

(Aus dem Institut für Bodenforschung und Baugeologie der Universität für Bodenkultur,
Wien. Vorstand: o. Univ.-Prof. Dr. W. E. H. Blum)

Zur Wahl des Extraktionsmittels bei der N_{\min} -Bestimmung

Von M. KUDERNA, E. PÖTSCH und W. E. H. BLUM

(Mit 2 Abbildungen)

Zusammenfassung

An Proben von Acker- und Grünlandböden wurden N_{\min} -Bestimmungen durchgeführt, wobei die Auswirkungen der Extraktionsmittel 0,5 M K_2SO_4 , 1,0 M KCl und 0,0125 M $CaCl_2$ verglichen wurden. Bezüglich des extrahierbaren NO_3^- konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Mit 1,0 M KCl bzw. 0,5 M K_2SO_4 wurde jedoch stets signifikant mehr NH_4^+ extrahiert als mit 0,0125 M $CaCl_2$. Das Verhältnis zwischen den jeweils extrahierbaren NH_4^+ -Mengen war jedoch nicht konstant und konnte bei den Grünlandproben auf den Einfluß des Humusgehaltes zurückgeführt werden. Bei niedrigen Humusgehalten konnte mit 1,0 M KCl bis zu dreimal soviel NH_4^+ extrahiert werden als mit 0,0125 M $CaCl_2$.

Schlüsselworte: N_{\min} , KCl, K_2SO_4 , $CaCl_2$, Humusgehalt.

Effect of extractants on the results of N_{\min} determination

Summary

1.0 M KCl, 0.5 M K_2SO_4 and 0.0125 M $CaCl_2$ were compared as extractants for N_{\min} (NH_4^+ and NO_3^-) using soil samples from arable land and grassland. No significant differences could be found for NO_3^- -extraction, whereas significantly higher amounts of NH_4^+ were extracted with 1.0 M KCl and 0.5 M K_2SO_4 in comparison with 0.0125 M $CaCl_2$. The relation between the amounts of extractable NH_4^+ was not constant. In the grassland samples a significant influence of the organic matter content was observed. With low organic matter contents, up to three times more NH_4^+ was extracted with 1.0 M KCl in comparison with 0.0125 M $CaCl_2$.

Key-words: N_{\min} , KCl, K_2SO_4 , $CaCl_2$, soil organic matter.

1. Einleitung

Zur Extraktion von mineralischem Stickstoff im Boden („ N_{\min} “ = Summe von Nitratstickstoff und Ammoniumstickstoff) wurden von verschiedenen Autoren unterschiedliche Extraktionsmittel eingesetzt, wobei zum Teil Auswirkungen auf die extrahierbare N_{\min} -Menge beobachtet wurden. JANSSEN (1989) konnte mit

einer 0,02 M CaCl_2 -Lösung nur 34 % jener NH_4^+ -Menge extrahieren, die mit einer 2 M KCl-Lösung extrahierbar waren. SCHMIDT und TIMMERMANN (1989) extrahierten ebenfalls mit einer 0,01 M CaCl_2 -Lösung signifikant geringere NH_4^+ -Mengen als mit einer 1%igen Alaunlösung ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \times 12 \text{H}_2\text{O}$). Der Unterschied wurde auf das im Alaun enthaltene Kalium zurückgeführt. BECKER (1987) konnte zugesetztes NH_4^+ nur mit mindestens 0,8 M K^+ als Austauschpartner quantitativ wiederfinden, bei 0,01 M CaCl_2 betrug die Wiederfindungsrate 35 %. BREMNER schlug schon 1965 eine 1,0 M- oder 2,0 M KCl-Lösung zur Extraktion von NH_4^+ vor.

