

Bestimmung der Elementbilanzen bewurzelter und unbewurzelter Böden eines Buchenwaldes mit der Freiland-Mikrokosmenmethode

Gudrun Steinmetz, Hartmut Meyer und Markus Raubuch

Synopsis

Determination of element balances in soils with and without roots in a beech forest using field microcosm method

Netto-N-mineralization and N-uptake by roots in a Terra-fusca-Rendzina was studied using field microcosms with and without roots. Element fluxes were measured and processes for soil acidification and acid-base balances were quantified. It could be shown that internal processes of mineralization and nitrification were important processes of soil acidification. In root-free microcosms 74 % of acidifying processes were caused by mineralization and subsequent nitrification. In microcosms with roots a significant uptake of nitrogen reduced this proton source to 54 %, but our results clearly indicated that the mineralization may exceed root uptake. Root respiration induced a additional 39 % of proton production by building and dissoziation of carbon acids.

Mineralisation, Nitrifikation, Wurzelrespiration, Wurzelaufnahme, bodenversauernde Prozesse

Mineralization, nitrification, root respiration, root uptake, soil acidifying processes

1 Einleitung

Neben dem Eintrag starker Säuren werden, unter dem Stichwort 'critical load', seit Jahren mögliche Auswirkungen überhöhter Stickstoffeinträge und deren Wirkung auf die Bodenversauerung als Ursache für die Destabilisierung von Waldökosystemen diskutiert (VAN BREEMEN & al. 1982, SCHULZE 1989). Bedingungen, unter denen der Stickstoffeintrag die Stickstoffaufnahme durch die Vegetation übersteigt, führen zu einer Stickstoffspeicherung in Böden, zu einer Stickstoffsättigung der Waldökosysteme und zu verstärkten Stickstoffausträgen mit der Bodenlösung (VAN BREEMEN & VAN DIECK 1988). Bei der Mobilisierung des gespeicherten Stickstoffs kann es – als Folge der Nitrifikation mineralisierten Ammoniums – zu Phänomenen der Bodenversauerung und zu veränderten Ionenumsätzen kommen. Als Ursache gelten Veränderungen und Störungen innerhalb von

Waldökosystemen sowie eine zeitliche Entkopplung von N-Mineralisation und Wurzelaufnahme (ULRICH 1987, EICHHORN 1995).

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, die Prozesse der Bodenversauerung mit Hilfe einer neuen Mikrokosmenmethode im Freiland zu untersuchen und nach dem Berechnungsansatz von ULRICH (1991) qualitativ und quantitativ zu beschreiben. Dabei wurde von der Hypothese ausgegangen, daß die Prozesse der N-Mineralisation und Nitrifikation von der Wurzelaufnahme nicht zeitlich entkoppelt sind, diese aber übersteigen können und damit eine quantitative Bedeutung für die Bodenversauerung haben.

2 Material und Methoden

Für die Untersuchungen wurden von einem Buchenwaldstandort im Göttinger Wald mit Plexiglaszylindern (h = 24cm, Innendurchmesser = 14,4cm) ungestörte Bodensäulen entnommen. Diese sind dem Bodentyp Terra-fusca-Rendzina zuzuordnen. Die Humusform ist als L-Mull anzusprechen. Eine ausführliche Charakterisierung der Probestfläche und wichtige bodenchemische und physikalische Kenndaten finden sich bei JÖRGENSEN (1987).

Die entnommenen Bodensäulen wurden als »Mikrokosmen« auf einer Versuchsfläche im Solling in den Boden eingesetzt. Eine genaue Beschreibung der Methode findet sich bei RAUBUCH 1992. Die erste Variante bestand aus Mikrokosmen ohne jegliche Vegetation, mit jeweils acht Parallelen. Bei der zweiten Variante wurden durch seitliche Bohrungen lebende Wurzeln (Länge ca. 7cm, Durchmesser der Wurzelstränge ca. 5cm) von in der Nähe stehenden Altbuchen in die Säulen eingeführt. Von diesen wurden sieben Parallelen installiert. Aufgrund einer Wurzeluntersuchung nach Ende des Experimentes mußten vier Mikrokosmen aus der Untersuchung herausgenommen werden.

