

# Mikrobielle und bodenchemische Parameter in zwei unterschiedlich versauerten Fichtenstandorten Europas

Markus Raubuch

## Synopsis

Microbial biomass C and activity were determined in two spruce stands which represent two extreme situations of chemical climate. One site (Solling, Germany) is exposed to high proton load and  $\text{NH}_4^+$  deposition while the other site (Kilkenny, Ireland) has a low polluted input which is dominated by seawater spray. Both soils were comparable in soil texture, element contents, and exchange capacity but represented different states of soil acidification. The upper 22 cm of the soils were sampled in undisturbed soil columns (24 cm deep). Measurements were carried out in homogenized samples of the different soil horizons. High and significant positive correlations of microbial parameters with exchangeable  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$  in the acidified soil indicated a deficiency of these nutrients and negative correlation with  $\text{Al}^{+++}$  indicated  $\text{Al}^{+++}$  toxicity.

*Sauerstoffverbrauch, Mikrobielle Biomasse, Mikrobielle Respiration, Säurestress, Al-Toxizität*

*$\text{O}_2$  consumption, microbial biomass, microbial respiration, acid stress, Al toxicity*

## 1. Einleitung

Mit der Bilanzierung von Stoffumsätzen in Waldökosystemen wurde die Bedeutung anthropogen verursachter versauernden Einträge erkannt. Diese können zu Veränderungen von Stoffumsatzraten und Stoffkreisläufen führen (ULRICH 1986). Da mikrobielle Populationen eine steuernde Größe der zugrunde liegenden Prozesse sind, ist der Einfluß des bodenchemischen Zustandes auf die mikrobiellen Populationen von Bedeutung. Gerade in der neueren Literatur wird ein erheblicher Einfluß des Boden pH-Wertes belegt (FRITZE 1991, ANDERSON & DOMSCH 1993). Dagegen ist die Belegung der Austauscher mit Kationen bisher eine wenig beachtete Größe, obwohl ihr relatives Vorkommen eine Bodenversauerung besser charakterisiert als der pH allein (ULRICH 1981).

In dieser Arbeit wurden die mikrobiellen Parameter Biomasse C (Cmic) und Sauerstoffverbrauch (Basalaktivität) zweier Fichtenstandorte verglichen, deren

Böden sich nach ULRICH (1986) in zwei unterschiedlichen Pufferbereichen befinden. Der Boden aus dem Solling (Deutschland) liegt im Aluminiumpufferbereich (pH 3,0–4,2) und der Boden aus der Nähe von Kilkenny (Irland) im Austauscherpufferbereich (pH 4,2–5,0). Es wurde von der Arbeitshypothese ausgegangen, daß Bodenversauerung und die damit verbundene Verarmung an austauschbarem  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  und  $\text{K}^+$  bzw. Anreicherung an austauschbarem  $\text{Al}^{+++}$  einen negativen Einfluß auf die mikrobielle Biomasse und die Basalaktivität hat.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Flächenbeschreibung

Bei den beiden Flächen handelte es sich um Fichtenstandorte mit dem Humustyp Moder und gleicher Bodentextur (Tabelle 1). Der Boden im Solling ist eine podsolisierte Braunerde mit Buntsandstein als Ausgangsgestein. Der Boden bei Kilkenny ist eine Braunerde auf kalkhaltigem Schiefer als Ausgangsgestein. Die Fläche im Solling wies im Unterschied zu der bei Kilkenny einen hohen Protoneneintrag und höhere  $\text{NH}_4^+$ -Einträge auf.

### 2.2 Probenahme

An jedem Standort wurden Mai/Juni 1989 sieben ungestörte Bodensäulen mit Plexiglaszylindern (24 cm hoch und 14,6 cm Innendurchmesser) entnommen. Anschließend wurden die Bodensäulen in die Horizonte zerlegt und mittels Fingerprobe die Bodentextur ermittelt. Die Proben des Oh und der Mineralhorizonte wurden auf 2 mm gesiebt und bis zur Messung bei +4 °C drei Monate lang in Polyethylen-tüten gelagert.

