

# Messung der Nettostickstoffmineralisation im Grünland – ein Methodenvergleich

V. Zeller, E. Kandeler und V. Trockner

## Measurement of net nitrogen mineralization in grassland – a comparison of methods

### 1. Einleitung

Aus ökologischen und ökonomischen Gründen muß N-Dünger effizient und bedarfsgerecht eingesetzt werden. Deshalb sollte bei der Ermittlung des Düngerbedarfs von Grünland die Nettostickstoffmineralisation (NNM) berücksichtigt werden. Da die NNM im Modellversuch im Labor überschätzt wird, sind geeignete Freilandmethoden zur Messung notwendig. Neben aufwendigen Isotopenversuchen kann die NNM als akkumulierte N-Menge unter Ausschluß des Pflanzenentzugs unter künstlicher Brache gemessen werden. Der akkumulierte N wird entweder in überdachten, vegetationsfreien Flächen („Überdachte Brache-Methode“ nach LINDEN et al., 1992), in geschlossenen Polyethylenbeuteln (*buried bag*-Methode nach ENO, 1960) oder in offenen Stahlsäulen mit einer Anionenaustauscherschicht (*resin core*-Methode nach RAISON et al., 1987; HÜBNER et al., 1991) gemessen.

Die NNM wird von den Faktoren Temperatur, Feuchte und Belüftung, Bodentiefe und Textur, sowie der Verfügbarkeit von Substrat beeinflusst (CASSMAN and MUNNS, 1980; RUNGE, 1983). Um Meßfehler bei der Bestimmung der NNM zu vermeiden, müssen die Bedingungen während der Exposition möglichst den Freilandbedingungen entsprechen. Durch *in situ*-Exposition schwankt die Temperatur in Stahlsäulen, Polyethylenbeuteln oder überdachten Bracheflächen wie unter Freilandbedingungen und Temperatureffekte können vernachlässigt werden (RAISON et al., 1987).

Der Wassergehalt sollte bei der *resin core*- und *Überdachte Brache-Methode* wie am Feld schwanken. Die Wasserversorgung erfolgt bei der *resin core*-Methode über die Oberfläche, vertikaler Transport kann über die Anionenaustauscherschicht stattfinden. Der laterale Wasser- und Stoffaustausch ist unterbunden. In überdachten Bracheflächen erfolgt die Wasserversorgung über lateral und vom Unter-

### Summary

Three *in situ* methods to measure net nitrogen mineralization (NNM) were compared. The NNM (0–20 cm) was measured after plant removal as accumulated ammonium and nitrate N according to the following methods: a) in open cores with an anion exchange resin layer (*resin core* method), b) in closed polyethylene bags (*buried bag* method) and c) in covered fallow plots. For the *resin core* method, the influence of exposure time on the NNM, as well as changes in water content and microbial biomass N during the exposure were investigated. In the fallow plots, either nitrate leaching, denitrification or microbial immobilization led to unreliable results. Compared to the *resin core* method, the *buried bag* method showed higher NNM values. The *resin core* method gave similar results for exposure times of 3 and 6 weeks. Compared with the undisturbed soil, the water content in cores after 6 weeks of exposure was higher in dry grassland, whereas the microbial biomass N remained constant. In contrast, the irrigated plot showed no differences in water content, but a biomass N loss of about 26–45 %. For further *in situ* measurements of NNM the use of the *resin core* method is recommended with exposure times of 6 weeks. Changes in water content and microbial biomass should be determined as well.

**Key words:** Buried bag method, grassland, microbial biomass N, net nitrogen mineralization, resin core method.

### Zusammenfassung

Drei Freilandmethoden zur Messung der Nettostickstoffmineralisation (NNM) wurden verglichen. Die NNM (0–20 cm) wurde nach Ausschluß der Pflanzen als akkumulierter Ammonium- und Nitrat-N gemessen: a) in offenen Stahlsäulen mit Anionenaustauscherschicht (*resin core*-Methode), b) in geschlossenen Polyethylenbeuteln (*buried bag*-Methode) und c) in überdachten Bracheflächen. Für die *resin core*-Methode wurde zusätzlich der Einfluß der Expositionsdauer auf die NNM sowie die Veränderungen des Wassergehaltes und des mikrobiellen Biomasse-N während der Exposition untersucht. In den überdachten Bracheflächen führte Auswaschung, Denitrifikation oder mikrobielle Immobilisation nach 12 Wochen zu einer Abnahme des akkumulierten Nitrats. Die *buried bag*-Methode zeigte im Vergleich mit der *resin core*-Methode höhere NNM-Werte. Die *resin core*-Methode erbrachte für Expositionszeiten von 3 und 6 Wochen vergleichbare Ergebnisse. Im Vergleich zum ungestörten Boden waren die Wassergehalte in einem Halbtrockenrasen nach 6-wöchiger Exposition in Stahlsäulen erhöht, während der mikrobielle Biomasse-N mit einer Ausnahme gleich groß blieb. Dagegen wurden in einer beregneten Fläche keine Unterschiede im Wassergehalt, jedoch eine Abnahme des Biomasse-N von 26–45 % festgestellt. Für weitere Freilandmessungen der NNM wird die Anwendung der *resin core*-Methode mit Expositionszeiten von 6 Wochen empfohlen. Veränderungen der Wassergehalte und der mikrobiellen Biomasse sollten während der Messung mitverfolgt werden.

**Schlagerworte:** *Buried bag*-Methode, Dauergrünland, mikrobieller Biomasse-N, Nettostickstoffmineralisation, *resin core*-Methode.

grund einfließendes Wasser. Während der Exposition in *buried bags* wird der Wassergehalt dagegen konstant gehalten. Bei konstantem Wassergehalt kommt die fördernde Wirkung von periodischer Trocknung und Wiederbefeuchtung nicht zum Tragen (CORTEZ, 1989; CABRERA, 1993). Ein hoher Wassergehalt der Proben bei Expositionsbeginn kann zudem zu Sauerstoffmangel führen. Infolge der Sauerstoffabnahme in den anaeroben Bereich wird die Nitrifikation gehemmt und die Denitrifikation gefördert (RUNGE, 1983; PAUL and CLARK, 1989). Im Gegensatz dazu sollte der Gasaustausch in der *resin core*- und *Überdachte Brache*-Methode ungestört sein.

Die Zerstörung der Bodenstruktur durch Sieben führt besonders in biologisch wenig aktiven Böden zu einer Steigerung der NNM (GERLACH, 1973). Bei der *resin core*- und *Überdachte Brache*-Methode wird durch die Verwendung von Stahlsäulen bzw. überdachten Bracheflächen die Strukturzerstörung minimiert. Bei der *buried bag*-Methode kommt es dagegen durch das Sieben zu einer Strukturzerstörung.

Der Einfluß der intakten Wurzel auf die NNM bleibt bei den besprochenen Methoden unberücksichtigt. Intakte Wurzeln können die N-Mineralisation durch Ausscheidung von Exsudaten fördern (BILLÈS et al., 1988; HELAL und SAUERBECK, 1989). Nach einer Untersuchung von GRIFFITHS und ROBINSON (1992) wird jedoch weniger als 6 % des pflanzlichen N-Entzugs aus der wurzelinduzierten Mineralisation bereitgestellt.