Bei der Bestimmung von NO_3^- konnten SCHMIDT und TIMMERMANN (1989) und SCHRÖER und TIMMERMANN (1989) keine signifikanten Unterschiede zwischen einer Extraktion mit 0,01 M CaCl_2 -Lösung und 1%iger Alaunlösung feststellen. BECKER (1987) detektierte nach Extraktion mit 2 M KCl bis zu 20 %, in Einzelfällen sogar bis zu 50 % weniger NO_3^- im Vergleich mit einer Extraktion mit 0,01 M CaCl_2 . JANSSEN (1989) fand ähnliche Ergebnisse, konnte jedoch nachweisen, daß der Unterschied nicht auf die Extraktionsstärke der Austauschlösungen, sondern auf das verwendete Bestimmungsverfahren (Reduktion des NO_3^- im $\text{Mg}(\text{OH})_2$ -alkalischen Milieu und anschließende Wasserdampfdestillation, BREMNER 1965) zurückzuführen war.

SCHARPF und WEHRMANN (1975) und WEHRMANN und SCHARPF (1979) schlugen in der von ihnen publizierten N_{\min} -Methode 1,0 M NaCl + 0,1 M CaCl_2 zur Extraktion vor. Laut den Methodenvorschriften der VDLUFA (THUN et al. 1991) ist eine 0,0125 M CaCl_2 -Lösung oder eine 1%ige K_2SO_4 - oder $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \times 12 \text{H}_2\text{O}$ -Lösung zu verwenden. Der derzeitige Entwurf der entsprechenden Önorm (1989) sieht ebenfalls die Verwendung von 0,0125 M CaCl_2 vor.

In der vorliegenden Studie wurden 0,0125 M CaCl_2 , 0,5 M K_2SO_4 sowie 1,0 M KCl hinsichtlich ihrer Eignung zur Extraktion von NO_3^- und NH_4^+ verglichen. Da überprüft werden sollte, ob sich die ausgewählten Extraktionsmittel bei organischen und anorganischen Austauschplätzen unterschiedlich auswirken, wurden Bodenproben von Grünland (mit hohem Humusgehalt) und von Ackerland (mit niedrigem Humusgehalt) genommen. Aus demselben Grund wurden die untersuchten Böden in verschiedenen Tiefenstufen beprobt.

2. Material und Methoden

2.1 Verwendete Bodenproben

Die Untersuchungen wurden mittels monatlicher N_{\min} -Messungen an Ackerböden des Leibnitzer Feldes und an Proben aus einer Grünlandversuchsanlage in Gumpenstein in der Steiermark durchgeführt.

Proben aus dem Leibnitzer Feld (Ackerstandort)

Im Leibnitzer Feld wurden Lockersedimentbraunerden, die in zwei Fällen eine Pseudovergleyung aufweisen, auf fünf Flächen der Niederterrasse der Mur in den Tiefenstufen 0 bis 30, 30 bis 60 und 60 bis 90 cm beprobt. Die Bodenart war Lehm oder schluffiger Lehm. Die pH-Werte (H_2O) lagen zwischen 6,0 und 6,4. Die Austauschkapazität sowie der Gehalt an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff waren auf allen fünf Flächen relativ ähnlich (Tab. 1).

K_2SO_4 wurde mit CaCl_2 an den 15 Proben vom Monat Jänner 1991 verglichen. Aufgrund methodischer Probleme (Bildung von Gipsniederschlägen im Filtrat) wurde bei den 87 Proben von den Monaten März bis September 1991 KCl mit CaCl_2 verglichen. Im Monat Juni wurden keine Proben genommen, bei einem Feld war an drei Terminen die Probenmenge der Tiefenstufe 60 bis 90 cm aufgrund eines hohen Skelettanteils zu gering.

Tabelle 1

Organischer Kohlenstoff (C_{org}), Gesamtstickstoff (N_{tot}) und Kationenaustauschkapazität (Kak) der fünf Lockersedimentbraunerden im Leibnitzer Feld (Minimal- und Maximalwerte)

Entnahmetiefe cm	C_{org} %	N_{tot} %	Kak mval/kg
0–30	1,9–2,1	0,17–0,20	74–101
30–60	1,3–1,5	0,11–0,14	68– 96
60–90	0,8–0,9	0,07–0,09	73– 84

Proben aus Gumpenstein (Grünlandstandort)

25 Proben aus Gumpenstein stammten aus einem mehrjährigen Feldversuch aus den Tiefenstufen 0 bis 10, 10 bis 20, 20 bis 30, 30 bis 40 und 40 bis 50 cm. Vier Varianten unterschieden sich durch die ausgebrachte Menge an Rindergülle, die 0, 96, 240 und 480 kg N/ha/Jahr entsprachen, die fünfte Variante erhielt 240 kg N/ha/Jahr als Mineraldünger. Die jährliche Düngermenge wurde in drei Teilgaben ausgebracht, die letzte Düngung vor der Probenahme lag fünf Wochen zurück.

