

Waldbauliche Maßnahmen zur Förderung der Bodenorganismen in nährstoffarmen Böden Nordostdeutschlands

Guido Kautz und Werner Topp

Synopsis

Forest management for supporting soil organisms in nutrient-poor areas of Northeastern Germany

Decomposition, microbiological soil parameters and abundances of soil fauna were studied in outwash plains and moraines in northeastern Germany (administrative district Oder-Spree, Brandenburg).

Microbial respiration and biomass were higher in pine-oak-beech forests that had been stocked on moraines than in pine forests on either moraines or on outwash plains, or in mixed forests (pine-beech) on outwash plains. Leaf litter decomposition and carbon mineralisation were particularly high in the mixed forest on moraines (U-test, $p \leq 0.01$). Although the soil fauna generally was promoted in both forests growing on moraines, the highest mesofaunal density (Collembola, Oribatei, Enchytraeidae) and the highest number of species and individuals of lumbricids were found in the mixed forest. Different stocking on outwash plains had very little effect on the fauna. Analysis of covariance showed a significant correlation between the abundances of soil fauna and microbiological values; the correlation coefficient R^2 ranged from 0.02 (micro. biomass, $p \leq 0.001$) to 0.23 (C-mineralisation, $p \leq 0.001$). From these observations and from further studies in which the patterns of macronutrients were regarded, we can acknowledge the beneficial effects in creating naturally growing mixed forests.

pine forest, mixed forest, soil fauna, microorganisms, decomposition

Kiefernwald, Mischwald, Bodenfauna, Mikroorganismen, Dekomposition

1 Einleitung

Weite Teile Norddeutschlands sind in ihrer Landschaftsform durch die Eiszeiten des Diluviums geprägt. Die Landesteile Ostbrandenburgs wurden in großem Umfang von Schmelzwassersanden bedeckt, während lehmiges und toniges Geschiebematerial nur in geringem Maße abgelagert wurden (JANETZKO & SCHMIDT

1996). Aufgrund der mäßigen Nährstoffversorgung und der geringen Wasserhaltekapazität dieser pleistozänen Böden wurde in der jüngeren Vergangenheit im Waldbau bevorzugt die Kiefer (*Pinus sylvestris*) gefördert. Somit entstanden Wirtschaftswälder mit großflächigen, gleichaltrigen Reinbeständen.

Eine topographische Unterteilung Brandenburgs nach natürlichen Vegetationseinheiten läßt ein differenzierteres Strukturmuster erkennen (SCAMONI 1964). So können Kiefern-Eichen-Wälder einen natürlichen Vegetationstyp darstellen. Die Zunahme von Eichen kann als natürliche Sukzession betrachtet werden, die von einem Kiefernwald zu einem Kiefern-Eichen-Mischwald verläuft (LEUSCHNER 1993). Auf Moränenflächen Norddeutschlands sind Eichen-Buchen-Wälder eine spätsukzessionale Erscheinung (RODE et al. 1996).

In einem Modellversuch im Sauener Wald, dessen Umbau und Pflege auf den Mediziner Prof. Dr. A. Bier zurückgeht (LECHNER 1990 a, b), wurden vor etwa 80 Jahren wesentliche Neuerungen bei den damals üblichen Maßnahmen im Waldbau eingeführt. So wurden in Kiefernwäldern auf Moränenflächen vereinzelte Eichen (*Quercus petraea* und *Q. petraea* $\times$ *Q. robur*), die sich aus Naturverjüngungen entwickelt hatten, freigestellt und dieser Mischbestand mit Rotbuchen (*Fagus sylvatica*) unterbaut, so daß ein naturnaher „Dreistufenwald“ entstand. Auf Sandflächen wurden Kiefern mit Rotbuchen unterbaut.

Die vor etwa 80 Jahren durchgeführten waldbaulichen Maßnahmen bieten nunmehr die Möglichkeit, deren Wirkungen auf die Bodenorganismen im Vergleich zu benachbarten Flächen abzuschätzen, in denen diese waldbaulichen Veränderungen nicht durchgeführt wurden, sondern in denen nach wie vor die Kiefer überwiegt.

In den nachfolgenden Untersuchungen wurden folgende Fragen gestellt:

1. Können durch naturnahen Waldbau die Biomasse und die Aktivität der Mikroorganismen und die Mineralisationsprozesse gefördert werden?
2. Begünstigt ein naturnaher Waldbau die Populationsdichte und Artenvielfalt der saprophagen Bodentiere?
3. Bestehen Zusammenhänge zwischen dem Verteilungsmuster der Bodentiere und der Entwicklung und Aktivität der Mineralisierer?

2 Material und Methoden

2.1 Untersuchungsflächen

Im April, Juni, August und Oktober 1996 wurden auf 30 x 30 Meter-Quadraten in vier ausgewählten Waldflächen des Sauener Forsts (Landkreis Oder-Spree, Brandenburg) Freilanduntersuchungen durchgeführt sowie Bodenproben für Laboranalysen entnommen.