Grünlandböden besitzen eine hohe Durchwurzelungsintensität; etwa 5–15 t N ha<sup>-1</sup> sind in der Wurzelmasse gespeichert (RYDEN, 1984). Wurzeln können daher bei der Messung nie vollständig entfernt werden, ohne die Struktur des Bodens zu zerstören. Im Boden verbleibende Wurzeln können während der Exposition mikrobiell abgebaut werden und die Messung der NNM beeinträchtigen (GERLACH, 1973). Da aber das C/N Verhältnis der Wurzeln relativ weit ist und weiters der Anfall an abgestorbenen Wurzeln in ungestörtem Boden recht groß ist, dürfte der Wurzeleffekt von untergeordneter Rolle sein (RUNGE, 1970).

Einfluß auf die NNM nimmt auch die Menge an akkumuliertem, mineralischem N. Ammoniumakkumulationen fördern durch Substratinduktion die Nitrifikation, während hohe Nitratakkumulationen die Nitrifikation hemmen (HAYNES, 1986). Die Menge an akkumuliertem N ist eng mit der Expositionsdauer verknüpft. In der Literatur finden sich jedoch sehr unterschiedliche Expositionszeiten von 1 Woche (ZOU et al., 1992) bis zu 10 Monaten (POWERS, 1990). Während ADAMS et al. (1989) kurze Expositionszeiten (3 Wochen) empfehlen, halten RAISON et al. (1987) die Anpassung der Expositionszeit an die zu erwartende Höhe der NNM für sinnvoll.

Durch die Verlagerung von akkumuliertem N in die Ionenaustauscherschicht der Säulen können sehr hohe Nitratakkumulationen vermieden werden (HÜBNER et al., 1991). Im Gegensatz dazu akkumuliert der mineralisierte

N in den Polyethylenbeuteln und der überdachten Brache während der Exposition.

Neben dem N-Angebot ist der Immobilisations-Mineralisations-Prozess von der mikrobiellen Biomasse abhängig (SMITH, 1994). Aufgrund abweichender Lebensbedingungen während der Exposition kann die mikrobielle Biomasse qualitative und quantitative Veränderungen erfahren und zu einer Verfälschung der Meßergebnisse führen.

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist der Vergleich der Ergebnisse der *buried bag*- und „Überdachte Brache“-Methode mit der *resin core*-Methode. Der Einfluß der Expositionsdauer der Stahlsäulen auf die NNM soll für die *resin core*-Methode bestimmt werden. Die Verlagerung von Nitrat-N in die Ionenaustauscherschicht, sowie Veränderungen der Wasser- und Biomasse-N-Gehalte während der Exposition werden in einem feuchten und einem trockenen Standort verglichen.

## 2. Material und Methodik

### 2.1 Standorte

Die Untersuchungen wurden in drei montanen Dauerwiesen mit Schnittnutzung im Vinschgau (Südtirol) ausgeführt. Das Jahresmittel der Temperatur liegt bei 6,6° C, die mittlere Jahresniederschlagssumme bei 519 mm. Eine ausführliche Standortbeschreibung gibt ZELLER et al. (1997).

#### Standort 1: Fläche *Paflur*

Goldhaferwiese mit mittelintensiver Bewirtschaftung, 2 Schnittnutzungen pro Jahr, organische N-Düngung mit 57 kg N ha<sup>-1</sup> pro Jahr. Bodentyp: Dystrochrept (American Soil System); Bodenart: sL; pH-Wert (0,01 M CaCl<sub>2</sub>) im A<sub>h1</sub>-Horizont: 4,9

#### Standort 2: Fläche *Obertels*

Halbtrockenrasen mit extensiver Bewirtschaftung, 1 Schnittnutzung pro Jahr, alle 7 Jahre organische N-Düngung, keine Beregnung. Bodentyp: Entic Hapludoll; Bodenart: sL/IS; pH-Wert (0,01 M CaCl<sub>2</sub>) im A<sub>h1</sub>-Horizont: 5,8

#### Standort 3: Fläche *Tanas*

Bewässerte Goldhaferwiese mit intensiver Bewirtschaftung, 3 Schnittnutzungen pro Jahr, organische Düngung mit 64 kg N ha<sup>-1</sup> und mineralische mit 122 kg N ha<sup>-1</sup> pro Jahr. Bodentyp: Entic Hapludoll; Bodenart: IS; pH-Wert (0,01 M CaCl<sub>2</sub>) im A<sub>h1</sub>-Horizont: 5,9

### 2.2 Versuchsanlage 1

Drei Freilandmethoden zur Messung der NNM wurden verglichen:

- Resin core*-Methode nach RAISON et al. (1987); HÜBNER et al. (1991)
- Buried bag*-Methode nach ENO (1960)
- „Überdachte Brache“-Methode nach LINDEN et al. (1992)

Für die *resin core*-Methode wurde der Einfluß der Expositionsdauer (3, 6 und 12 Wochen) auf die NNM-Messung bestimmt.

#### 2.2.1 Versuchsdesign

Der Versuch wurde auf Standort 1 im Zeitraum von 28. Juli bis 20. Oktober 1994 durchgeführt. Auf einer Fläche von 20 x 25 m wurden neun Parzellen von 1 x 1 m zur Messung der NNM nach der *resin core*- und *buried bag*-Methode angelegt. Zur Messung der NNM nach der „Überdachten Brache“-Methode wurden drei der neun Parzellen auf 2,2 x 2,2 m vergrößert.

Für die Messung der NNM nach der *resin core*-Methode wurden zu Versuchsbeginn (28. 7. 1994) pro Parzelle 3 Stahlsäulen in 0–20 cm Tiefe eingesetzt. Im Versuchszeitraum von 12 Wochen wurde eine Säule jeweils nach 3 Wochen und eine jeweils nach 6 Wochen beprobt und für die nächste Messung neu eingesetzt. Eine Säule pro Parzelle wurde nach 12 Wochen bei Versuchsende beprobt. Aus diesem Versuchsdesign ergaben sich daher vier aufeinanderfolgende 3-wöchige Expositionen, zwei 6-wöchige und eine 12-wöchige Exposition.

Zum Vergleich der Ergebnisse der *resin core*- und *buried bag*-Methode wurde die NNM vom 29. September bis 20. Oktober in den neun Parzellen nach der *buried bag*-Methode bestimmt. Dazu wurde mit dem Pürkauerbohrer eine Mischprobe (7–9 Einstiche) pro Parzelle gewonnen und 3 Wochen am Feld exponiert.

Die NNM nach der „Überdachten Brache“-Methode wurde in 3 Parzellen verfolgt. Jeweils in 3-wöchigem Abstand wurde die NNM in 0–10 und 10–20 cm Tiefe gemessen. Die NNM in den überdachten Bracheflächen wurde nach 3, 6 und 12-wöchiger Expositionsdauer mit der NNM in Stahlsäulen der jeweiligen Parzelle verglichen.