### 2.3 Biologischer Sauerstoffbedarf

Die Bestimmung des biologischen Sauerstoffbedarfs (BSB) erfolgte mit Hilfe eines Sapromaten (ANDERSON & al. 1990). Eingesetzt wurden etwa 100 g feldfeuchter Mineralboden oder 100 ml Auflage. Der opti-

Tab. 1  
Charakterisierung der Versuchsfläche

Flächenbeschreibung								
Fläche	Längen-grad	Breiten-grad	Höhe	Nieder-schlag*	T °C*	Bestand	Alter (Jahre)	Bodentextur (0–15 cm)
Kilkenny	52°4'N	7°2'W	175 m	826 mm	9.3	<i>Picea abies</i>	20	Ut–Lu
Solling	51°8'N	9°5'O	500 m	1088 mm	6.4	<i>Picea abies</i>	109	Ut–Lu

Tab. 1  
Characterization of the sites

Elementeintrag mit der Kronentraufe (kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) von Mai 1989 bis Mai 1990

Fläche	Na	Cl	K	Ca	Mg	Al	NO <sub>3</sub> –N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> –N	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> –S	H <sup>+</sup>
Kilkenny	33.8	51.4	23.6	7.4	4.5	0.3	3.3	5.9	9.0	0.01
Solling	19.9	38.3	26.2	21.3	4.3	0.9	19.5	19.5	45.5	0.99

Ut = toniger Schluff, Lu = schluffiger Lehm, \* = Jahresmittelwert

male Wassergehalt (50 % ± 5 % max. Wasserkapazität) wurde im Probengefäß eingestellt und die Probe 1 Stunde an die Meßtemperatur (22 °C) adaptiert. Die Rate der Basalaktivität ergab sich aus dem Sauerstoffverbrauch der Proben, bezogen auf das Trockengewicht der Bodenproben:

80 ml 1 M NH<sub>4</sub>Cl perkoliert (MEIWES & al. 1984). Die Kationen wurden am AAS gemessen. Die Anteile austauschbarer Kationen ergaben sich aus ihrem prozentualen Anteil an der Summe der austauschbaren Kationen.

$$\text{Sauerstoffverbrauch} = \text{O}_2 \text{ (}\mu\text{g)} * 250 * (\text{g TB} * \text{h})^{-1}$$

Zur Bestimmung der Biomassegehalte wurden jeder Probe jeweils 0,8 % Glukose zugesetzt (ANDERSON & DOMSCH 1978). Die Bestimmung erfolgte innerhalb der ersten 5 Stunden nach Glukosezugabe. Sie errechnete sich nach der Formel von BECK (1984):

3. Ergebnisse

Die Bodenhorizonte beider Flächen unterschieden sich deutlich in den pH<sub>CaCl2</sub>-Werten. Sie wiesen vergleichbare C- und N-Gehalte, aber leicht unterschiedliche P- und S-Gehalte auf (Tabelle 2). Alle Stoffgehalte nahmen mit zunehmender Bodentiefe ab. Die mikrobielle Biomasse und die Basalaktivität (O<sub>2</sub>-Verbrauch) erreichten die höchsten Werte in dem Auflagenhorizont OL mit frisch gefallener Streu. Beide Parameter nahmen in den Auflagehorizonten mit zunehmendem Humifizierungsgrad ab. In den nährstoffarmen Mineralhorizonten war der Abfall besonders deutlich und erreichte im Bv-Horizont den niedrigsten Wert. Die Werte der irischen Proben lagen in den entsprechenden Horizonten höher.

$$\text{Cmic (}\mu\text{g g TB}^{-1}\text{)} = (\text{O}_2 \text{ (}\mu\text{g)} * 250 * \text{F}) * (\text{g TB} * \text{h})^{-1}$$

BSB = Biologischer Sauerstoffbedarf nach 5 Stunden (geteilt durch 5h)  
TB = Trockenboden  
250 = Umrechnungsfaktor für den Sauerstoffverbrauch  
F = 28: Umrechnungsfaktor für die Biomasse nach BECK (1984)

