparzellen durch endogäische Arten ist bisher nicht erfolgt, obwohl die benachbarte Waldwiese in starkem Maße besiedelt ist. Die in den Waldflächen vorherrschenden Lebensraumfaktoren scheinen für die Lumbriciden keinen natürlichen Anreiz zur Einwanderung zu geben.

Die durchgeführten Behandlungsmaßnahmen haben sich damit insgesamt positiv auf die Lumbricidenpopulation ausgewirkt. Die Untersuchungen der Folgejahre müssen jedoch letztlich genaueren Aufschluß über die mittel- und langfristigen Auswirkungen auf Entwicklung und Fortbestand der Lumbricidenfauna geben.

Abkürzungen für Abb. 3–8:

- A. caligi. = Aporectodea caliginosa f. typica
- A. juv. = Aporectodea juvenil
- D. oct. = Dendrobaena octaedra
- D. rub. = Dendrobaena rubida rubida
- D. juv. = Dendrobaena juvenil
- L. rub. = Lumbricus rubellus rubellus
- L. juv. = Lumbricus rubellus juvenil
- O. juv. = Octolasion juvenil

Danksagung

Unser Dank gilt dem Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes NRW, der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten und dem Forstamt Kottenforst für die freundliche Unterstützung.

Literatur

AMMER, S., 1992: Auswirkungen experimenteller saurer Beregnung und Kalkung auf die Lumbricidenfauna und deren Leistungen (Höglwaldexperiment). – Forstl. Forschungsber. 123, München: 227 S.

BOUCHÉ, M.B., 1972 : Lombriciens de France – Écologie et Systematique. – Institut National de la Recherche Agronomique, Paris: 71 S.

BRÜMMER, G.W., HORNBERG, V. & D. A. HILLER, 1991: Schwermetallbelastungen von Böden. – Mitteiln. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 63: 31–42.

CODERRE, D., MAUFFETTE, Y., GAGNON, D., TOUSIGNANT, S. & G. BESSETTE, 1995: Earthworm populations in healthy and declining sugar maple forests. – Pedobiol. 39: 86–96.

DUNGER, W. & H. J. FIEDLER, 1989 : Methoden der Bodenbiologie. – Gustav Fischer Verlag, Jena: 432 S.

FUNKE, W., 1986: Tiergesellschaften im Ökosystem »Fichtenforst« – Indikatoren von Veränderungen in Waldökosystemen. KfK-PEF 9: 1–150.

ILLMANN, J., GEISSEN, V. & G. W. BRÜMMER, 1997: Auswirkungen von Kalkungs- und Düngungsmaßnahmen auf die Collembolenfauna in Laub- und Nadelwald.

MAKESCHIN, F., 1991: Auswirkungen von saurer Beregnung und Kalkung auf die Regenwurmfauna (Lumbricidae: Oligochaeta) im Fichtenaltbestand Höglwald. – In: KREUTZER, K. & A. GÖTTLEIN (eds.): Ökosystemforschung Höglwald, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin: 117–127.

SCHAUERMANN, J., 1985: Zur Reaktion von Bodentieren nach Düngung von Hainsimsen-Buchewäldern und Siebenstern-Fichtenforsten im Solling. – AFZ 40: 1159–1161.

SPRINGETT, J. A. & J. K. SYERS, 1984: Effect of pH and Calcium content on earthworm cast production in the laboratory. – Soil Biol. Biochem. 16:185–189.

ULRICH, B., MAYER, B. & P. KHANNA, 1979: Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldökosystemen im Solling. – Schriftenr. der Forstl. Fak. d. Univ. Göttingen 58: 291 S.

ULRICH, B., 1986: Die Rolle der Bodenversauerung beim Waldsterben: Langfristige Konsequenzen und forstliche Möglichkeiten. – Forstw. Cbl. 105, 421–435.

VON ZEZSCHWITZ, E., 1982: Akute Bodenversauerung in den Kammlagen des Rothaargebirges. – Forst- u. Holzwirt 37: 275–276.

WALLWORK, J.A., 1976: The distribution and diversity of soil fauna. – Academic Press, London: 355 S.

WILCKE, D.E., 1967: Oligochaeta. – In: BROHMER, P., EHRMANN, P., ULMER, G. & H. SCHIEMENZ (eds.): Die Tierwelt Mitteleuropas – Urtiere, Hohltiere, Würmer 1. – Quelle & Meyer, Leipzig: 206 S.

WOLTERS, V. & J. SCHAUERMANN, 1989: Die Wirkung von Meliorationskalkung auf die ökologische Funktion von Lumbriciden. – Ber. Forschungszentrum Waldökosysteme A 49: 141–151.

Adresse

Dr. Violette Geißen
Anne Brenner
Alexander Schöning
Prof. Dr. G. W. Brümmer
Institut für Bodenkunde
Nußallee 13
53115 Bonn

ZOBODAT - 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): Brümmer Gerhard W., Geißen Violette, Brenner Anne, Schöning Alexander

Artikel/Article: [Auswirkungen von Kalkungs-, Düngungs- und faunistischen Wiederbesiedlungsmaßnahmen auf die Lumbricidenfauna von Waldböden 419-426](#)