#### 2.2.2 Methodenbeschreibung

Die NNM wird bei den drei untersuchten Methoden als akkumulierter mineralischer Stickstoff nach Ausschluß der N-Aufnahme der Pflanzen gemessen:

- a) in offenen Stahlsäulen mit Anionenaustauscherschicht am unteren Ende der Säule (*Resin core*-Methode)  
 b) in geschlossenen Polyethylenbeuteln (*Buried bag*-Methode)  
 c) in überdachten Bracheflächen („Überdachte Brache“-Methode)

Die NNM ergibt sich als akkumulierter Ammonium- und Nitratstickstoff nach Abzug der N<sub>min</sub>-Gehalte zu Beginn der Exposition:

$$\text{NNM} = (\text{NO}_3^-_{\text{akk}} + \text{NH}_4^+_{\text{akk}}) - (\text{NH}_4^+_{\text{anf}} + \text{NO}_3^-_{\text{anf}})$$

mit: NNM	NNM ( $\mu\text{g N g}^{-1} \text{ TS } 6 \text{ Wo}^{-1}$ )
$\text{NO}_3^-_{\text{akk}}$	$\text{NO}_3^-$ -N bei Expositionsende ( $\mu\text{g N g}^{-1} \text{ TS}$ )
$\text{NH}_4^+_{\text{akk}}$	$\text{NH}_4^+$ -N bei Expositionsende ( $\mu\text{g N g}^{-1} \text{ TS}$ )
$\text{NO}_3^-_{\text{anf}}$	$\text{NO}_3^-$ -N bei Expositionsbeginn ( $\mu\text{g N g}^{-1} \text{ TS}$ )
$\text{NH}_4^+_{\text{anf}}$	$\text{NH}_4^+$ -N bei Expositionsbeginn ( $\mu\text{g N g}^{-1} \text{ TS}$ )

#### a) *Resin core*-Methode

Eine Stahlsäule (Länge = 27 cm, Durchmesser = 8,2 cm) wird in den Boden eingesetzt und am unteren Ende der Säule ein Ionenaustauscherbeutel (Durchmesser = 8 cm; 15 g Anionenaustauscher DOWEX 1 x 8, 20–50 mesh und 15 g Glasperlen) aus feinmaschigem Nylonnetz (SAATFIL, 160/43, ca. 0,1 mm Maschenweite) eingesetzt (Abbildung 1). Dazu wird die Säule mittels einer Hebelvorrichtung aus dem Boden entnommen, die unterste Bodenschicht entfernt und der Ionenaustauscherbeutel durch ein biegsames, plastifiziertes Metallgitter in der Säule befestigt. Anschließend werden Pflanzen samt Wurzeln entfernt und die Säule wird wieder an der Entnahmestelle eingesetzt. Nach einer festgelegten Expositionszeit am Standort (3, 6 und 12 Wochen) wird die Säule aus dem Boden gezogen, der Boden in der Säule in Polyethylenbeuteln gesammelt und der Anionenaustauscher entfernt.

Zur Bestimmung des Anfangsgehaltes an mineralischem N in der Säule werden bei Expositionsbeginn außerhalb der Säule Mischproben aus 7–9 Einstichen mit dem Pürkauer-Bohrstock gewonnen.

Alle Proben werden in Kühltaschen transportiert, auf 5 mm gesiebt und bis zur Analyse bis zu 3 Tagen bei 4°C aufbewahrt. Im Labor werden die Bodenproben in 0,0125 M  $\text{CaCl}_2$  im Verhältnis 1 : 4 extrahiert und der Ammonium- und Nitrat-N photometrisch bestimmt (SCHINNER et al., 1993). Die Anionenaustauscherbeutel werden etwa 10 Tage in einem geschlossenen Raum luftgetrocknet. Zur

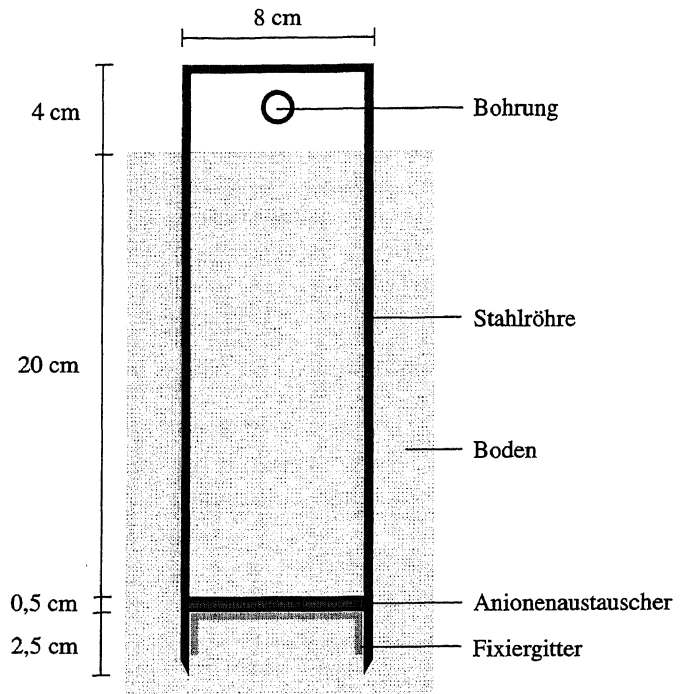


Abbildung 1: Versuchsaufbau zur Bestimmung der Nettostickstoffmineralisation (NNM) in Stahlsäulen nach der *resin core*-Methode

Figure 1: Experimental design for the measurement of net nitrogen mineralization (NNM) in steel tubes (*resin core* method)

Elution des Nitrat-N werden 2 g des luftgetrockneten Ionenaustauschers zweimal mit 100 ml 1 M NaCl versetzt und eine Stunde am Rotationsschüttler (200 U/min) geschüttelt. Aus den Eluatzen wird der Nitrat-N photometrisch bestimmt (SCHINNER et al., 1993).

#### b) *Buried bag*-Methode

Etwa 500 g einer Mischprobe aus einer 1 x 1 m großen Parzelle wird auf 5 mm gesiebt, in gasdurchlässige 1 Liter-Polyethylenbeutel gefüllt und verschlossen. Die Proben werden in ihrer Entnahmetiefe am Standort 6 Wochen exponiert. Bei Expositionsende werden die Bodenproben wie unter *resin core*-Methode beschrieben ins Labor gebracht, extrahiert und der Ammonium- und Nitratgehalt der Extrakte bestimmt.

#### c) „Überdachte Brache“-Methode

Durch Entfernen der Vegetation werden 1 x 1 m große Bracheflächen geschaffen. Um die Verlagerung des akkumulierenden Nitrats zu vermeiden, wird ein Dach aus Kunststoff (1,2 m x 1,2 m) ca. 30 cm über dem Boden

angebracht. Zur Bestimmung der NNM werden in der Brache fläche in 3-wöchigem Abstand Mischproben (7–9 Einstiche pro Parzelle) in der Tiefe von 0–10 cm und 10–20 cm gezogen. Die Proben werden wie unter *resin core*-Methode beschrieben vorbehandelt, extrahiert und der Ammonium- und Nitratgehalt der Extrakte bestimmt.