2.4 Bestimmung der bodenchemischen Parameter

Ein Teil jeder Probe wurde bei +105 °C getrocknet und homogenisiert. Die Bestimmung der C- und N-Gehalte erfolgte durch gaschromatographisch in einem C/N-Analysator (Carlo-Erba). P- und S-Gehalte wurden nach HNO<sub>3</sub>-Druckaufschluß mit einem ICP (Jobin Yvon) gemessen. Für die austauschbaren Kationen wurden jeweils 2,5 g Boden eingesetzt und mit

Die Austauschkapazität beider Böden war gut vergleichbar (Tabelle 3). Dagegen unterschieden sie sich deutlich in der Austauscherbelegung. Im Solling dominierten austauschbare Al<sup>+++</sup>-Ionen mit bis zu 96%. Die Belegung der Austauscher mit basischen Kationen, insbesondere mit Ca<sup>++</sup> und Mg<sup>++</sup>-Ionen, lag in den irischen Böden deutlich höher (Tabelle 3).

Unabhängig vom Standort konnten sowohl für die mikrobielle Biomasse als auch für die Basalaktivität vergleichbare Korrelationen zu den bodenchemischen Parametern gefunden werden. Es werden des-

Tab. 2  
Mittlere  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ -Werte, Elementgehalte und Gehalte der mikrobiellen Biomasse und der Basalaktivität in den Horizonten der beiden Standorte

Fläche	Horizont	$\text{pH}_{\text{CaCl}_2}^*$	C % TB	N % TB	P $\mu\text{g g TB}^{-1}$	S $\mu\text{g g TB}^{-1}$	Cmic $\mu\text{g g TB}^{-1}$	$\text{O}_2$ -Verbrauch $\mu\text{g g TB}^{-1} \text{ h}^{-1}$
Kilkenny	OL	4,8	37,4	1,4	1075	1429	6896	111,9
	Of	4,5	34,3	1,4	1043	1520	6355	72,1
	Oh	4,4	21,9	1,1	984	1323	2422	25,1
	Ah	3,8	7,7	0,6	785	931	737	3,8
	Bv	4,0	4,3	0,3	398	556	298	1,5
Solling	OL	3,5	43,9	1,6	1025	2048	5696	95,7
	Of	2,9	38,3	1,4	864	1945	3032	28,5
	Oh	2,8	30,8	1,2	822	1836	1498	16,4
	Ah	2,9	13,4	0,6	542	723	502	4,1
	Aeh	3,1	4,2	0,2	370	301	210	1,2
	Bv	3,7	2,4	0,1	284	230	122	0,7

TB = Trockenboden, \* = 0,1 N  $\text{CaCl}_2$

Tab. 3  
Mittlere relative Anteile der austauschbaren Kationen (%) und Summe der austauschbaren Kationen ( $\mu\text{mol}_\text{c} \text{ g TB}^{-1}$ )

Site	Horizont	Al in % der Kationensumme	Ca	K	Mg	Na	Summe $\mu\text{mol}_\text{c} \text{ g TB}^{-1}$
Kilkenny	Ah	49.6	34.5	1.9	11,8	2.3	119,0
	Bv	59.2	26.9	2.1	9.2	2.6	85,3
Solling	Ah	82.6	8.3	2.9	3.2	3.0	121,5
	Aeh	93.5	2.4	1.3	1.9	0.9	85,0
	Bv	96.2	0.5	1.2	1.4	0.8	80,6

TB = Trockenboden

Tab. 2  
Average of  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ , element contents and microbial biomass C and activity in horizons of both sites

Tab. 3  
Average of molar fractions of exchangeable cations (%) and sum of exchangeable cations ( $\mu\text{mol}_\text{c} \text{ g TB}^{-1}$ )

halb nur die Korrelationen mit der mikrobiellen Biomasse dargestellt (Tabelle 4). In den Auflagen beider Standorte ergab die statistische Auswertung enge Beziehungen zwischen den mikrobiellen Parametern und den Elementen C und N (Tab. 4). In den nährstoffärmeren Mineralhorizonten konnten signifikante Beziehungen zu den Elementen C, N und S gefunden werden. Die Korrelationen waren in dem Mineralboden des stark versauerten Sollings höher und ergaben zusätzlich eine signifikante positive Beziehung zu dem Element P.