Die vier Versuchsflächen können wie folgt charakterisiert werden:

- Fläche 1 (Abteilung 3510 b1, Standortkarte des Reviers Sauen von 1982); Kiefernbestand (*P. sylvestris*) mit Bäumen einer Altersstufe von 83 Jahren (Standortsgruppe Z2 t).
- Fläche 2 (Abteilung 3501 Kz); Kiefernbestand einer Altersstufe von 129 Jahren, mit vereinzelt Birken (Standortsgruppe K2 t).
- Fläche 3 (Abteilung 3513 a1); Zweistufenwald mit Kiefern einer Altersstufe von 133 Jahren, die mit 71 Jahre alten Rotbuchen (*F. sylvatica*) unterbaut sind (Standortsgruppe Z2 t).
- Fläche 4 (Abteilung 3515 d); Dreistufenwald mit Kiefern und Eichen (*Q. robur x petraea*) einer Altersstufe von 126 Jahren sowie 75 Jahre alten Rotbuchen (Standortsgruppe K2 t).

Die Standortsgruppe Z2 t bezeichnet ziemlich nährstoffarme Böden mit durchschnittlicher Wasserversorgung in trockenem Klimagebiet; die Standortsgruppe K2 t bezeichnet kräftig nährstoffreiche Böden mit durchschnittlicher Wasserversorgung in trockenem Klimagebiet.

Neben der Gegenüberstellung von Kiefern- und Mischwaldbeständen auf gleichem Ausgangssubstrat (Flächen 1 und 3 (Talsandgebiet; Sand-Braunpodsol) sowie 2 und 4 (Grundmoräne; Tiefehm-fahlerde)) ist durch die Flächenauswahl auch ein Vergleich der beiden Kiefernflächen (Flächen 1 und 2) bzw. der zwei Mischwaldflächen (Flächen 3 und 4) möglich, um so den Einfluß der verschiedenen Substrate abschätzen zu können.

2.2 Erfassung der Dekompositionsleistung

Zur Messung der Dekompositionsrate wurde die Netzbeutel-Methode berücksichtigt, bei der Gazebeutel (Maschenweite 44 µm) mit standortspezifischem Streumaterial (O'LEAR & SEASTEDT 1994; HASEGAWA & TAKEDA 1996) oder mit nativer Cellulose (BEYER et al. 1992) im Freiland exponiert werden.

Die Netzbeutel wurden entweder mit 5 g luftgetrockneter Streu aus der jeweiligen Versuchsfläche oder mit 10 g Cellulose gefüllt, im April 1996 im O₁-Horizont platziert und mit Erdnägeln fixiert. Nach 173tägiger Inkubation wurden alle Gazebeutel im Oktober 1996 entnommen.

2.3 Erfassung bodenmikrobiologischer Kenngrößen

Die Bestimmung des mikrobiellen Biomasse-Kohlenstoffs (C_{mic}) im A_h-Horizont erfolgte mit Hilfe der Fumigations-Extraktions-Methode nach VANCE et al. (1987). Messungen wurden mit Aliquots von Feinboden (Korngröße < 2 mm) (BECK 1986; SUTTNER 1990), bei 50% der maximalen Wasserhaltekapazität (WHK_{max}) (ALEF 1991) durchgeführt.

Die mikrobielle Bodenatmung diente als Maß für die Aktivität aerober Mikroorganismen und wurde modifiziert für Bodenproben ermittelt. Dazu wurden Proben des A_h-Horizonts auf 50% WHK_{max} eingestellt und in verschließbaren Gefäßen mit CO₂-freier Luft (ANDERSON 1989) für 20 Stunden bei 25 °C im Dauerdunkel inkubiert. Das während der Inkubation gebildete mikrobielle Kohlendioxid wurde mit einem TOC-Analysator quantifiziert.

Der metabolische Quotient (qCO_2 = spezifische Atmung) wurde berechnet und die C-Mineralisationsrate unter Berücksichtigung des C_{org}-Gehalts gebildet (INSAM 1992; GEMESI 1996).

2.4 Erfassung der saprophagen Bodenfauna

Zur Abundanzbestimmung der Mesofauna wurden Stechzylinderproben (Fläche 31.17 cm² bzw. 55.42 cm²) aus dem A-Horizont bis zu einer Tiefe von vier Zentimetern entnommen. Die Extraktion der Enchytraeidae erfolgte nach O'CONNER (1962), modifiziert nach KOEHLER (1993). Collembola und Oribatei wurden nach MACFADYEN (1962), modifiziert nach KOEHLER (1993), aus den Bodenproben ausgetrieben.

Eine quantitative Erfassung der saprophagen Makrofauna wurde ausschließlich für Lumbriciden durchgeführt, da andere Vertreter der Makrofauna (Asseln, Tausendfüßer) in Voruntersuchungen auf den Versuchsflächen nur als Einzelfänge auftraten. Die Besiedlungsdichte der Regenwürmer wurde nach der Methode der Formalin-Austreibung und durch Handauslese erfaßt (MÜHLENBERG 1993).

2.5 Statistische Auswertung

Die Meßergebnisse wurden mit Hilfe des KOLMOGOROFF-SMIRNOFF-Tests nach LILLIEFORS auf Normalverteilung der Datenreihe geprüft. Da einige Ergebnisse nicht normalverteilt vorlagen, wurde durchweg der verteilungsunabhängige Median ± Medianabweichung angegeben.

Überprüfungen zur Signifikanz erfolgten nach dem KRUSKAL-WALLIS-H-Test und nach dem MANN-WHITNEY-U-Test zum Vergleich zweier Stichprobenserien.