### 2.3 Versuchsanlage 2

Für die *resin core*-Methode wurden Veränderungen der Wassergehalte und des Biomasse-N während der Exposition in Stahlsäulen bestimmt. Dazu wurden die Wassergehalte und der ninhydrinreaktive Biomasse-N in den Säulen nach 6-wöchiger Exposition mit jenen im bewachsenen, ungestörten Boden neben den Säulen verglichen. Weiters wurde die NNM nach der *resin core*-Methode bestimmt, um die Verlagerung von Nitrat-N in den Ionenaustauscher zu messen und mit dem akkumulierten Nitrat-N in Beziehung zu setzen.

Der Versuch wurde vom 4. April bis 19. September 1995 auf zwei Standorten mit unterschiedlicher Bodenfeuchte (Halbtrockenrasen, Standort 2 und bewässerte Goldhaferwiese, Standort 3) durchgeführt. Aufgrund der hohen räumlichen Variabilität der NNM in Versuch 1 wurden pro Standort neun Parzellen von 1 x 1 m in einer Fläche von 10 x 10 m angeordnet.

In jede Parzelle wurde eine Stahlsäule eingesetzt und 6 Wochen am Feld exponiert. Insgesamt wurden vier aufeinanderfolgende Expositionen durchgeführt. Die ungestörten Bodenproben wurden jeweils bei Expositionsende der Säulen als Mischproben (7–9 Einstiche mit dem Pürkauerbohrer in 0–20 cm Tiefe) im Abstand von etwa 20 cm der Säule entnommen.

Die Proben wurden gekühlt ins Labor gebracht, auf 5 mm gesiebt und bis zu 3 Tagen bei 4° C aufbewahrt. Für die Bestimmung des ninhydrinreaktiven Biomasse-N wurde ein Teil der Proben auf 2 mm gesiebt und bei – 20° C eingefroren.

Die Messung der NNM nach der *resin core*-Methode erfolgte wie in Abschnitt 2.2.2 beschrieben. Der Nitrat-N wurde in den Anionenaustauscherbeuteln nach Elution in 1 M NaCl und in den Bodenproben im 0,0125 M CaCl<sub>2</sub>-Extrakt photometrisch gemessen (SCHINNER et al., 1993).

Der ninhydrinreaktive Biomasse-N wurde nach der Fumigation-Extraktions-Methode im KCl-Extrakt, der Wassergehalt gravimetrisch bestimmt (SCHINNER et al., 1993).

### 2.4 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung des Datenmaterials erfolgte mit Hilfe des Softwarepaketes *SPSS for Windows*. Signifikante Unterschiede der NNM bei 3-, 6- und 12-wöchigen Expositionsintervallen wurden durch eine Varianzanalyse (*one way anova*) mit anschließendem *Bonferroni*-Test, Unterschiede der *buried bag*- und *resin core*-Methode mit dem *t-Test für unabhängige Stichproben* festgestellt. Mittelwertvergleiche der Wasser- und Biomasse-N-Gehalte in und außerhalb der Säulen wurden mit dem *t-Test für gepaarte Stichproben* ausgeführt. Signifikante Korrelationen wurden mit dem *Korrelationskoeffizienten nach Pearson* bestimmt. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde bei allen Tests bei  $P < 0,05$  festgelegt.

## 3. Ergebnisse und Diskussion

### 3.1 Resultate Versuch 1

#### 3.1.1 Methodenvergleich

Die Nettostickstoffmineralisation (NNM) in überdachten Brache flächen („Überdachte Brache“-Methode) zeigte keine gute Übereinstimmung mit der NNM in Stahlsäulen (*resin core*-Methode) (Tabelle 1). Der Vergleich der beiden Methoden ergab bei einer Exposition von 3 Wochen höhere NNM-Werte für die „Überdachte Brache“-Methode, während nach 6 Wochen in 2 von 3 Parzellen für die *resin core*-Methode höhere Werte gemessen wurden.

Die drei Parzellen zeigten eine sehr hohe Variabilität der NNM. Die Variabilität ist vermutlich auf die hohe räumliche Heterogenität des Bodens dieser naturnahen Dauerwiesen, die weder planiert noch angesät wurden, zurückzuführen.

In den drei überdachten Brache flächen wurde die maximale Nitratakkumulation in der 9. Expositionswoche erreicht (Abbildung 2). In der 12. Expositionswoche kam es zu einem Abfall der Nitratgehalte in 0–10 cm und 10–20 cm Tiefe. Die Abnahme könnte durch Auswaschung des Nitrats, Denitrifikation oder mikrobielle Immobilisation verursacht worden sein. Eine Nitratauswaschung sollte durch die Überdachung der Flächen vermieden werden.

Die *buried bag*-Methode lieferte höhere NNM-Werte als die *resin core*-Methode (Tabelle 2). Dieses Ergebnis wurde durch die größeren Mengen an akkumuliertem Nitrat-N in den Polyethylenbeuteln verursacht. Die NNM beider Methoden war eng korreliert ( $r = 0,921$ ;  $P = 0,000$ ;  $n = 9$ ).

Tabelle 1: Vergleich der Nettostickstoffmineralisation (NNM) in 0–20 cm Tiefe in Stahlsäulen (*resin core*-Methode) und in überdachten Brache-  
flächen bei einer Expositionsdauer von 3, 6 und 12 Wochen in der Fläche *Paflur*

Table 1: Comparison of the net nitrogen mineralization (NNM) at a depth of 0–20 cm in steel cores (*resin core* method) and covered fallow plots  
with exposure times of 3, 6 and 12 weeks in the plot *Paflur*

Brache/Exposition (Datum)	Dauer der Brache/ Exposition (Wochen)	Parzelle-Nr.	Stickstoffgehalt bei Expositionsende ( $\mu\text{g N g}^{-1}\text{ TS}$ )				Nettostickstoffmineralisation ( $\mu\text{g N g}^{-1}\text{ TS Exp.dauer}^{-1}$ )	
			Ammoniumstickstoff		Nitratstickstoff		Methode Brache	Methode <i>resin core</i>
			Methode Brache	Methode <i>resin core</i>	Methode Brache	Methode <i>resin core</i>		
28.07.–18.08.94	3	1	2,3	0,5	14,8	11,4	13,6	8,3
28.07.–18.08.94	3	2	2,5	1,0	3,1	1,5	2,9	-0,3
28.07.–18.08.94	3	3	1,9	0,6	9,4	9,9	8,3	8,0
28.07.–08.09.94	6	1	3,2	0,5	26,1	29,2	25,8	26,1
28.07.–08.09.94	6	2	2,2	0,8	4,4	6,8	3,8	4,9
28.07.–08.09.94	6	3	1,4	1,0	11,3	7,0	9,8	5,1
28.07.–20.10.94	12	1	1,7	0,5	23,2	35,1	21,4	32,1
28.07.–20.10.94	12	2	2,0	2,2	2,4	26,5	1,7	25,9
28.07.–20.10.94	12	3	1,7	1,0	20,1	28,1	18,9	26,2