Entsprechend der natürlichen Kronentraufe im Solling wurde über einen Versuchszeitraum von einem Jahr den Böden alle zwei Wochen 486 ml Regenlösung zugeführt. Mit Unterdrucklysimetern (hergestellt aus Keramikkerze P80, 12 x 67mm, Fa. KPM Berlin), die am unteren Ende der Säulen seitlich in den Boden eingelassen waren, konnte monatlich

für die chemische Analyse Bodenlösung gesammelt werden. Um Rückschlüsse auf den Einfluß von Witterungsfaktoren ziehen zu können, wurde die Untersuchung beider Varianten unter gleichen Temperaturbedingungen und gleichem Bodenwassergehalt durchgeführt. Mit Druckaufnehmertensioometern, die mit Temperaturfühlern versehen waren, konnte die Bodentemperatur und die Bodensaugspannung kontinuierlich gemessen werden.

Da in der Bodenlösung sowie in der Berechnungslösung alle Elementmengen erfaßt wurden, konnten auf der Grundlage von systematisch-theoretischen Überlegungen von ULRICH (1991) Bodenelementbilanzen erstellt werden.

Die Bodenelementbilanz definiert sich im folgenden als Differenz (GD - SO) von Elementinput mit der Berechnungslösung (GD) und Elementoutput in die Bodenlösung (SO). Positive Bilanzen zeigen eine Stoffanreicherung im Boden an, negative Bilanzen lassen auf eine Stofffreisetzung schließen. Die Höhe der Bilanz gibt die jeweilige Umsatzrate an. Die anteiligen Größen der säurebildenden bzw. puffernden Vorgänge zeigt welche protonenproduzierenden und protonenkonsumierenden Prozesse in den Böden vorherrschen.

Die Säurebelastung der Böden ergibt sich nach ULRICH (1991) aus:

- a) der Akkumulation eingetragener Säure und berechnet sich aus der Summe der positiven Bilanzen von H^+ , Mn^{2+} , Al^{3+} , Fe^{2+} , NH_4^+ .
- b) der Freisetzung von Protonsäuren durch Auflösung von Aluminiumsulfaten, Nitrifikation und Dissoziation von Kohlensäure und berechnet sich aus der Summe der negativen Bilanzen von SO_4^{2-} , NO_3^- , HCO_3^- (angenommen aus C_{min}).
- c) der Aufspeicherung von basischen Kationen aus der Deposition, wobei die versauernde Wirkung durch Austausch der Mb-Kationen gegen saure Kationen bewirkt wird. Sie berechnet sich aus der Summe der positiven Bilanzen von Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ .

Die Pufferung ergibt sich aus

- d) der Akkumulation eingetragener Protonenacceptoren durch die biogene Umwandlung von HNO_3 zu Norg oder durch die Bildung von Aluminiumsulfaten
- e) der Freisetzung von basischen Kationen durch Kationenaustausch oder Mineralverwitterung
- e) und aus der Freisetzung von sauren Kationen durch Lösungsprozesse von Oxiden, Silikaten oder Sulfaten

Aufgrund unkontrollierten Eintritts von Schnee zu Anfang des Versuches, wurden die Monate Januar, Februar und März aus der Berechnung der Bilanzen herausgenommen. Um eine vollständige Jahresbilanz

zu erhalten und die Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten, wurden die Elementmengen auf ein Jahr umgerechnet und in ha^{-1} dargestellt.

3 Ergebnisse

Hinsichtlich des Wasserhaushaltes sind in den Böden beider Varianten ausgeglichene Bedingungen zu beobachten. Es werden maximal Saugspannungen von 180 hPa erreicht. Mit $7,35^\circ C$, gemessen an der Bodenoberfläche, ist das Versuchsjahr als überdurchschnittlich warm zu bezeichnen. Die höchsten Temperaturen werden in den Sommermonaten zwischen Juli und August gemessen.

Die Ergebnisse der Bodenchemie zeigen, daß sowohl die Nitrat- als auch die Calciummengen in der Bodenlösung der bewurzelten Böden außerhalb der Vegetationszeit deutlich niedriger sind als jene der unbewurzelten Variante. In den Monaten März bis August hingegen sind keine Unterschiede feststellbar.