Ein deutlicher Unterschied wurde bei der Betrachtung der austauschbaren Kationen nachgewiesen. In dem stark versauerten Mineralboden des Sollings er-

gaben die Regressionsanalysen im Unterschied zu dem wenig versauerten Boden von Kilkenny enge positive Korrelationen der mikrobiellen Parameter zu den austauschbaren Kationen  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  und  $\text{K}^{+}$  und eine enge negative Korrelation zu dem austauschbaren  $\text{Al}^{+++}$ .

Die mikrobielle Basalaktivität wurde stündlich aufgezeichnet. Daraus ergaben sich akkumulierende Werte, die sich nicht nur in der Höhe, sondern auch im zeitlichen Verlauf standortspezifisch unterschieden (Abb. 1a bis 1e). In den Proben des OL-Horizontes stieg der akkumulierte Sauerstoffverbrauch bei den beiden Standorten unterschiedlich stark, aber linear an. Der lineare Anstieg ließ sich auch bei den

Tab. 4  
Korrelationskoeffizienten r (Lineare Regression) zwischen  
mikrobieller Biomasse und bodenchemischen Parametern

		Elementgehalte				
Fläche		n	C	N	P	S
Kilkenny	Auflage	20	0,851***	0,684***	0,383	0,467
Solling	Auflage	17	0,756***	0,812***	0,260	-0,146
Kilkenny	Mineral	20	0,932***	0,943***	0,663	0,893***
Solling	Mineral	17	0,980***	0,969***	0,941***	0,971***

		Relativer Anteil an austauschbaren Kationen				
Fläche		n	Ca <sup>v</sup>	Mg <sup>v</sup>	K <sup>v</sup>	Al <sup>v</sup>
Kilkenny	Mineral	10	0,289	0,189	0,088	-0,263
Solling	Mineral	14	0,947***	0,906***	0,750***	-0,919***

\*\*\* = Signifikant bei 0,1%, TB = Trockenboden

tiefer gelegenen Horizonten (Of, Oh, Ah, Bv) der Proben aus Kilkenny verfolgen. Dagegen konnten bei den weiteren Horizonten (Of, Oh, Ah, Aeh, Bv) aus dem Solling um die 30. Meßstunde ein Abflachen der Kurve beobachtet werden.

4. Diskussion

Böden von Nadelwäldern mit dem Humustyp Moder weisen gut entwickelte Auflagen auf, die überwiegend aus organischem Material bestehen. Mit zunehmender Bodentiefe sinken die C- und N-Gehalte. Diesem Gradienten entsprechend nahmen die mikrobielle Aktivität und Biomasse von den Auflagen zum Bv hin ab und die Ergebnisse beider Standorte belegen im Einklang mit früheren Untersuchungen die Bedeutung der C- und N-Gehalte für die mikrobiellen Populationen (SCHEU 1990, NORDGREN 1992).

Dagegen konnte ein deutlicher Unterschied zwischen den Standorten festgestellt werden. Die mikrobiellen Parameter in den Proben des Sollings lagen in vergleichbaren Horizonten niedriger als die der Proben aus Kilkenny. Die vorgestellten Ergebnisse unterstützen die Hypothese von ULRICH (1981), daß die Belegung der Austauscher im Mineralboden die mikrobielle Biomasse beeinflussen. Die Ergebnisse lassen darauf schließen, daß in dem stark versauerten Sollingboden die hohe Belegung der Austauscher mit Aluminium toxisch wirkte bzw. zu Mangel an Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup> und K<sup>+</sup>-Ionen führte. Der unterschiedlich steile Anstieg des akkumulierend dargestellten Sauerstoffverbrauchs (ohne Glukosezusatz) kann ebenfalls vor die-

Tab. 4  
Correlation coefficients r (linear regression) between micro-  
bial biomass and soil chemical parameters

sem Hintergrund diskutiert werden. Der verspätete und nicht lineare Anstieg der Kurven bei Proben aus dem Mineralboden des Solling ist ein möglicher Stressindikator.