Einfaktorielle Kovarianzanalysen dienten dazu, Korrelationen zwischen der Bodenfauna und den mikrobiellen Kenngrößen der Versuchsflächen abzuschätzen. Varianzanalysen wurden nach Transformation der Daten [$\log(x+1)$] nur mit normalverteilten Meßergebnissen (KS-Test nach LILLIEFORS, $p > 0.1$) durchgeführt. Mit Hilfe der Kovarianzanalyse ist es möglich, Wirkungen auftretender a priori-Unterschiede zwischen den Untersuchungsflächen zu neutralisieren, so daß der alleinige Einfluß eines Faktors auf die Varianz der Ergebnisse ermittelt werden kann (BORTZ 1989). Als Kovariaten gingen der Boden (prozentualer Sandanteil des Oberbodens), die Bestockung (prozentualer Kiefernanteil an der Baumzahl) und die Zeit (Monat der Probenahme) ein. Die Klassifizierung des Faktors Mesofauna erfolgte für alle Beprobungstermine. Die Differenzen zwischen den Daten wurden bei dieser Einteilung berücksichtigt.

3 Ergebnisse

3.1 Streuzersetzung

Im Dreistufenwald (Fläche 4) konnte die höchste Zersetzungsrate der Streu nachgewiesen werden (Tab. 1). So wurden nach einer Inkubationsdauer von 173 Tagen durch Auswaschung und mikrobielle Zersetzungsprozesse 59% der Originalstreu abgebaut. Die Kiefernstreu der Flächen 1 und 2 wurde signifikant langsamer mineralisiert (U-Test, $p \leq 0.001$). Die geringste Streuzersetzung erfolgte im Kiefern-Buchen-Mischwald (Fläche 3).

Der Abbau reiner Cellulose lag in allen Flächen deutlich über den Ergebnissen mit Originalstreu (Tab. 1), da Inhaltsstoffe der Streu wie Phenole, Tannine und Lignine hemmend auf die mikrobielle Zersetzung einwirken. Vergleichsmessungen ergaben den signifikant höchsten Abbau für den Dreistufenwald (Fläche 4) (U-Test, $p \leq 0.001$). Die im Kiefern-Buchenwald (Fläche 3) ausgebrachte Cellulose wurde hingegen ebenso schnell zersetzt wie in den beiden Kiefernstandorten (Flächen 1 und 2).

3.2 Bodenatmung, mikrobielle Biomasse, qCO_2 und C-Mineralisation

Die erfaßten mikrobiellen Kenngrößen wiesen eindeutig auf eine Sonderstellung des naturnah bewirtschafteten Dreistufenwalds (Fläche 4) hin. So war die mikrobielle Atmung für alle Beprobungstermine im Dreistufenwald (Fläche 4) signifikant am höchsten (Abb. 1). Im Kiefernforst (Fläche 1) wurde durchweg die geringste mikrobielle Atmung gemessen.

Die mikrobielle Biomasse war im A_h -Horizont der Fläche 4 mit Ausnahme des Monats Juni signifikant

Tab. 1
Zersetzung der Streu und der Cellulose im O_l -Horizont der Versuchsflächen 1–4 ($M \pm MAD$, $n = 15$); Exposition von April bis Oktober 1996.

Table 1
Decomposition of litter and cellulose in the O_l layer of the experimental sites 1–4; measured from April to October 1996 ($M \pm MAD$, $n = 15$).

Dekomposition	Streu	Cellulose
[% der Einwaage/173 Tage]		
Fläche 1	42 $\pm$ 2	80 $\pm$ 3
Fläche 2	41 $\pm$ 2	77 $\pm$ 2
Fläche 3	35 $\pm$ 3	80 $\pm$ 2
Fläche 4	59 $\pm$ 4	90 $\pm$ 2

höher als in allen anderen Versuchsflächen (Abb. 1). Die geringsten Werte waren mit Ausnahme des Monats Oktober in dem Kiefernforst der Fläche 1 festzustellen. In allen Flächen war ein deutlicher jahreszeitlicher Anstieg der mikrobiellen Biomasse zu verzeichnen.

Der metabolische Quotient (= spezifische Atmung, qCO_2) war in allen Standorten im April am größten (Abb. 1). In den Folgemonaten nahmen die Werte kontinuierlich ab. Eine Ausnahme bildete der Dreistufenwald (Fläche 4). Hier konnte im Oktober ein deutlicher Anstieg des qCO_2 gegenüber den Sommermonaten festgestellt werden. Im paarweisen Vergleich der vier Flächen war der qCO_2 im Dreistufenwald immer signifikant am höchsten.