Der Austrag an mineralischem Kohlenstoff ist im ganzen Jahresverlauf gegenüber der Variante ohne Vegetation erhöht ($p < 0,01$, $t = -3,62$, $N = 10$, nach T-test für abhängige Stichproben) (Abb. 1). Die Bodenelementbilanzen (Tab. 1a, Tab. 1b) der untersuchten Varianten zeigen eine deutliche Quellenfunktion für Stickstoff. Während bei der Variante ohne Vegetation $8 \text{ kmol IÄ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ Nitrat freigesetzt werden (Tab. 1a), sind in der Bodenlösung der Variante mit Buchenwurzel noch $5 \text{ kmol IÄ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ nachweisbar (Tab. 1b). Die daraus ermittelten Mineralisationsraten betragen $97 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ Stickstoff für die Böden ohne Vegetation und $56 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ für die bewurzelte Variante.

Für Calcium ist ebenfalls bei beiden Varianten eine Quellenfunktion zu beobachten. Die Calciumbilanz der Variante mit Wurzel ergibt eine um $0,65 \text{ kmol IÄ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ niedrigere Rate als die der Variante ohne Vegetation. Unterschiede finden sich auch bei den Bilanzen des mineralischen Kohlenstoffs. Diesbezüglich kann für die bewurzelten Böden, gegenüber jenen ohne Wurzeln, eine um 40 % höhere Freisetzung ermittelt werden.

Für die Variante ohne Vegetation wird eine Gesamtsäurebelastung von $12 \text{ kmol IÄ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ festgestellt. Der größte Anteil ist mit 86 % auf die Freisetzung von Protonsäuren zurückzuführen. Eingetragene Säure trägt mit nur 9 % zur Säurebelastung bei. Der Anteil der Akkumulation von basischen Kationen beträgt nur 5 %.

Bei der Variante mit Buchenwurzel wird mit $10 \text{ kmol IÄ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ eine etwas geringere Säurebelastung gefunden als bei der Variante ohne Vegetation. Auch hier ist der Hauptanteil mit 83 % auf die Freisetzung von Protonsäuren zurückzuführen. 11 % der Säurebelastung sind durch die deponierte Säuremenge be-

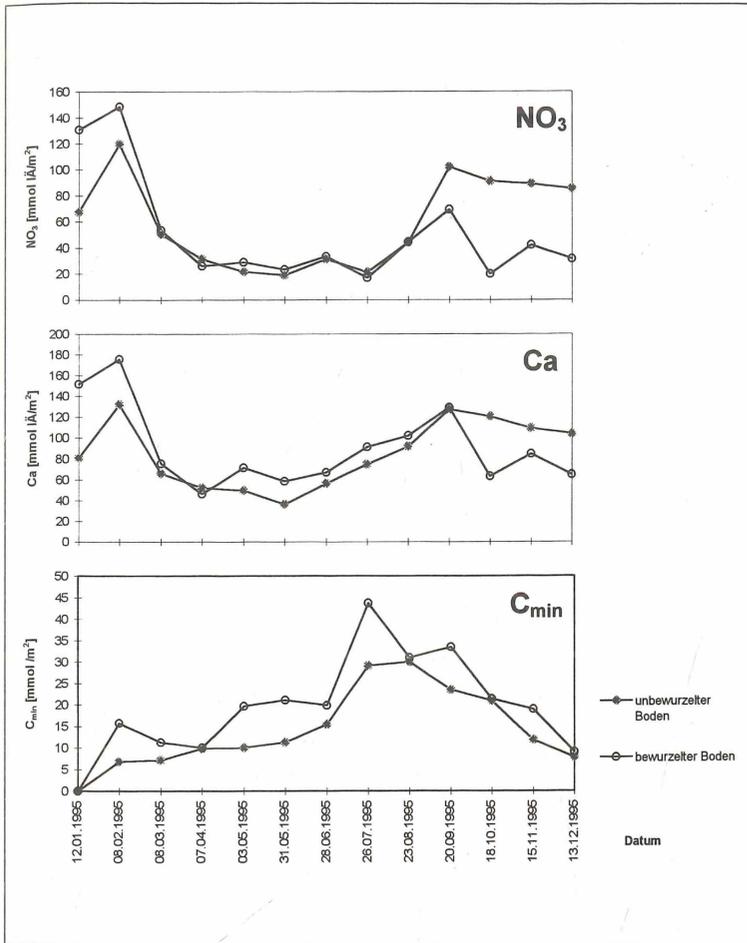


Abb. 1 Nitrat-, Calcium-, und mineralische Kohlenstoffmenge in der Bodenlösung.