Der Boden ist eine Pararendzina aus feinem und grobem Schwemmaterial (Karbonkalk und Karbonschiefer). Die Bodenart schwankt zwischen lehmigem Schluff (0 bis 10 cm) und sandigem Lehm (40 bis 50 cm). Die Gehalte an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff zeigen in den Tiefenstufen bis 20 cm eine deutliche Abhängigkeit von der jeweiligen Düngungsform, mit den niedrigsten Werten für die Varianten 0 und Mineraldünger und den höchsten für 480 kg N durch Gülle (Tab. 2). Die Austauschkapazität wird stark von den organischen Kohlenstoffgehalten bestimmt.

Tabelle 2

Organischer Kohlenstoff (C_{org}), Gesamtstickstoff (N_{tot}) und Kationenaustauschkapazität (Kak) der Pararendzina in Gumpenstein (Minimal- und Maximalwerte)

Entnahmetiefe cm	C_{org} %	N_{tot} %	Kak mval/kg
0–10	2,7–4,2	0,37–0,46	184–232
10–20	1,7–2,1	0,26–0,32	162–194
20–30	1,1–1,3	0,20–0,25	134–156
30–40	0,8–1,0	0,15–0,16	96–122
40–50	0,6–0,8	0,11–0,12	85– 91

Minimalwerte: keine N-Düngung Maximalwerte: Gülle (480 kg N/ha)

2.2 Bestimmung von N_{min}

Nach einer Extraktion im Verhältnis 1:4 wurde NO_3^- photometrisch bei 210 nm bestimmt, wobei ein Bodenblindwert (nach Reduktion des Nitrates) in Abzug gebracht wurde. NH_4^+ wurde mit der Indophenolblaumethode bestimmt. Mit Ausnahme der Variierung der Extraktionsmittel entsprachen die Verfahren der Önorm L1091.

2.3 Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem EDV Programm SPSS. Für Mittelwertvergleiche wurden Bonferroni-Holm-Tests mit einem EDV-Programm der Abteilung für angewandte Statistik durchgeführt. Als Signifikanzschranke wurde $\alpha=0,01$ vorgegeben.

Für den Vergleich der extrahierbaren NH_4^+ - bzw. NO_3^- -Mengen wurden t-Tests nach der Differenzmethode durchgeführt (paired t-Test).

Bei den Proben des Leibnitzer Feldes wurden für die Varianzanalyse von $\text{NH}_4^+(\text{CaCl}_2)/\text{NH}_4^+(\text{KCl})$ jene 82 Proben mit einem $\text{NH}_4^+(\text{KCl})$ -Gehalt von über 0,3 mg/l ausgewählt, da bei geringeren Gehalten das Verhältnis nicht mehr hinreichend genau bestimmbar war. Getestet wurde der Einfluß der Monate, Felder, Entnahmetiefe und der Zweifachwechselwirkungen, als Fehlergröße wurde die Dreifachwechselwirkung verwendet.

Bei den Proben aus Gumpenstein wurde bei der Varianzanalyse von $\text{NH}_4^+(\text{CaCl}_2)/\text{NH}_4^+(\text{KCl})$ der Einfluß der Varianten und der Entnahmetiefe getestet, als Fehler wurden die Wechselwirkung von Variante und Entnahmetiefe verwendet. Da der $\text{NH}_4^+(\text{KCl})$ -Gehalt durchwegs höher als 0,3 mg/l war, schieden keine Proben aus.