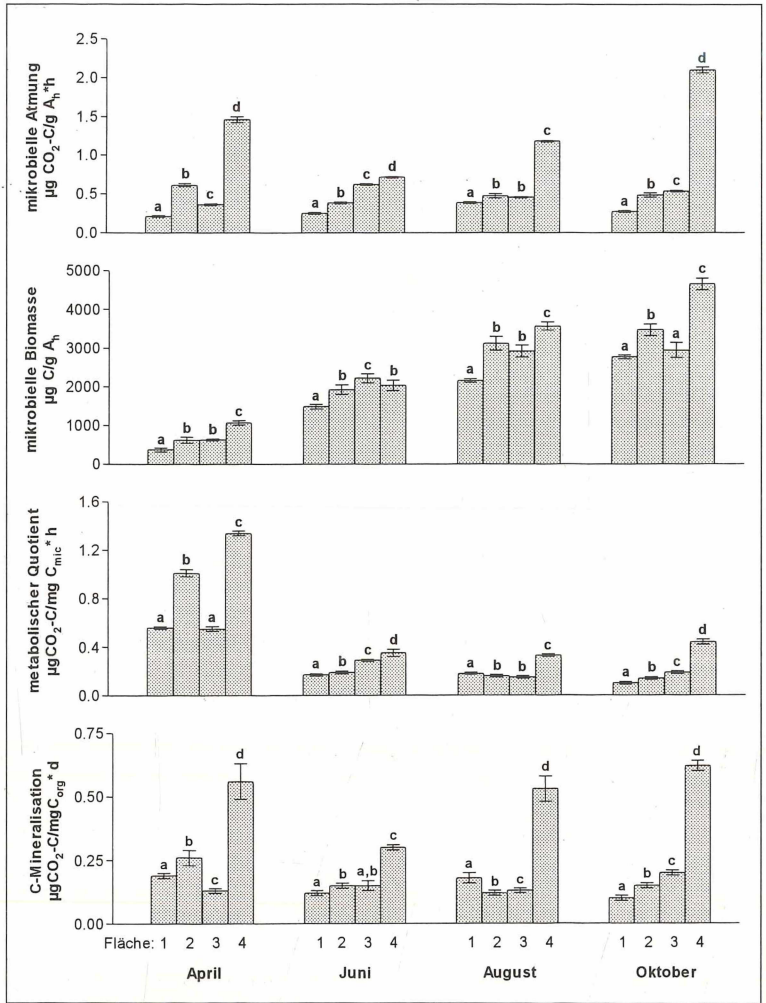
Die Kohlenstoff-Mineralisation erfolgte im Dreistufenwald (Fläche 4) im Vergleich zu den übrigen Untersuchungsflächen rascher (Abb. 1). So waren die C_{min} -Werte im Dreistufenwald immer am höchsten. In der Fläche 4 konnte außerdem eine witterungshängige C-Mineralisation nachgewiesen werden. Die höchste Mineralisierung trat in den feuchten Frühjahrs- und Herbstmonaten auf, die geringste im Juni, als die Evapotranspirationsraten (nicht dargestellt) besonders hoch waren.

3.3 Besiedlungsdichte der Mesofauna und der Lumbricidae

Die Enchytraeiden waren von der untersuchten Mesofauna am individuenreichsten. Ihr Anteil an der Gesamt-Abundanz der Mesofauna lag für alle Flächen um ein Vielfaches über den Werten der beiden anderen Gruppen (Abb. 2). Die höchsten Abundanzen waren in den beiden Grundmoränenflächen festzustellen. Im Vergleich der beiden Grundmoränenflächen nahm der Dreistufenwald (Fläche 4) wiederum eine

Abb. 1
Mikrobielle Kenngrößen im A_h -Horizont der Versuchsflächen 1–4 ($M \pm MAD$, $n = 7-18$). Daten mit verschiedenen Buchstaben weisen signifikante Unterschiede auf (U-Test, $p \leq 0.05$).

Fig. 1
Microbial parameters in the A_h layer of the experimental sites 1–4 ($M \pm MAD$, $n = 7-18$). Data with the same letter are not statistically different (U-test, $p > 0.05$).



Sonderstellung ein, mit besonders hohen Individuenzahlen in der zweiten Jahreshälfte (U-Test, $p \leq 0.05$). Dieses Ergebnis deutet auf eine jahreszeitliche Steigerung der Enchytraeiden-Abundanz hin. Die geringsten Werte wurden in dem Kiefern-Buchen-Mischwald (Fläche 3) ermittelt. Hier lag die Enchytraeiden-Abundanz meistens signifikant unter den Ergebnissen aller anderen Flächen (U-Test, $p \leq 0.05$).

Der Dreistufenwald (Fläche 4) wies immer die signifikant höchste Abundanz an Collembolen auf. Dies galt meistens auch für die Individuenzahl der Hornmilben (Oribatei). Manchmal wurden in der Fläche 2 (April, Juni) oder in der Fläche 3 (Oktober) besonders hohe Milben-Zahlen erfasst.

Im Dreistufenwald (Fläche 4) konnten im August 1996 fünf Lumbriciden-Arten nachgewiesen werden, die den unterschiedlichsten Lebensformtypen angehören. Die Arten *Dendrobaena octaedra*, *Lumbricus*

rubellus und *Dendrodrilus rubidus* sind überwiegend epigäisch lebende Arten, *Lumbricus terrestris* lebt anözisch während *Aporrectodea caliginosa* als endogäische Art überwiegend den Mineralboden besiedelt und geophag ist.

In allen weiteren Versuchsflächen wurden weniger Individuen und weniger Arten gefangen. Dies galt besonders für die beiden Sanderflächen 1 und 3 (Tab. 2).