Fig. 1 Nitrogen, calcium and mineral carbon in the soil solution.

Tab. 1a, 1b
 Elementbilanz der bewurzelten und der unbewurzelten Bodenvariante.

Table 1a, 1b
 Element balance of soil variants with roots and without roots.

Bodenelementbilanz der Variante ohne Vegetation											
(kmol IÄ ha ⁻¹ a ⁻¹)	Ca	Mg	K	Na	NH ₄	Al	Mn	H	NO ₃	SO ₄	C _{min}
Input (GD)	0,54	0,22	0,67	0,63	0,73	0,04	0,04	0,37	0,25	2,86	0
Output (SO)	11,95	0,45	0,03	1,11	0,11	0,01	0,02	0,00	7,78	3,11	2,46
Differenz(GD-SO)	-11,41	-0,23	0,64	-0,48	0,62	0,03	0,02	0,37	-7,53	-0,25	-2,46
Säurebelastung	a) 1,0	b) 10,3	c) 0,6		Pufferung	d) 0	e) 12,1	f) 0			
Bodenelementbilanz der Variante mit Buchenwurzeln											
(kmol IÄ ha ⁻¹ a ⁻¹)	Ca	Mg	K	Na	NH ₄	Al	Mn	H	NO ₃	SO ₄	C _{min}
Input (GD)	0,55	0,23	0,67	0,64	0,74	0,04	0,04	0,38	0,25	2,90	0
Output (SO)	11,31	0,49	0,02	0,65	0,10	0,01	0,01	0,00	4,88	3,48	3,32
Differenz(GD-SO)	-10,76	-0,26	0,65	-0,01	0,64	0,03	0,03	0,38	-4,63	-0,58	-3,32
Säurebelastung	a) 1,1	b) 8,5	c) 0,7		Pufferung	d) 0	e) 11	f) 0			

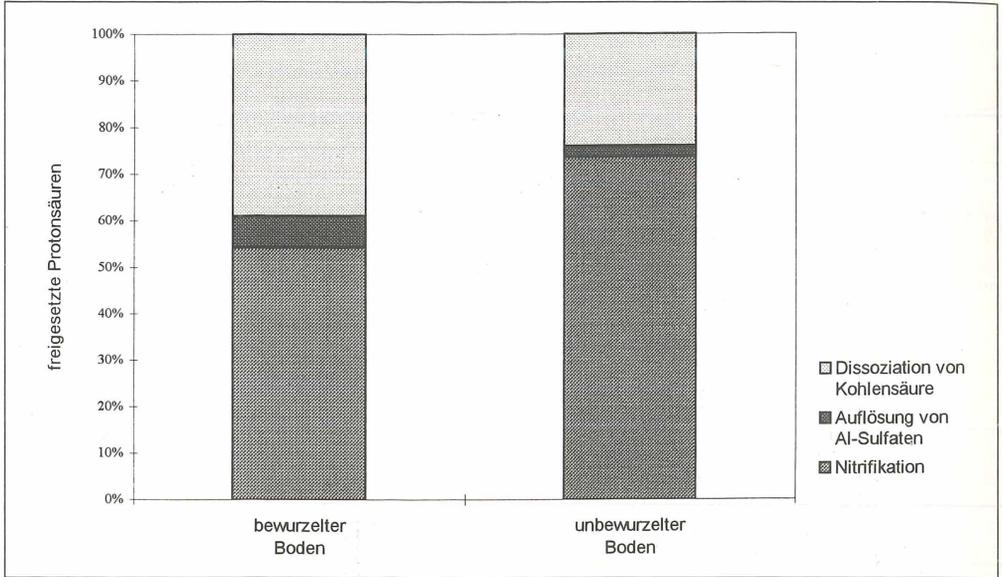


Abb. 2
Prozentuale Anteile der Nitrifikation, Auflösung von Aluminiumsulfaten und Dissoziation von Kohlensäure an der Protonenbelastung durch Freisetzung von Protonsäuren.