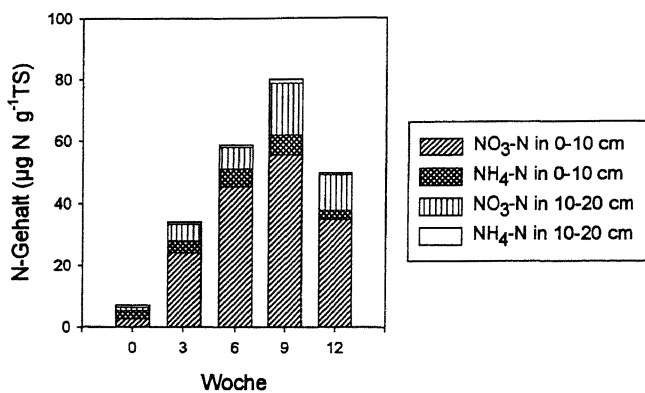


Abbildung 2: Verlauf der Ammonium- und Nitrat-N-Gehalte in überdachten Brache-  
flächen nach Entfernung der Vegetation in 0–10 cm und 10–20 cm Tiefe im Zeitraum von 12 Wochen (28. 7.–20. 10. 1994) (Mischproben aus 9 Ein-  
stichen)

Figure 2: Ammonium and nitrate N in covered fallow plots after removal of vegetation at a depth of 0–10 cm and 10–20 cm over a 12-week period (28. 7.–20. 10. 1994) (mix of 9 samples)

Die vergleichsweise höhere NNM der *buried bag*-Methode wurde vermutlich durch das Sieben bewirkt. Durch die Strukturzerstörung kommt es zu einer besseren Durchlüftung des Bodenmaterials und Erschließung neuer, bisher räumlich nicht erreichter Nährstoffquellen. GERLACH (1973) gibt die Steigerung der NNM in gesiebten Proben mit 5 bis 30 % an. Ein weiterer Grund für die gesteigerte Mineralisation in Polyethylenbeuteln könnte die Akkumulation des mineralisierten Stickstoffs sein. Bei einem großen Angebot an mineralischem Stickstoff können Substratquellen besser genutzt werden und damit zu einer Förderung der NNM führen (PAUL and CLARK, 1989). Dieser Effekt dürfte in den Stahlsäulen abgeschwächt werden, da ein Teil des mineralisierten Stickstoffs in den Ionenaustauscher verlagert wird (siehe Abschnitt 3.2.2).

Übereinstimmend mit den Ergebnissen dieser Untersuchung haben RAISON et al. (1987) eine höhere NNM in Polyethylenbeuteln als in Stahlsäulen gefunden. Allerdings wurden Säulen ohne Ionenaustauscherschicht verwendet.

Tabelle 2: Vergleich der Nettostickstoffmineralisation (NNM) in 0–20 cm Tiefe in Stahlsäulen (*resin core*-Methode) und in Polyethylenbeuteln (*buried bag*-Methode) bei einer Expositionsdauer von 3 Wochen (29. 9.–20. 10. 1994) in der Fläche *Paflur*. Unterschiedliche Buchstaben in einer Zeile geben signifikante Mittelwertsdifferenzen an ( $P = 0,05$ ;  $n = 9$ ). Variationskoeffizient =  $V(\%)$

Table 2: Comparison of net nitrogen mineralization (NNM) at a depth of 0–20 cm in steel cores (*resin core* method) and in polyethylene bags (*buried bag* method) with exposure times of 3 weeks (29. 9.–20. 10. 1994) in the plot *Paflur*. Different letters in a line indicate significant mean differences ( $P = 0.05$ ;  $n = 9$ ). Coefficient of variation =  $V(\%)$

	Stickstoffgehalt bei Expositionsende ( $\mu\text{g N g}^{-1}\text{ TS}$ )				Nettostickstoffmineralisation ( $\mu\text{g N g}^{-1}\text{ TS 3 Wochen}^{-1}$ )	
	Ammoniumstickstoff		Nitratstickstoff		Methode <i>buried bag</i>	Methode <i>resin core</i>
	Methode <i>buried bag</i>	Methode <i>resin core</i>	Methode <i>buried bag</i>	Methode <i>resin core</i>		
<i>Mw</i>	0,1	0,5	8,3	2,9	6,9	1,9
<i>V</i> (%)	41,5	86,8	55,4	70,9	70,0	118,2

Demgegenüber haben ZOU et al. (1992) in einem Tropischen Regenwald bei Verwendung von Bodenmonolithen und einer Expositionsdauer von 1 Woche keinen signifikanten Unterschied zwischen den Ergebnissen beider Methoden beobachtet. HART und FIRESTONE (1989) haben in einem Koniferenwald bei 10-monatiger Exposition doppelt so hohe Werte für die *resin core*-Methode gefunden. Zum selben Ergebnis kam auch POWERS (1990), der die beiden Methoden bei 8–10monatiger Expositionszeit verglich. SUBLER et al. (1995) konnten im Unterschied zum Ergebnis dieser Untersuchung keine Korrelation der NNM in Polyethylenbeuteln und Stahlsäulen finden. Sie verglichen in einem Ackerstandort die NNM von ungestörtem Boden in Polyethylenbeuteln und überdachten PVC-Säulen bei einer Exposition von 26 Tagen.

Bei den drei untersuchten Methoden lag der akkumulierte Stickstoff bei Expositionsende überwiegend als Nitrat-N vor (Tabelle 1 und 2). Durch das Fehlen des pflanzlichen N-Entzugs wird mineralisierter Ammonium-N akkumuliert und die Nitrifikation infolge Substratinduktion gefördert (HAYNES, 1986). Die Förderung der Nitrifikation wurde für die *buried bag*-Methode bereits mehrfach beschrieben (RAISON et al., 1987; SUBLER et al., 1995). Allerdings ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen, daß durch die Extraktion mit 0,0125 M  $\text{CaCl}_2$ -Lösung nur pflanzenverfügbares Ammonium erfaßt wird und daher die Ausbeute an Ammonium-N im Vergleich zur Extraktion mit 1 M KCl geringer ist (KUDERNA et al., 1993).

### 3.1.2 Einfluß der Expositionsdauer auf die Nettostickstoffmineralisation in Stahlsäulen

Die Meßergebnisse der 3- und 6-wöchigen Expositionen in Stahlsäulen unterschieden sich nicht signifikant und korrelieren gut miteinander ( $r = 0,902$ ;  $P = 0,001$ ;  $n = 9$ ) (Abbildung 3). Der Variationskoeffizient ( $V\%$ ) der NNM war in den vier 3-wöchigen Expositionen (91, 86, 89 und 118 %) höher als in den beiden 6-wöchigen (55 und 81 %). Die höhere Variabilität der NNM bei kurzer Expositionsdauer könnte durch die Störung bei Einsetzen der Säulen und Entfernen der Pflanzen verursacht worden sein. Als Folge der Störung kann es kurzzeitig zu einer Förderung oder Hemmung der NNM kommen (ADAMS et al., 1989).