5. Schlußfolgerungen

Anhand zweier unterschiedlich versauerter Fichtenstandorte konnte gezeigt werden, daß Größe und Aktivität mikrobieller Populationen durch die Abreicherung basischer Kationen bzw. die Anreicherung von toxisch wirkendem Aluminium an den Austauschern von Böden zu einem Stressfaktor für mikrobielle Populationen werden können.

Danksagung

Diese Arbeit wurde am Institut für Bodenökologie des GSF-Forschungszentrums für Umwelt und Gesundheit angefertigt. Ich danke Herrn Prof. Dr. Beese für seine Unterstützung und der E.S.F. und der CEC (STEP-CT91-0118) für die finanzielle Förderung.

Literatur

ANDERSON, J.P.E. & K.H. DOMSCH 1978: A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. Soil. Biol. Biochem. 10: 215–221  
ANDERSON, T.-H. & K.H. DOMSCH, 1993: The calorific quotient for CO<sub>2</sub> qCO<sub>2</sub> as a specific activity

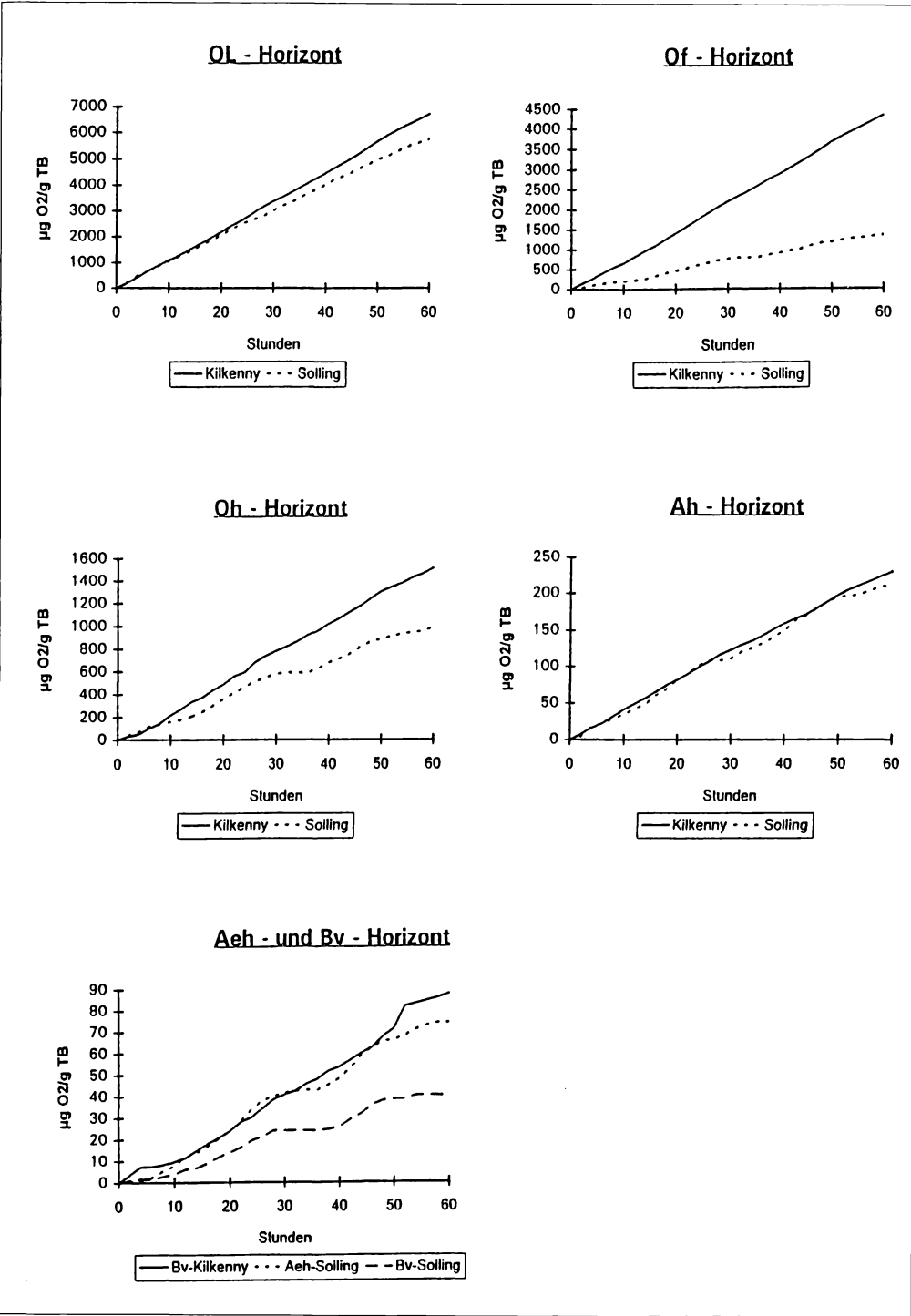


Abb. 1  
Akkumulierender Sauerstoffverbrauch ( $\mu\text{g O}_2 \text{ g TB}^{-1}$ ) in den Horizonten der Standorte Kilkenny und Solling

Fig. 1  
Accumulation of oxygen consumption ( $\mu\text{g O}_2 \text{ g dry weight}^{-1}$ ) in the horizons from Kilkenny and Solling

- parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil. Biol. Biochem.* 25: 393–395
- ANDERSON, T.-H., O. HEINEMEYER, H. INSAM, R. MARTENS, M. RAUBUCH, P. GEHLEN, E. SCHUSTER, TH. KOWALCZYK, 1990: Bestimmung der Bodenatmung. In: »Methoden zur quantitativen Bestimmung & Charakterisierung der mikrobiellen Biomasse im Boden«, In: R. MARTENS (Ed): *Selbstv. Inst. Bodenbiologie FAL-Braunschweig*: 5–23