3.4 Interaktionen zwischen der Bodenfauna und den Mikroorganismen

Einfaktorielle Kovarianzanalysen dienten dazu, Korrelationen zwischen der Mesofauna und den mikrobiellen Kenngrößen zu überprüfen (Tab. 3). Dieses Verfahren wurde ausgewählt, um einen möglichen Zu-

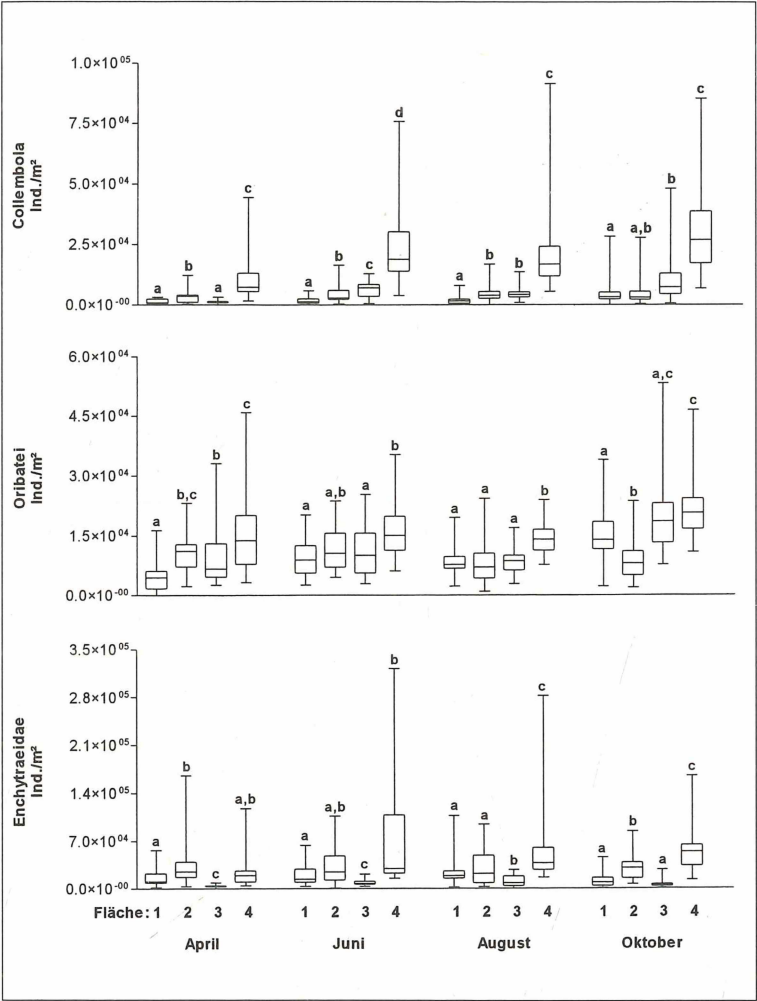


Abb. 2
Individuendichte der Collembola, Oribatei und Enchytraeidae im A_h-Horizont der Versuchsflächen 1–4. Angegeben sind der Median (horizontaler Balken), das erste und dritte Quartil (Box) und die Spannweite (vertikale Balken) (n = 18). Boxplots mit verschiedenen Buchstaben weisen signifikante Unterschiede auf (U-Test, p ≤ 0.05).

Fig. 2
Mean density of Collembola, Oribatei and Enchytraeidae in the A_h layer of the experimental sites 1–4. The median is represented by horizontal bars, the first and third quartiles by the box and the range by vertical bars (n = 18). Boxplots with the same letter are not statistically different (U-test, p > 0.05).

Tab. 2
Regenwurm-Biomasse der Versuchsflächen 1–4 für den August 1996 (Median, n = 8).

	Fläche 1	Fläche 2	Fläche 3	Fläche 4
[g TG/m²]				
<i>Dendrodrilus rubidus</i>	/	/	/	0.23
<i>Dendrobaena octaedra</i>	0.10	0.72	0.51	0.84
<i>Lumbricus rubellus</i>	/	0.85	/	2.43
<i>Lumbricus terrestris</i>	/	0.99	/	3.23
<i>Aporrectodea caliginosa</i>	/	/	/	1.72

Table 2
Biomass of earthworms of the experimental sites 1–4 in August 1996 (Median, n = 8).

Tab. 3

Einfaktorielle Kovarianzanalysen mit dem Einfluß des Faktors Mesofauna (Klassifizierung nach der Abundanz) auf bodenmikrobiologische Kenngrößen im A_h-Horizont der Versuchsflächen 1–4. Als Kovariaten dienten der Boden (prozentualer Sandanteil des Oberbodens), die Bestockung (prozentualer Kiefernanteil an der Baumzahl) und die Zeit (Monat der Probenahme).

KOVARIANZANALYSE (einfaktoriell)	df	mik. Biomasse		mik. Atmung		qCO ₂		C _{min}	
		F	R ²	F	R ²	F	R ²	F	R ²
Kovariaten (Boden/Bestockung/Zeit)	3	547***		135***		91***		107***	
Mesofauna	3	15***	0.02	20***	0.11	16***	0.11	43***	0.23
Modell	6	281***		78***		54***		75***	

*: $p \leq 0.01$, ***: $p \leq 0.001$, ns: nicht signifikant

Table 3

Analysis of covariance on effects of soil mesofauna on microbial characteristics in the A_h layer of the experimental sites 1–4. Soil type, stocking and season served as covariats.

sammenhang zwischen der Abundanz der Mesofauna-Gruppen mit dem Bodentyp, der Bestockung und der Jahreszeit zu eliminieren. Die Bedeutung der Mesofauna ergibt nach Neutralisation der Kovariaten Boden (% Sandanteil am Substrat), Bestockung (% Kiefernanteil an der Baumzahl) und Zeit (Monat der Probenahme) für die gewählte Rechenmethode Minimalwerte.