Die NNM lag bei 12-wöchiger Expositionsdauer signifikant höher als bei 3- und 6-wöchiger Exposition (Abbildung 3). Zudem war die NNM der 12-wöchigen Exposition mit den Ergebnissen der 3- und 6-wöchigen Exposition nicht korreliert. Die deutlich höheren NNM-Werte nach einer 12-

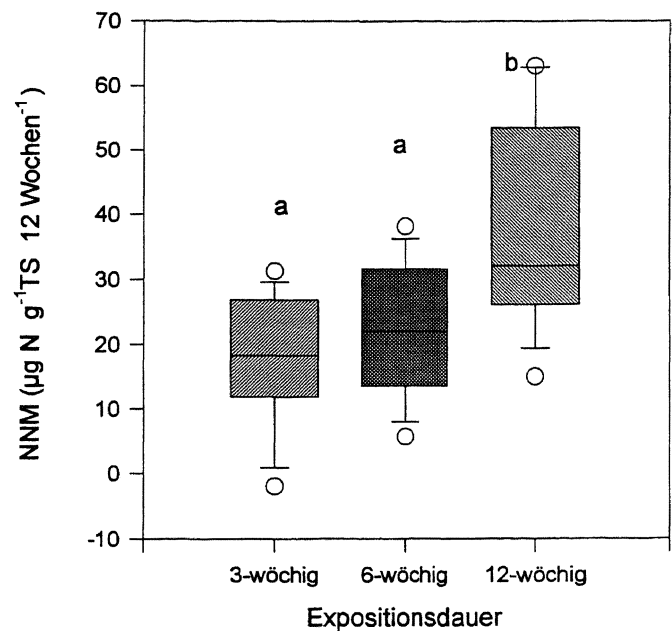


Abbildung 3: Vergleich der Nettostickstoffmineralisation (NNM) (*resin core*-Methode) in 0–20 cm Tiefe bei 3, 6, und 12-wöchiger Expositionsdauer. Unterschiedliche Buchstaben geben signifikante Mittelwertsdifferenzen an ( $Mw =$  Mittelwert,  $V(\%) =$  Variationskoeffizient,  $n = 9$ )

Figure 3: Comparison of net nitrogen mineralization (NNM) (*resin core* method) at a depth of 0–20 cm with exposure times of 3, 6 and 12 weeks. Different letters indicate significant mean differences ( $Mw =$  mean,  $V(\%) =$  coefficient of variation,  $n = 9$ )

wöchigen Exposition können durch den Abbau von totem Wurzelmaterial verursacht worden sein. GISI (1990) gibt den Streuabbau während 8 Wochen in einer Wiese mit 20 % der Cellulose und 80 % der einfachen Zucker an.

## 3.2 Resultate Versuch 2

### 3.2.1 Veränderungen der Wassergehalte und des Biomasse-N in Stahlsäulen (*resin core*-Methode)

Veränderungen der Wassergehalte und des mikrobiellen Biomasse-N während der Exposition können entscheidenden Einfluß auf die NNM ausüben. Bessere Feuchtebedingungen in den Säulen können eine gesteigerte NNM bewirken, während geringere Biomasse-N-Gehalte die Mineralisationsleistung senken können (KAISER, 1994; FRANZLUEBBERS et al., 1995). Aus diesem Grund wurden in zwei Dauerwiesen unterschiedlicher Bodenfeuchte die Wassergehalte und der mikrobielle Biomasse-N in den Stahlsäulen mit den Gehalten in ungestörtem, bewachsenem Boden verglichen.



Die in Abbildung 4 dargestellten Ergebnisse zeigen, daß der Einfluß der Exposition in Stahlsäulen auf den Wassergehalt und den mikrobiellen Biomasse-N in den beiden Standorten unterschiedlich war. Am regelmäßig bewässerten Standort *Tanas* traten durch die Exposition in Stahlsäulen keine signifikanten Veränderungen des Bodenwassergehaltes, jedoch eine signifikante Abnahme des mikrobiellen Biomasse-N auf. Demgegenüber waren die Wassergehalte in den Säulen am trockenen Standort *Obertels* signifikant erhöht, während der mikrobielle Biomasse-N mit Ausnahme vom 16. Mai keine signifikanten Veränderungen zeigte.

Diese Ergebnisse können folgendermaßen interpretiert werden: Zu Beginn der Exposition wurden die Wurzeln in

den Säulen entfernt und der Biomasse-N durch die Zerstörung der Rhizosphäre reduziert. Am Standort *Tanas* blieben die unterschiedlichen Biomasse-N-Gehalte bis zum Expositionsende erhalten, während der Biomasseverlust am Standort *Obertels* durch die höhere Bodenfeuchte in den Säulen bis zum Expositionsende kompensiert wurde.

DEBOSZ (1994) berichtet für die *resin core*-Methode von Wassergehaltsunterschieden von  $\pm 3\%$  in einem *Hordeum vulgare*-Feld. Bezüglich der Veränderung des mikrobiellen Biomasse-N liegen für die *resin core*-Methode keine Untersuchungen vor. REES (1989) fand in einem Winterweizenfeld für die *buried bag*-Methode ohne Strukturzerstörung einen Anstieg der mikrobiellen Biomasse von 148 bis 289 % innerhalb der Säulen.

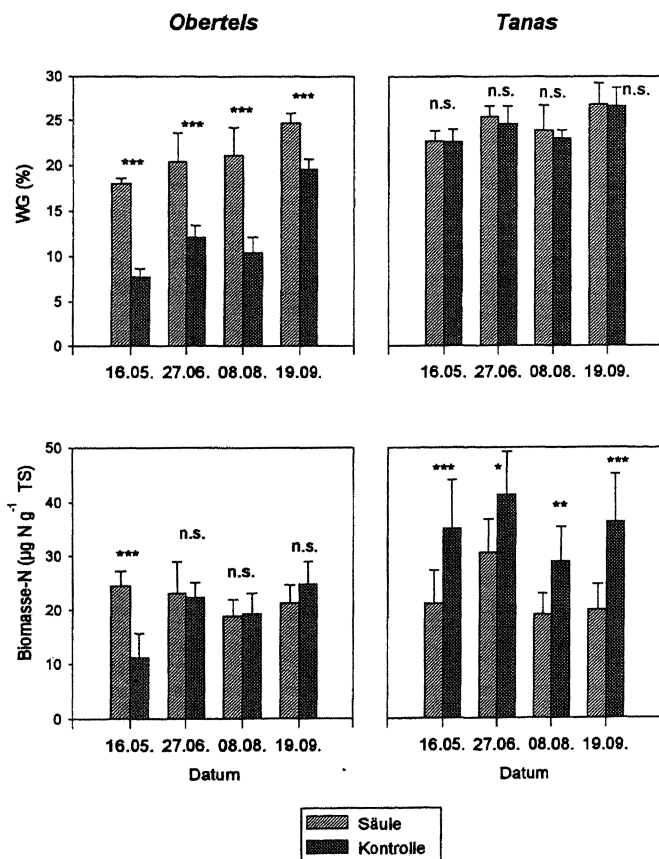


Abbildung 4: Vergleich zwischen ninhydrinreaktivem Biomasse-N und Wassergehalt in offenen Stahlsäulen (*Säule*) und ungestörtem Boden unter Grünland (*Kontrolle*) in 0–20 cm Tiefe. Halbtrockenrasen (*Obertels*), bewässerte Goldhaferwiese (*Tanas*); *resin core*-Methode, Expositionsdauer 6 Wochen; signifikante Unterschiede sind mit \* gekennzeichnet ( $P = 0,05$ ;  $n = 9$ )