3. Ergebnisse

3.1 Probenserie Leibnitzer Feld

Sowohl mit 0,5 M K_2SO_4 als auch mit 1,0 M KCl konnten signifikant höhere Mengen NH_4^+ extrahiert werden als mit 0,0125 M CaCl_2 . Dabei waren die Ergebnisse mit K_2SO_4 mit jenen der KCl vergleichbar. Da K_2SO_4 jedoch selbst bei den bei diesen Proben nur geringen austauschbaren Ca^{++} -Mengen im Extrakt einen $\text{Ca}_2\text{SO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ -Niederschlag bildete und somit eine zweite Filtration erforderlich machte, wurde es nur bei den ersten 15 Proben verwendet und die Untersuchungen der restlichen 87 Proben mit KCl fortgesetzt. Daher, und wegen der ähnlichen Extraktionseigenschaften von KCl und K_2SO_4 , wird im folgenden nur auf den Vergleich von KCl und CaCl_2 näher eingegangen.

Die extrahierte NH_4^+ -Menge betrug bei Extraktion mit 0,0125 M CaCl_2 im Durchschnitt 31 % der mit 1,0 M KCl extrahierbaren Menge (Abb. 1). Die Korrelation zwischen den NH_4^+ -Werten der beiden Extraktionsmittel betrug 0,82.

Aufgrund dieses relativ niedrigen Korrelationskoeffizienten wurde die Streuung von $\text{NH}_4^+(\text{CaCl}_2)/\text{NH}_4^+(\text{KCl})$ varianzanalytisch untersucht. Dabei war der Einfluß des Beprobungstermines signifikant (Tab. 3 und 4), ein Zusammenhang mit dem Gehalt an extrahierbarem NH_4^+ konnte jedoch, unabhängig vom Extraktionsmit-

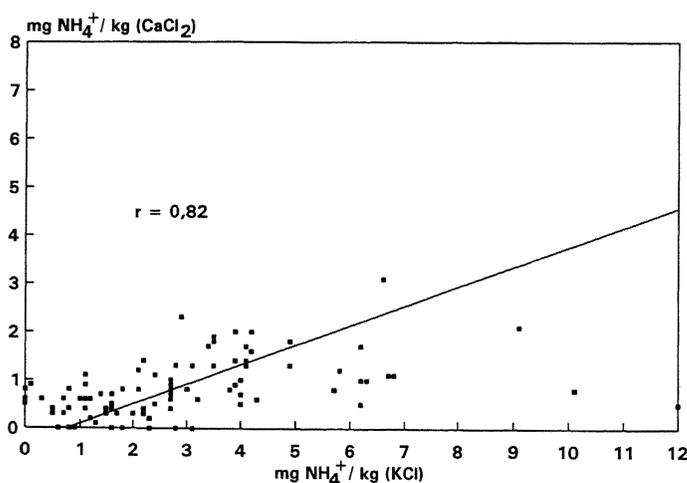


Abb. 1: Extraktion von NH_4^+ mit 1,0 M KCl und 0,0125 M CaCl_2 , Leibnitzer Feld
[Wertepaar $\text{NH}_4^+(\text{KCl}) = 28,2 \text{ mg/kg}$; $\text{NH}_4^+(\text{CaCl}_2) = 16,1 \text{ mg/kg}$ nicht abgebildet]

tel, nicht hergestellt werden [$r = -0,10$ für die Korrelation von $\text{NH}_4^+(\text{CaCl}_2)/\text{NH}_4^+(\text{KCl})$ mit $\text{NH}_4^+(\text{KCl})$]. Tendenziell war außerdem eine Auswirkung der Entnahmetiefe erkennbar, die beprobten Felder sowie die Wechselwirkungen hatten keinen Einfluß.