- BECK, T.H., 1984: Mikrobiologische & biochemische Charakterisierung landwirtschaftlich genutzter Böden. II. Mitteilung: Beziehung zum Humusgehalt. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenk.* 147, 467–475
- FRITZE, H., 1991: Forest soil microbiol response to emissions from an iron and steel works. *Soil Biol. Biochem.* 23: 151–155
- MEIWES K.-J., N. KÖNNIG, P.K. KHANNA, J. PRENZEL, B. ULRICH 1984: Chemische Untersuchungsverfahren für Mineralboden, Auflagehumus & Wurzeln zur Charakterisierung & Bewertung der Versauerung in Waldböden. *Ber. Forschungszentr. Waldökosysteme/Waldsterben, Univ. Göttingen* 7: 68–142
- NORDGREN, A., 1992: A method for soil determining microbially available N and P in organic soil. *Biol. Fertil. Soils* 13: 195–199
- SCHEU. S., 1990: Changes in microbial nutrient status during secondary succesion and its modification by earthworms. *Oecologia* 84: 351–358
- ULRICH, B., 1981: Theoretische Betrachtung des Ionenkreislaufs in Waldökosystemen. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenk.* 144: 647–659
- ULRICH, B., 1986: Natural and anthropogenic components of soil acidification. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenk.* 149: 702–717

### Adresse

Dr. Markus Raubuch  
GSF  
IBÖ  
Neuherberg  
Postfach 1129  
85758 Oberschleißheim

Derzeitige Anschrift:  
Institut für Bodenkunde und Waldernährung  
Büsgenweg 2  
37077 Göttingen

# 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: 1995

Band/Volume: [24\\_1995](#)

Autor(en)/Author(s): Raubuch Markus

Artikel/Article: [Mikrobielle und bodenchemische Parameter in zwei unterschiedlich versauerten Fichtenstandorten Europas 601-606](#)