Fig. 2
Percentages of nitrification, dissolution of aluminiumsulfate and dissoziation of carbonic acid by the proton load.

dingt und 6 % entstammen aus der Akkumulation von basischen Kationen.

Zwischen den verschiedenen Varianten bestehen deutliche Unterschiede hinsichtlich der Art der freigesetzten Protonsäuren (Abb. 2). Bei der Variante ohne Vegetation sind 74 % der Protonenproduktion auf HNO_3 -Bildung in Folge der Nitrifikation bodenbürtigen Ammoniums zurückzuführen. Ein Anteil von 24 % entstammt vermutlich der Dissoziation von Kohlensäure. Die Variante mit Buchenwurzel dagegen zeigt eine verringerte HNO_3 -Bildung ($p < 0,01$, t -value = 3,23, $N = 8$ bzw. 3, nach T-test für unabhängige Stichproben). Ein großer Anteil der gebildeten Protonen wird durch die Dissoziation von Kohlensäure freigesetzt.

4 Diskussion

Die Ergebnisse von 29 Fallstudien in Buchenwäldern der Bundesrepublik Deutschland ergeben, daß sich bei mehr als 80 % der untersuchten Flächen Nitrat- austräge nachweisen lassen. Ein Drittel der Nitratfrachten entstammen vermutlich der bodeninternen Stickstofffreisetzung (EICHHORN, 1995). Nach der vorliegenden Untersuchung ist von wesentlich höheren Werten auszugehen.

Die Mineralisationsraten zeigen eine Stickstoffaufnahme durch die Buchenwurzel im Versuchsjahr

von $41 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Trotz dieses deutlichen Wurzel-effektes ist ein Nitrat- austrag zu verzeichnen. Damit ist anzunehmen, daß der hohe Nitrat- austrag der wurzelfreien Mikrokosmen nicht nur durch die fehlende Vegetation, sondern auch durch einen Mineralisationsschub bedingt ist. Dies widerspricht der Interpretation von BAUHUS (1994), der bei Untersuchungen an einem Lochhieb die unterbrochene Pflanzenaufnahme für den verstärkten Nitrat- austrag verantwortlich macht. Da in der vorliegenden Untersuchung, trotz hoher Stickstoffaufnahme durch die Wurzel, ein Nitrat- austrag zu verzeichnen ist, kann von einer Überschußmineralisierung durch verstärkte Zersetzungsaktivität der Mikroorganismen ausgegangen werden. Eine zeitliche Entkopplung der Mineralisation und der Wurzel- aufnahme ist als Ursache für Nitrat- austräge damit nicht wahrscheinlich.

Nach einer Hypothese von ULRICH (1981) ist eine Überschußmineralisierung durch warm-trockene Phasen mit anschließender Wiederbefeuchtung bedingt und führt zur Produktion von Protonen, die einen Versauerungsschub hervorrufen. Die Existenz von Versauerungsschüben und deren Folgen wurde in der Literatur vielfach beschrieben (MATZNER & THOMA 1983, BREDEMEIER 1987, EICHHORN 1995). Da der Bodenwassergehalt während des ganzen Versuchszeitraumes ausgeglichen war, muß vermutet werden, daß nicht warm-trockene Phasen, sondern ein Anstieg der Temperatur in den Sommer-

monaten gerade bei optimalen Wasserverhältnissen zu Überschußmineralisation und Versauerungsschüben führt.

Hinsichtlich der gesamten Säurebelastung unterscheiden sich die Böden mit Vegetation nicht von solchen, die vegetationsfrei sind. Die Differenzierung der gebildeten Protonsäuren deuten darauf hin, daß in Böden mit aktivem Wurzelwerk weniger starke Säuren und mehr schwache Säuren gebildet werden. Dies ist einerseits auf die Stickstoffaufnahme und andererseits auf die verstärkte Bildung von Kohlendioxid durch die Wurzel zurückzuführen. Da Kohlensäure nicht zu einer Versauerung des Bodens führt, kann davon ausgegangen werden, daß die Wurzelaufnahme der Versauerung durch Nitrifikation entgegenwirkt.