Tabelle 3

Ergebnis der Varianzanalyse von $\text{NH}_4^+(\text{CaCl}_2)/\text{NH}_4^+(\text{KCl})$ der Proben vom Leibnitzer Feld

	FG	DQ
Monat	5	0,23*
Feld	4	0,03
Entnahmetiefe	2	0,14
WW Monat mit Feld	20	0,03
WW Monat mit Entnahmetiefe	10	0,05
WW Feld mit Entnahmetiefe	8	0,05
Fehler	32	0,04

Tabelle 4

Mittelwerte der Beprobungstermine von $\text{NH}_4^+(\text{CaCl}_2)/\text{NH}_4^+(\text{KCl})$ Leibnitzer Feld. Unterschiede zwischen Mittelwerten mit gleichen Indizes sind nicht signifikant

Monat	n	$\text{NH}_4^+(\text{CaCl}_2)/\text{NH}_4^+(\text{KCl})$
März	15	0,24 a
April	15	0,24 a
Mai	13	0,19 a
Juli	11	0,59 b
August	14	0,39 a b
September	14	0,35 a b

Bei NO_3^- waren die Unterschiede von K_2SO_4 und KCl zu CaCl_2 nicht signifikant, mit CaCl_2 wurde geringfügig weniger extrahiert.

3.2 Probenserie Gumpenstein

Auch bei dieser Probenserie konnte mit KCl signifikant mehr NH_4^+ extrahiert werden als mit CaCl_2 . Die mittlere mit CaCl_2 extrahierte NH_4^+ -Menge betrug hier im Durchschnitt 57 % der KCl -Werte. Das Verhältnis von $\text{NH}_4^+(\text{CaCl}_2)/\text{NH}_4^+(\text{KCl})$ war ebenso wie bei den Proben aus dem Leibnitzer Feld nicht konstant. Hier wurde eine signifikante Auswirkung der Entnahmetiefe sowie tendenziell auch eine der Düngervarianten festgestellt (Tab. 5 und 6), die auf den Einfluß des Humusgehaltes zurückgeführt wurden. Der Korrelationskoeffizient zwischen den C_{org} -Werten (Tab. 2) und dem Verhältnis von CaCl_2 - und KCl -extrahierbarem NH_4^+ betrug 0,88. Bei hohen C_{org} -Gehalten war der Unterschied zwischen den Extraktionsmitteln geringer als bei niedrigen (Abb. 2), bei letzteren entsprach das Verhältnis zwischen den jeweils extrahierbaren NH_4^+ -Mengen dem durchschnittlichen Wert der Proben aus dem Leibnitzer Feld (1 : 3).

Tabelle 5

Ergebnis der Varianzanalyse von $\text{NH}_4^+(\text{CaCl}_2)/\text{NH}_4^+(\text{KCl})$ der Proben aus Gumpenstein

	FG	DQ
Variante	4	0,008
Entnahmetiefe	4	0,173*
Fehler	16	0,002

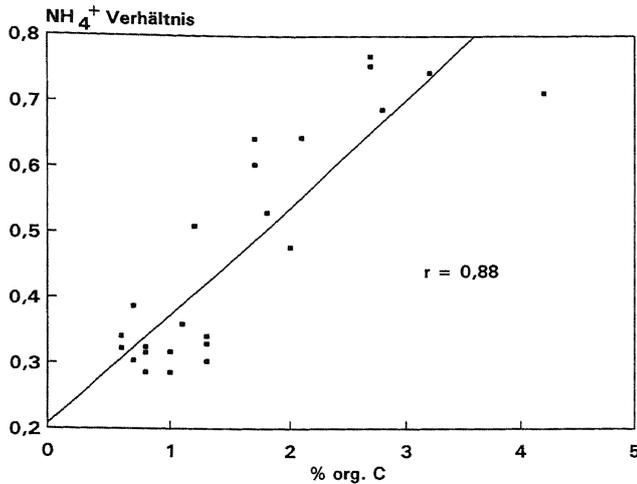


Abb. 2: Einfluß des C_{org} -Gehaltes auf das Verhältnis von $CaCl_2$ - zu KCl -extrahierbarem NH_4^+

Tabelle 6

Mittelwerte der Entnahmetiefen von $NH_4^+_{(CaCl_2)}/NH_4^+_{(KCl)}$ (Gumpenstein). Unterschiede zwischen Mittelwerten mit gleichen Indizes sind nicht signifikant