Figure 4: Comparison between the ninhydrin-reactive biomass N and the water content in open steel cores (*Säule*) and undisturbed soil under grassland (*Kontrolle*) at a depth of 0–20 cm. Dry grassland (*Obertels*), irrigated grassland (*Tanas*); *resin core* method, exposure time 6 weeks; significant differences are marked with \* ( $P = 0.05$ ;  $n = 9$ )

### 3.2.2 Nitratverlagerung in die Anionenaustauscherschicht

Die Verlagerung des akkumulierten Nitratstickstoffs in die Ionenaustauscherschicht war in den untersuchten Standorten unterschiedlich groß und reichte von 4–50 % des akkumulierten Nitrats (Tabelle 3). Die Nitratverlagerung war am unbewässerten Standort *Obertels* mit Ausnahme des Zeitraums von August bis September geringer als am bewässerten Standort *Tanas*. Die geringste Nitratverlagerung von 4 % wurde in der unbewässerten Fläche *Obertels*

Tabelle 3: Nitrat-N-Akkumulation in Stahlsäulen (*resin core*-Methode) in 0–20 cm Tiefe und Verlagerung in die Ionenaustauscherschicht in einem Halbtrockenrasen (*Obertels*) und einer bewässerten Goldhaferwiese (*Tanas*) bei Expositionsdauern von 6 Wochen. Mittelwerte (*Mw*), Standardabweichung (*s*),  $n = 9$

Table 3: Accumulation of nitrate N in steel cores (*resin core* method) at a depth of 0–20 cm and translocation into the anion exchange resin layer in dry grassland (*Obertels*) and an irrigated grassland (*Tanas*) with exposure times of 6 weeks. Means (*Mw*), standard deviation (*s*),  $n = 9$

Exposition	Akkumulierter Nitratstickstoff ( $\mu\text{N g}^{-1}$ TS 6 Wochen <sup>-1</sup> )				
	in 0–20 cm Tiefe		im Ionenaustauscher		Verlagerung %
	<i>Mw</i>	<i>s</i>	<i>Mw</i>	<i>s</i>	
<i>Obertels</i>					
04.04.–16.05	14,98	4,2	0,58	0,8	4
16.05.–27.06	15,48	4,6	6,55	2,6	30
27.06.–08.08	26,23	6,9	3,34	3,0	11
08.08.–19.09	7,82	3,8	7,74	3,5	50
<i>Tanas</i>					
04.04.–16.05	23,16	10,7	4,76	2,3	17
16.05.–27.06	23,93	10,9	12,64	8,0	35
27.06.–08.08	14,57	7,5	13,65	7,6	48
08.08.–19.09	37,77	14,0	4,64	4,3	11



während einer außergewöhnlich niederschlagsarmen Periode von April bis Mai gemessen (ZELLER et al., 1997). Die N-Verlagerung zeigte außerdem im jahreszeitlichen Verlauf innerhalb eines Standortes deutliche Schwankungen, die für jeden Standort unterschiedlich groß waren.

Die geringere Nitratverlagerung am trockenen Standort kann dadurch erklärt werden, daß Nitrat-N im Boden in ionischer Form in der Bodenlösung vorliegt und nur oberhalb der Feldkapazität in den Ionenaustauscher verlagert wird (BINKLEY, 1984). Neben der Menge an perkolierendem Bodenwasser wird die Nitratverlagerung auch durch die Fließgeschwindigkeit der Bodenlösung durch das Bodenprofil beeinflusst. WYLAND und JACKSON (1993) fanden, daß die Applikation von kleinen Wassermengen eine bessere Bindung an den Ionenaustauscher bewirkt, da die Retentionszeit des Wassers größer ist und die Adsorption des Nitrats an den Ionenaustauscher dadurch verbessert wird. Die Applikation von großen Wassermengen in kurzer Zeit bewirkt einen schnellen Durchfluß des Wassers und eine schnelle Verlagerung des Nitrats in untere Schichten. Dieser Effekt kommt bei Starkregen oder Bewässerung von mehr als 2,6 cm pro Stunde zum Tragen (WYLAND und JACKSON, 1993). Nitratverluste während der Exposition von Anionenaustauschern sind sehr gering, da das adsorbierte Nitrat nicht mikrobiell verfügbar ist (SCHNABEL, 1983; BINKLEY, 1984).

#### 4. Schlußfolgerung

Die *buried bag*-Methode führt aufgrund der Strukturzerstörung durch Sieben zu einer Förderung der Nettostickstoffmineralisation (NNM). Die „Überdachte Brache“-Methode erbringt durch Auswaschung, Denitrifikation oder mikrobielle Immobilisation des akkumulierten Nitrats unzuverlässige Ergebnisse. Die *resin core*-Methode scheint realistische NNM-Werte zu geben, da hohe Nitratakkumulationen durch Verlagerung in die Anionenaustauscherschicht vermieden werden. Die am Standort *Paflur* gemessene NNM ( $139 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) stimmt im Zeitraum von April bis September mit den Stickstoffentzügen oberirdischer Pflanzenteile ( $127 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) gut überein (ZELLER et al., 1997). In sehr trockenen Standorten können erhöhte Wassergehalte in den Säulen zu einer Förderung der NNM führen. Bei der Interpretation der NNM ist die zum Teil auftretende Abnahme des Biomasse-N in den Säulen zu berücksichtigen. Für weitere Freilandmessungen der NNM wird die Anwendung der *resin core*-Methode mit Expositionszeiten von 6 Wochen empfohlen. Neben der NNM sollten die Wasser- und mikro-

biellen Biomasse-Gehalte fallweise bestimmt werden, um grobe Abweichungen vom ungestörten Boden festzustellen.

#### Danksagung

Wir danken allen Mitarbeitern des Biologischen Labors (Landesagentur für Umwelt- und Arbeitsschutz der Provinz Bozen), besonders DDr. F. Micholini für die Bereitstellung der Einrichtungen und Herrn G. Mich für die Probenahme, den Eigentümern der Flächen für ihre Kooperationsbereitschaft, Dr. M. Thalheimer für die Bestimmung des Bodentyps, Herrn Hofrat Univ.-Doz. Dr. O. Danneberg für die Durchsicht des Manuskriptes und Frau Reichert für die Gestaltung der Abbildung 1. Die Arbeit wurde vom Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung in Wien finanziell unterstützt.