Der hier gewählte Modellansatz stellt ein künstliches System dar, welches jedoch erstmals die Möglichkeit bietet Umsatzprozesse in Böden unter Freilandbedingungen zu quantifizieren. Die Bedingungen im Bereich der durchwurzelten Bodenzone sind nicht direkt auf natürliche Gegebenheiten übertragbar, zumal die Anzahl bewurzelter Parallelen nicht ausreichend erscheint. Dennoch zeigen die Ergebnisse deutliche, statistisch belegbare Tendenzen hinsichtlich der Gefahr einer Bodenversauerung durch hohe Stickstoffbelastungen von Böden, die durch weitere, naturnahe Untersuchungen näher geprüft werden sollten.

Danksagung

Wir danken dem BMBF sowie der Commission of the European Communities (STEP - CT91 - 0118) für die Finanzierung des Projektes und den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Zentrallabors des Forschungszentrums Waldökosysteme in Göttingen für die zügige und unproblematische Bearbeitung unserer Proben.

Literatur

- BAUHUS, J., 1994: Stoffumsätze in Lochhieben. – Ber. d. Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A, Bd. 113
- BREDEMEIER, M., 1987: Stoffbilanzen, interne Protonenproduktion und Gesamtsäurebelastung des Bodens in verschiedenen Waldökosystemen Norddeutschlands. – Ber. d. Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A, Bd. 33
- EICHHORN, J., 1995: Stickstoffsättigung und ihre Auswirkungen auf das Buchenwaldökosystem der Fallstudie Zierenberg. – Ber. d. Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A, Bd. 124
- JÖRGENSEN, R.G., 1987: Flüsse, Umsatz, Haushalt

der postmortalen Substanz und ihrer Stoffgruppen in Streudecke und Bodenkörper eines Buchenwaldökosystems auf Kalkgestein. – Gött. Bodenkundl. Ber., Bd. 91

- MATZNER, E. & THOMA, E., 1983: Die Auswirkung eines saisonalen Versauerungsschubes im Sommer/Herbst 1982 auf den chemischen Bodenzustand verschiedener Waldökosysteme. – Allg. Forstzeitschrift, 26/27, 677–682
- RAUBUCH, M., 1992: Wechselwirkungen zwischen mikrobiologischen und chemischen Parametern in Waldböden unter Berücksichtigung des atmosphärischen Eintrags. – Ber. d. Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A, Bd. 89
- SCHULZE, E.D., 1989: Air pollution and forest decline in a spruce (*Picea abies*) forest. – Science 244: 776–783
- ULRICH, B., 1981: Zur Stabilität von Waldökosystemen. Forstarchiv, 52, 165–170
- ULRICH, B., 1987: Stability, elasticity, and resistance of terrestrial ecosystems with respect to matter balance. – In: Schulze, E.D. & Zwölfer, H. (Eds.): Ecological Studies 61: 11–49.
- ULRICH, B., 1991: Rechenweg zur Schätzung der Flüsse in Waldökosystemen. Identifizierung der sie bedingenden Prozesse. Ber. d. Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B, 24, 204–210.
- VAN BREMEN, H., BURROUGH, P.A., VELTHORST, E.J., VAN DOBBEN, H.F., DE WIT, T., DE RIDDER, T.B., REIJNDERS, H.F.R., 1982: Acidification from atmospheric ammonium SO_4^{2-} in forest canopy throughfall. – Nature 299: 548–550
- VAN BREMEN, N. & VAN DIJK, H.F.G., 1988: Ecosystem effects of atmospheric deposition of nitrogen in the Netherlands. – Environmental Pollution 54: 249–274

Adressen

- Gudrun Steinmetz
Markus Raubuch
Institut für Bodenkunde und Waldernährung der
Universität Göttingen
Büsgenweg 2
D-37077 Göttingen
- Hartmut Meyer
Institut für Forstbotanik der Universität Göttingen
Büsgenweg 2
D-37077 Göttingen

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): Meyer Hartmut, Raubuch Markus, Steinmetz Gudrun

Artikel/Article: [Bestimmung der Elementbilanzen bewurzelter und unbewurzelter Böden eines Buchenwaldes mit der Freiland-Mikrokosmenmethode 311-315](#)