Entnahmetiefe cm	n	$Na_4^+_{(KCl)}$ mg/kg	$NH_4^+_{(CaCl_2)}/NH_4^+_{(KCl)}$
0–10	5	15,7	0,73 a
10–120	5	7,5	0,58 b
20–30	5	4,8	0,37 c
30–40	5	2,7	0,31 c
40–50	5	2,6	0,33 c

Im Gegensatz zu den Proben aus dem Leibnitzer Feld bestand eine relativ hohe Korrelation zwischen $NH_4^+_{(CaCl_2)}/NH_4^+_{(KCl)}$ und KCl -extrahierbarem NH_4^+ ($r=0,84$), da extrahierbares NH_4^+ jedoch seinerseits mit dem C_{org} -Gehalt korrelierte ($r=0,95$), konnte ein Einfluß des NH_4^+ -Gehaltes hier nicht vom Einfluß des C_{org} -Gehaltes unterschieden werden.

4. Diskussion

Der größere Unterschied der Extraktionsmittel bei einem höheren Anteil an anorganischen Austauschplätzen kann mit dem sehr ähnlichen Ionenradius von NH_4^+ (1,43 Å) und K^+ (1,33 Å) erklärt werden, der in beiden Fällen eine spezifische Bindung an Tonminerale erlaubt und eine höhere Austauschstärke von K^+ als von Ca^{++} ergibt. Daß dieser Effekt bei den Proben des Leibnitzer Feldes nicht deutlich erkennbar war, dürfte auf die zu geringen Unterschiede der C_{org} -Gehalte zurückzuführen sein.

Der Einfluß der Beprobungstermine bei den Proben des Leibnitzer Feldes auf das Ammoniumverhältnis konnte nicht interpretiert werden. Der Umstand, daß kein Zusammenhang zum Gehalt an austauschbarem NH_4^+ bestand, ist jedoch ein weiterer Hinweis dafür, daß die Unterschiede in Gumpenstein tatsächlich auf den Humusgehalt und nicht auf den Gehalt an austauschbarem NH_4^+ zurückzuführen sind.

Obwohl mit 0,0125 M $CaCl_2$ -Lösung (oder ähnlich stark verdünnten $CaCl_2$ -Lösungen, JANSSEN 1989) nur ein Teil des austauschbaren NH_4^+ erfaßt wird,

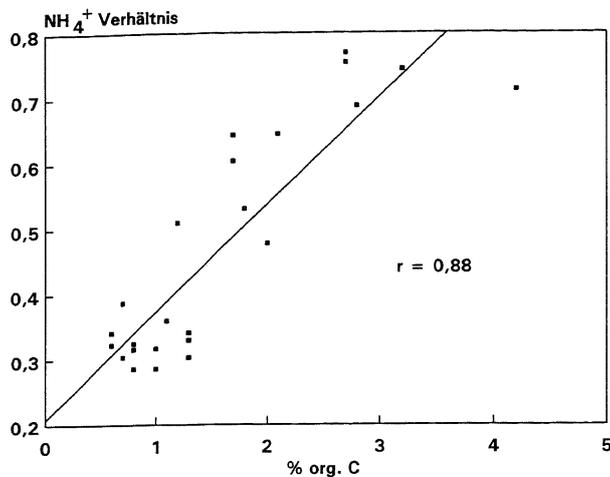


Abb. 2: Einfluß des C_{org} -Gehaltes auf das Verhältnis von $CaCl_2$ - zu KCl -extrahierbarem NH_4^+

Tabelle 6

Mittelwerte der Entnahmetiefen von $NH_4^+_{(CaCl_2)}/NH_4^+_{(KCl)}$ (Gumpenstein). Unterschiede zwischen Mittelwerten mit gleichen Indizes sind nicht signifikant

Entnahmetiefe cm	n	$Na_4^+_{(KCl)}$ mg/kg	$NH_4^+_{(CaCl_2)}/NH_4^+_{(KCl)}$
0—10	5	15,7	0,73 a
10—120	5	7,5	0,58 b
20—30	5	4,8	0,37 c
30—40	5	2,7	0,31 c
40—50	5	2,6	0,33 c

Im Gegensatz zu den Proben aus dem Leibnitzer Feld bestand eine relativ hohe Korrelation zwischen $NH_4^+_{(CaCl_2)}/NH_4^+_{(KCl)}$ und KCl -extrahierbarem NH_4^+ ($r=0,84$), da extrahierbares NH_4^+ jedoch seinerseits mit dem C_{org} -Gehalt korrelierte ($r=0,95$), konnte ein Einfluß des NH_4^+ -Gehaltes hier nicht vom Einfluß des C_{org} -Gehaltes unterschieden werden.