Die Korrelation der Mesofauna-Abundanz mit der mikrobiellen Biomasse erwies sich als gering ($R^2 = 0.02$). Für die mikrobielle Atmung und die spezifische Bodenatmung betrug der R^2 -Wert jedoch jeweils 0.11. Somit konnten unabhängig von den Eigenschaftswerten »Boden«, »Bestockung« und »Jahreszeit« signifikante Zusammenhänge zwischen dem Verteilungsmuster der Mesofauna und den mikrobiellen Kenngrößen belegt werden.

Das höchste Bestimmtheitsmaß ($R^2=0.23$) ließ sich für die mikrobielle Kohlenstoff-Mineralisationsrate nachweisen. Der mikrobielle Kohlenstoffabbau ist danach eng mit der Abundanz der Mesofauna korreliert.

4 Diskussion

Die Oberflächengestalt Ostbrandenburgs ist durch ausgedehnte Diluvialplatten und breite miteinander in Verbindung stehende Talzüge geprägt (JANETZKO & SCHMIDT 1996). Auf diesen pleistozänen Böden dominiert die Kiefer (*Pinus sylvestris*). In den vorliegenden Untersuchungen wurden Kiefernwälder auf Sanderflächen und Grundmoränenflächen sowie Mischwaldbestände auf Sander (Kiefern-Buchenwald) und auf Grundmoräne (Kiefern-Eichen-Buchenwald) berücksichtigt. Anhand der getroffenen Flächenauswahl können unterschiedlich bestockte Flächen auf vergleichbarem Boden und ähnlich bestockte Flächen auf unterschiedlichen Böden gegenübergestellt werden.

Im Dreistufenwald auf Grundmoräne (Fläche 4) erfolgte in Netzbeuteln einer Maschenweite von 44 µm der Streuabbau und der Celluloseabbau rascher als in den übrigen Versuchsflächen (U-Test, $p \leq 0.001$). So wurden im Dreistufenwald 59% der standortspezifischen Originalstreu und 90% der Cellulose nach einer Expositionsdauer von 173 Tagen umgesetzt (Tab. 1). Insbesondere die Streuabbaurate ist als hoch einzustufen. HERLITZIUS (1983) stellte für den Abbau reiner Buchen-, Eichen- und Nadelstreu in Nadel- bzw. Buchenwäldern geringere Raten von 32% bis 46% fest. Die Kiefern-Buchenstreu wurde in der Fläche 3 (Sander) mit 35% sogar langsamer umgesetzt als die reine Kiefernstreu in den Kiefernforsten auf Sander (Fläche 1) und auf Grundmoräne (Fläche 2) (U-Test, $p \leq 0.001$). Die Akkumulation mächtiger Schichten an Laubstreu ist für Buchenwälder kennzeichnend, die auf Böden mit niedrigen pH-Werten aufstocken (BECK 1989). Im Kiefern-Buchenwald der Fläche 3 lag der pH-Wert des A_h-Horizonts bei pH 2.9 (1 M KCl).

Für die mikrobiologischen Kenngrößen des A_h-Horizonts nahm der Dreistufenwald (Fläche 4) eine Sonderstellung im Revier Sauen ein (Abb. 1). In dieser Fläche waren die mikrobielle Atmung, die spezifische Bodenatmung und der mikrobielle Kohlenstoffabbau im gesamten Jahresverlauf signifikant am höchsten (U-Test, $p \leq 0.05$). Eine vergleichbare Zunahme der mikrobiellen Kenngrößen konnte für den Kiefern-Buchenwald auf Sander (Fläche 3) nicht festgestellt werden. Für den Dreistufenwald (Fläche 4) war der geringe Anstieg der mikrobiellen Biomasse im Vergleich zur hohen mikrobiellen Atmung mit der Folge von hohen Werten an metabolischen Quotienten auffällig. KANDELER et al. (1994) stellten eine Korrelation zwischen der Besiedlungsdichte der Mesofauna mit der mikrobiellen Aktivität, nicht aber unbedingt mit der mikrobiellen Biomasse fest. Offensichtlich übte die Bodenfauna im Dreistufenwald

(Fläche 4) einen verstärkten Fraßdruck auf die mikrobiellen Populationen aus, so daß der mikrobielle Bestand fortwährend verjüngt wurde, die heranwachsenden Mikroorganismen darauf hin aber höhere Aktivität aufwiesen.