#### Literatur

- ADAMS, M. A., P. J. POLGLASE, P. M. ATTAWILL and C. J. WESTON (1989): In situ studies of nitrogen mineralization and uptake in forest soils; some comments on methodology. *Soil Biology and Biochemistry* 21, 423–429.
- BILLÈS, G., P. BOTTNER and N. GANDAIS-RIOLLET (1988): Effet des racines de graminées sur la minéralisation nette de l'azote du sol. *Revue Écol. Biol. Sol* 25, 261–277.
- BINKLEY, D. (1984): Ion exchange resin bags: Factors affecting estimates of nitrogen availability. *Soil Science Society of America Journal* 48, 1181–1184.
- CABRERA, M. L. (1993): Modelling the flush of nitrogen mineralization caused by drying and rewetting soils. *Soil Science Society of America Journal* 57, 63–66.
- CASSMAN, K. G. and D. N. MUNNS (1980): Nitrogen mineralization affected by soil moisture, temperature, and depth. *Soil Science Society of America Journal* 44, 1233–1237.
- CORTEZ, J. (1989): Effect of drying and rewetting on mineralization and distribution of bacterial constituents in soil fractions. *Biology and Fertility of Soils* 7, 142–151.
- DEBROSZ, K. K. (1994): Evaluation of soil nitrogen mineralization in two spring barley fields. *Acta Agriculturae Scandinavica (Section B: Soil and Plant Science)* 44, 142–148.
- ENO, CH. F. (1960): Nitrate production in the field by incubating the soil in polyethylene bags. *Soil Science Society of America Proceedings* 24, 277–299.
- FRANZLUEBBERS, K., R. WEAVER, A. S. R. JOU and A. J. FRANZLUEBBERS (1995): Mineralization of carbon and

- nitrogen from cowpea leaves decomposing in soils with different levels of microbial biomass. *Biology and Fertility of Soils* 19, 100–102.
- GERLACH, A. (1973): Methodische Untersuchungen zur Bestimmung der Stickstoffmineralisation. Lehrstuhl für Geobotanik der Universität Göttingen: *Scripta Geobotanica*, Band 5, Erich Goltze Verlag, Göttingen.
- GISI, U. (1990): *Bodenökologie*. Thieme Verlag, Stuttgart.
- GRIFFITHS, B. and D. ROBINSON (1992): Root-induced nitrogen mineralisation: A nitrogen balance model. *Plant and Soil* 139, 253–263.
- HART, S. C. and M. K. FIRESTONE (1989): Evaluation of three in situ soil nitrogen availability assays. *Canadian Journal of Forest Research* 19, 185–191.
- HAYNES, R. J. (1986): *Mineral nitrogen in the plant-soil system*. Academic Press, London.
- HELAL, M. H. and D. SAUERBECK (1989): Carbon turnover in the rhizosphere. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 152, 211–216.
- HÜBNER, C., G. REDL G. and F. WURST (1991): In situ methodology for studying N-mineralization in soils using anion exchange resins. *Soil Biology and Biochemistry* 23, 701–702.
- KAISER, E.-A. (1994): Significance of microbial biomass for carbon and nitrogen mineralization in soil. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 157, 271–278.
- KUDERNA, M., E. PÖTSCH und W. E. H. BLUM (1993): Zur Wahl des Extraktionsmittels bei der  $N_{\min}$ -Bestimmung. *Die Bodenkultur* 44, 7–14.
- LINDEN, B., I. LYGSTAD, J. SIPPOLA, K. SOEGAARD and V. KJELLERUP (1992): Nitrogen mineralization during the growing season. *Swedish Journal of Agricultural Research* 22, 3–12.
- PAUL, E. A. and F. E. CLARK (1989): *Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press, London.
- POWERS, R. (1990): Mineralisation along an altitudinal gradient: Interactions of soil, temperature, moisture and substrate quality. *Forest Ecology and Management* 30, 19–29.
- RAISON, R. J., M. J. CONNELL and P. K. KHANNA (1987): Methodology for studying fluxes of soil mineral nitrogen in situ. *Soil Biology and Biochemistry* 19, 521–530.
- REES, R. M. (1989): Measurement of nitrogen mineralization in soil. In: J. A. HANSEN and K. HENRIKSEN (eds.): *Nitrogen in organic wastes applied to soils*. Academic Press, London, pp. 11–24.
- RUNGE, M. (1970): Untersuchungen zur Bestimmung der Mineralstickstoff-Nachlieferung am Standort. *Flora*, Abt. B 159, 233–257.
- RUNGE, M. (1983): Physiology and ecology of nitrogen nutrition. In: LANGE, NOBEL, OSMOND und ZIEGLER (eds.): *Encyclopedia of Plant Physiology*, Band 12 C. Springer Verlag, Berlin, pp.163–200.
- RYDEN, J. C. (1984): The flow of nitrogen in grassland. *Proceedings No. 229*. London: The Fertilizer Society. Zit. in: D. J. HATCH, S. C. JARVIS and L. PHILIPPS (1990): Field measurements of nitrogen mineralization using soil core incubation and acetylene inhibition of nitrification. *Plant and Soil* 124, 97–107.
- SCHINNER, F., R. ÖHLINGER, E. KANDELER und R. MARGESIN (1993): *Bodenbiologische Arbeitsmethoden*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- SCHNABEL, R. R. (1983): Measuring nitrogen leaching with ion exchange resin: A laboratory assessment. *Soil Science Society of America Journal*, 47 1041–1042.
- SMITH, J. L. (1994): Cycling of nitrogen through microbial activity. In: J. L. HATFIELD and B. A. STEWART (eds.): *Soil biology: Effects on soil quality*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 91–120.
- SUBLER, S., R. W. PARMELEE and M. F. ALLEN (1995): Comparison of buried bag and PVC core methods for in situ measurement of nitrogen mineralization rates in an agricultural soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 26, 2369–2381.
- WYLAND, L. J. and L. E. JACKSON (1993): Evaluating nitrate recovery by ion-exchange resin bags. *Soil Science Society of America Journal* 57, 1208–1211.
- ZOU, X., D. W. VALENTINE, R. L. SANFORD and D. BINKLEY (1992): Resin-core and buried-bag estimates of nitrogen transformations in Costa Rican lowland rainforests. *Plant and Soil* 139, 275–283.
- ZELLER, V., E. KANDELER und V. MAIR (1997): N-Dynamik in montanen Dauerwiesen mit unterschiedlicher Bewirtschaftungsintensität. *Die Bodenkultur* (im Druck).

### **Anschrift der Verfasser**

Mag. Valentina Zeller und Univ.-Doz. Dr. Ellen Kandeler (corresponding author), Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft, Spargelfeldstr. 191, A-1226 Wien.  
Dr. Verena Trockner, Biologisches Labor der Landesagentur für Umwelt- und Arbeitsschutz, Unterbergstr. 2, I-39055 Leifers.

Eingelangt am 23. Mai 1997

Angenommen am 11. Juli 1997