4. Diskussion

Der größere Unterschied der Extraktionsmittel bei einem höheren Anteil an anorganischen Austauschplätzen kann mit dem sehr ähnlichen Ionenradius von NH_4^+ (1,43 Å) und K^+ (1,33 Å) erklärt werden, der in beiden Fällen eine spezifische Bindung an Tonminerale erlaubt und eine höhere Austauschstärke von K^+ als von Ca^{++} ergibt. Daß dieser Effekt bei den Proben des Leibnitzer Feldes nicht deutlich erkennbar war, dürfte auf die zu geringen Unterschiede der C_{org} -Gehalte zurückzuführen sein.

Der Einfluß der Beprobungstermine bei den Proben des Leibnitzer Feldes auf das Ammoniumverhältnis konnte nicht interpretiert werden. Der Umstand, daß kein Zusammenhang zum Gehalt an austauschbarem NH_4^+ bestand, ist jedoch ein weiterer Hinweis dafür, daß die Unterschiede in Gumpenstein tatsächlich auf den Humusgehalt und nicht auf den Gehalt an austauschbarem NH_4^+ zurückzuführen sind.

Obwohl mit 0,0125 M $CaCl_2$ -Lösung (oder ähnlich stark verdünnten $CaCl_2$ -Lösungen, JANSSEN 1989) nur ein Teil des austauschbaren NH_4^+ erfaßt wird,

wurde dieses Extraktionsmittel mit Erfolg zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Bodenstickstoffs, N_{\min} , eingesetzt (WEHRMANN und SCHARPF 1979, 1986). Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, daß der NH_4^+ -Anteil des N_{\min} bei Ackerböden in der Regel gering ist (SCHACHTSCHABEL et al. 1989, WEHRMANN und SCHARPF 1979, 1986). So wird auch in den Methodenvorschriften der VDLUFA (THUN et al. 1991) darauf hingewiesen, daß es normalerweise ausreiche, NO_3^- alleine zu bestimmen.

Dennoch können Fälle auftreten, in denen größere Mengen an austauschbarem NH_4^+ im Boden vorhanden sind, wie beispielsweise nach Düngung oder in Grünlandböden (BECK 1979), wobei davon ausgegangen werden kann, daß es ebenso wie NO_3^- für die Pflanzen direkt oder nach Nitrifikation verfügbar ist (ALDAG et al. 1977, OLSON und KURTZ 1982, NOMMIK und VAHTRAS 1982). Dabei ist zu beachten, daß bei geeigneten Bedingungen das gesamte mit 1,0 M KCl austauschbare NH_4^+ und darüber hinaus sogar ein Teil des fixierten NH_4^+ nitrifizierbar ist (NOMMIK und VAHTRAS 1982).

5. Schlußfolgerungen

In der in Vorbereitung befindlichen Önorm L1091 sollte 1,0 M KCl anstelle von 0,0125 M $CaCl_2$ zur Extraktion von N_{\min} vorgeschrieben werden. Während bei NO_3^- keine Auswirkungen des Extraktionsmittels zu erwarten sind, wird der Anteil des austauschbaren NH_4^+ mit 0,0125 M $CaCl_2$ im Gegensatz zu 1,0 M KCl nur unvollständig erfaßt.

Danksagung

Die Untersuchung der Proben aus dem Leibnitzer Feld wurden durch Mittel des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung, Projekt „Schutz des Grundwassers in Tal- und Beckenlagen“, ermöglicht. Die Analysen der Proben aus Gumpenstein wurden an der Bundesanstalt für Alpenländische Landwirtschaft durchgeführt.