Die Besiedlungsdichte der Mesofauna wurde in allen vier Versuchsflächen durch das saure Milieu des Bodens (pH 2.9 bis pH 3.6) geprägt. Enchytraeiden gehören in Sauerhumuswäldern zu den dominierenden Zersettern der Streu (GRAEFE 1989). Ihre Individuenzahl war auch in unseren Untersuchungsflächen um ein Mehrfaches höher als die von Springschwänzen und Hornmilben (Abb. 2). Insbesondere im Dreistufenwald (Fläche 4) erwies sich die Besiedlungsdichte an Enchytraeiden als besonders hoch. So betrug hier die durchschnittliche Besiedlungsdichte 32000 Ind./m² (= 1000 mg TG/m²); sie erreichte im Herbst sogar Werte von 54000 Ind./m² (= 1700 mg TG/m²). HECK & RÖMBKE (1990) ermittelten in einem Eichen-Kiefernwald geringere Werte (700 mg TG/m²).

Die Regenwurmfauna erreichte in dem naturnah bestockten Dreistufenwald auf Grundmoräne (Fläche 4) mit insgesamt 8.5 g/m² eine relativ hohe Biomasse. Epigäische, anözische und endogäische Lebensformtypen traten ausschließlich in dieser Fläche auf, während unabhängig von der Bestockung in den beiden Sanderflächen 1 und 3 nur die für saure Böden charakteristische Art *Dendrobaena octaedra* gefangen wurde (Tab. 2).

Ein Einfluß von saprophagen Bodentieren auf mikrobielle Kenngrößen wurde bereits vielfach beschrieben (z.B. TIAN et al. 1995; GEMESI 1996). Die Wirkung der Bodenfauna auf die Mikroorganismen dürfte dabei vor allem auf Bioturbation, Zerkleinerung des Detritus und die mikrobielle Beimpfung des organischen Materials durch die Fäzes zurückzuführen sein (HASSALL et al. 1987; TAJOVSKY et al. 1992). Eine quantitative Abschätzung über den Zusammenhang der Saprophagen-Abundanz mit den mikrobiellen Kenngrößen wurde über Kovarianzanalysen herausgestellt (Tab. 3). So war für alle erfaßten mikrobiellen Parameter eine signifikante Korrelation mit dem Verteilungsmuster der Saprophagen zu belegen (F-Test, $p \leq 0.001$). Auffällig war besonders der Zusammenhang zwischen der Abundanz der Bodentiere und der mikrobiellen Kohlenstoffmineralisation ($R^2 = 0.23$). Die erhöhten Besiedlungsdichten der Bodenfauna führen wir auf naturnahe waldbauliche Maßnahmen zurück, die auf Grundmoränen zur Ausbildung eines Dreistufenwalds führte. Die größte Dichte der Bodenfauna bewirkte offensichtlich einen Anstieg der mikrobiellen Dekomposition. Darüber hinaus wurde im Dreistufenwald ein höherer Gehalt an mobilisierbaren Makronährstoffen festgestellt (KAUTZ & TOPP 1998). Eine verbesserte pflanzliche Nährstoffversorgung ist zu erwarten. Somit dürfte auf

Moränenflächen der Umbau von einem Kiefernwald zu einem anspruchsvollen, naturnahen Laubmischwald nicht nur zu einer Erhöhung der Biodiversität führen, sondern gleichzeitig das Wachstum der aufstockenden Bäume erhöhen. Ein vergleichbarer Einfluß der Mischbestockung war auf der Sanderfläche für den Kiefern-Buchenwald nicht festzustellen. Nach unseren Untersuchungen fördert die Unterbauung der Kiefern mit Rotbuchen auf Sanderflächen die Bodenorganismen nicht; die Dekompositionsgeschwindigkeit schien sich gegenüber reinen Kiefernforsten sogar zu verlangsamen.

Danksagung

Herr Dr. W. Lechner war bei der Auswahl geeigneter Versuchsflächen behilflich, überließ uns Angaben zum Revier Sauen, versorgte uns mit Fachliteratur und war jederzeit zu Diskussionen bereit. Danken möchten wir ebenso Herrn Prof. Dr. D. Heinsdorf und Herrn Dipl. Ing. T. Jochheim für ihre Hilfestellungen. Die vorliegende Untersuchung wurde durch die »Stiftung August Bier für Ökologie und Medizin« gefördert.

Literatur

- ALEF, K., 1991: Methodenhandbuch Bodenmikrobiologie. Ecomed, Landsberg/Lech: 284 S.
- ANDERSON, J.P.E., 1989: Principles of and Assay Systems for Biodegradation. In: KAMELY, D.; CHAKRABARDY, A.; OMENN, G.S. (eds.): Biotechnology and biodegradation. Portofolio Publishing, Texas: 11–18.
- BECK, L., 1989: Lebensraum Buchenwaldboden. 1. Bodenfauna und Streuabbau – eine Übersicht. Verh. Ges. Ökol. 17: 47–54.
- BECK, T., 1986: Aussagekraft und Bedeutung enzymatischer und mikrobiologischer Methoden bei der Charakterisierung des Bodenlebens von landwirtschaftlichen Böden. Veröff. Landwirtsch. 18, Chem. Bundesanstalt Linz/Donau: 75–100.
- BEYER, L. et al., 1992: Der durchschnittliche Abbau vergrabener Zellulose in typischen Acker- und Waldböden der Norddeutschen Tiefebene. Pedobiologia 36: 11–20.
- BORTZ, J., 1989: Statistik für Sozialwissenschaftler. 3. Aufl., Springer, Berlin: 753 S.
- GEMESI, O., 1996: Der Einfluß von *Octolasion lac-teum* (Lumbricidae) auf Waldböden: Stabilität und Nährstoffumsatz. Diss., Köln.
- GRAEFE, U., 1989: Der Einfluß von sauren Niederschlägen und Bestandeskalkung auf die Enchytraeidenfauna in Waldböden. Verh. Ges. Ökol. 17: 597–603.

- HASEGAWA, M.; TAKEDA, H., 1996: Carbon and nutrient dynamics in decomposing pine needle litter in relation to fungal and faunal abundances. *Pedobiologia* 40: 171–184.
- HASSALL, M. et al., 1987: Effects of terrestrial isopods on the decomposition of woodland leaf litter. *Oecologia* 72: 597–604.
- HECK, M.; RÖMBKE, J., 1990: Enchytraeiden-Gemeinschaften Berliner Forststandorte. *Zool. Beitr.* N. F. 33: 433–458.
- HERLITZIUS, H., 1983: Biological decomposition efficiency in different woodland soils. *Oecologia* 57: 78–97.
- INSAM, H., 1992: Aufforstung im Rheinischen Braunkohlerevier: Zur Mikrobiologie und zum Kohlenstoffhaushalt im Boden. *Rekultivierung* (AFZ 4/92): 201–204.
- JANETZKO, P.; SCHMIDT, R., 1996: Norddeutsche Jungmoränenlandschaften. In: BLUME, H.-P.; FELIX-HENNINGSEN, P.; FISCHER, W.R.; FREDE, H.-G.; HORN, R.; STAHR, K. (eds.): *Handbuch der Bodenkunde: Kapitel 3.4.4.2. Ecomed, Landsberg/Lech.*
- KANDELER, E. et al., 1994: Effects of mesofaunal exclusion on microbial biomass and enzymatic activities in field mesocosms. In: RITZ, K.; DIGHTON, J.; GILLER, K.E. (eds.): *Beyond the Biomass: Compositional and Functional Analysis of Soil Microbial Communities.* John Wiley & Sons, Chichester: 181–189.
- KAUTZ, G.; TOPP, W., 1998: Nachhaltige waldbauliche Maßnahmen zur Verbesserung der Bodenqualität. *Forstw. Cbl.* 117: 23–43.
- KOEHLER, H., 1993: Extraktionsmethoden für Bodenmesofauna. *Inf. Natursch. Landschaftspfl.* 6: 42–52.
- LECHNER, W., 1990 a: Versuchsrevier Sauen gestern und heute. *Der Wald (Berlin)* 40: 228–231.
- LECHNER, W., 1990 b: Das Versuchsrevier Sauen heute. *Der Wald (Berlin)* 40: 272–274.
- LEUSCHNER, C., 1993: Forest dynamics on sandy soils in the Lüneburger Heide area, NM Germany. *Scripta Geobot.* 21: 53–60.
- MACFADYEN, A., 1962: Soil arthropod sampling. *Adv. Ecol. Res.* 1: 1–34.
- MÜHLENBERG, M., 1989: *Freilandökologie*, 2. Aufl. Quelle & Meyer, Heidelberg, Wiesbaden: 512 S.
- O'CONNER, F.B., 1962: The Extraction of Enchytraeidae from Soil. In: MURPHY, P.W. (ed.): *Progress in Soil Zoology*, Butterworths, London: 199–201.
- O'LEAR, H.A.; SEASTEDT, T.R., 1994: Landscape patterns of litter decomposition in alpine tundra. *Oecologia* 99: 95–101.
- RODE, M.W. et al., 1996: Einfluß der Baumart auf den Nährstoffeintrag und seine Bedeutung für die natürliche Waldentwicklung auf nährstoffarmen Böden Nordwestdeutschlands. *Verh. Ges. Ökol.* 26: 139–145.
- SCAMONI, A., 1964: Karte der natürlichen Vegetation der DDR (1 : 500.000) mit Erläuterungen. *Feddes Repet., Beiheft* 141: 1–106.
- SUTTNER, T., 1990: Zur mikrobiellen Aktivität bayerischer Böden in Abhängigkeit von der Nutzung und unter besonderer Berücksichtigung des bodenbiologischen Transformationsvermögens. *Diss., Bayreuth.*
- TAJOVSKY, K. et al., 1992: Decomposition of faecal pellets of the millipede *Glomeris hexasticha* (Diplopoda) in forest soil. *Pedobiologia* 36: 146–158.
- TIAN, G. et al., 1995: Breakdown of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions: effects of earthworms and millipedes. *Soil Biol. Biochem.* 27: 277–280.
- VANCE, E.D. et al., 1987: An extraction method for measuring soil microbial C. *Soil. Biol. Biochem.* 19: 703–707.

Adresse

Dipl.-Biol. Guido Kautz
 Prof. Dr. Werner Topp
 Physiologische Ökologie
 Zoologisches Institut der Universität Köln
 Weyertal 119
 D-50923 Köln

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1997

Band/Volume: [28_1997](#)

Autor(en)/Author(s): Topp Werner, Kautz Guido

Artikel/Article: [Waldbauliche Maßnahmen zur Förderung der Bodenorganismen in nährstoffarmen Böden Nordostdeutschlands 449-456](#)