Literatur

- ALDAG, R., S. A. IBRAHIM und B. MEYER, 1977: Voraussdüngung von Sommerweizen durch N-Gaben zur Vor-Zwischenfrucht Raps. Zweijährige Freilandversuche auf mitteldeutscher Lößparabraunerde mit Nitrat- und Ammonium-Dünger-N. Mitt. I: Erträge und pflanzliche N-Entzüge. Göttinger Bodenk. Ber. 77, 1—75.
- BECK, Th., 1979: Die Nitrifikation in Böden. Z. Pflanzenern. Bodenk. 142, 344—364.
- BECKER, K.-W., 1987: Ein Vergleich der Methoden zur Bestimmung von NH_4^+ und NO_3^- an Bodenproben — verschiedene Extraktionsmittel und Bestimmungsverfahren. Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 55, 567—571.
- BREMNER, J. M., 1965: Inorganic Forms of Nitrogen. In: C. A. BLACK, Methods of Soil Analysis 2, 1179—1237.
- JANSSEN, E., 1989: Einsatz des $15N$ -Isotops zur mengenmäßigen Erfassung der Denitrifikation in der Bilanz des Stickstoffhaushaltes der Krume von Ackerböden, 14. Diss. Georg-August-Univ., Göttingen.
- NOMMIK, H. and K. VAHTRAS, 1982: Retention and fixation of ammonia in soils. In: F. J. STEVENSON, Nitrogen in agricultural soils, 123—172.
- OLSON, R. A. and L. T. KURTZ, 1982: Crop nitrogen requirements, utilization and fertilization. In: F. J. STEVENSON, Nitrogen in agricultural soils, 567—604.
- ÖSTERREICHISCHES NORMUNGsinstitut, 1989: Vorschlag zur Önorm L1091, Chemische Bodenuntersuchungen, N_{\min} -Methode.
- SCHARPF, H. C. und J. WEHRMANN, 1975: Die Bedeutung des Mineralstickstoffvorrates des Bodens zu Vegetationsbeginn für die Bemessung der N-Düngung zu Winterweizen. Landwirtsch. Forsch. Kongr.b. 32, 100—114.
- SCHACHTSCHABEL, P., H.-P. BLUME, G. BRÜMMER, K.-H. HARTGE und U. SCHWERTMANN, 1989: Lehrbuch der Bodenkunde. Enke-Verlag, Stuttgart, 268.
- SCHMIDT, C. und F. TIMMERMANN, 1989: Bestimmung löslicher N-Fractionen des Bodens in Abhängigkeit von Probenvorbereitung und Extraktionsverfahren. VDLUFA-Kongr.b. 1988, 28, 517—526.

- SCHRÖER, B. und F. TIMMERMANN, 1989: Einfluß der Probenkonservierung (Gefrieren, Trocknen) auf die Nitratgehalte im Boden, ermittelt mit unterschiedlichen Nachweisverfahren. VDLUFA-Kongr.b. 1988, 28, 527—538.
- THUN, R., R. HERRMANN, E. KNICKMANN und G. HOFFMANN, 1991: Die Untersuchung von Böden. Methodenbuch Bd. 1. VDLUFA-Verlag, Darmstadt, A6.1.4.1.
- WEHRMANN, J. und H. C. SCHARPF, 1979: Der Mineralstickstoffgehalt des Bodens als Maßstab für den Stickstoffdüngerbedarf (N_{\min} -Methode). Plant and Soil 52, 109—126.
- WEHRMANN, J. und H. C. SCHARPF, 1986: The N_{\min} -method — an aid to integrating various objectives of nitrogen fertilization. Z. Pflanzenern. Bodenk. 149, 428—440.

(Manuskript eingelangt am 1. Oktober 1992, angenommen am 29. Dezember 1992)

Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Ing. Maximilian KUDERNA, Dipl.-Ing. Erich Pötsch und o. Prof. Dr. Winfried E. H. BLUM, Institut für Bodenforschung und Baugeologie der Universität für Bodenkultur Wien, Gregor-Mendel-Straße 33, A-1180 Wien