

## Dynamik von Boden- und Düngerstickstoff ( $^{15}\text{N}$ ) im Weihenstephaner Lysimeter

K. Vilsmeier, A. Amberger und R. Gutser\*

### Einleitung

Im Hinblick auf die Effizienz der Stickstoffdüngung muß eine möglichst hohe Aufnahme von N durch die Kulturpflanzen aus Düngung und natürlicher Mineralisation eines der wesentlichen Ziele sein. Damit werden alle Probleme, die mit N-Verlusten zusammenhängen, minimiert. Nach einer Auswertung von 57 Lysimeterversuchen im gemäßigten Klimabereich durch ATKINS (1976) wurden von 100 kg Dünger-N unter Ackerland mit Bewuchs 2 - 10 kg im Jahr der Düngung ausgewaschen. Die Ausnutzung kann allerdings innerhalb eines sehr weiten Bereiches von ca. 25 - 75 % schwanken (KUNDLER, 1970, HAUCK, 1971, CAPELLE u. HEUER, 1980, JONES et al., 1977, THIES et al., 1977, VILSMEIER, 1984). Wesentlichen Einfluß haben Niederschlagsverhältnisse, Fruchtfolge und Bodeneigenschaften.

Die Versuchsfragen der folgenden Untersuchungen waren:

Kann die N-Ausnutzung von Mineraldüngern durch Zusatz eines Nitrifikationshemmstoffes erhöht werden und in welchem Ausmaß wird der nach der Ernte im Boden verbliebene Dünger-N in den folgenden Jahren von den Pflanzen aufgenommen bzw. ausgewaschen?

Welcher Anteil der N-Aufnahme kommt aus dem natürlichen N-Vorrat des Bodens?

---

\*) Dr. K. Vilsmeier, Prof. Dr. A. Amberger und Dr. R. Gutser, Lehrstuhl f. Pflanzenernährung der TU München-Weihenstephan, D-8050 Freising 12

Kann die N-Mineralisation von Boden- bzw. Dünger-N mit chemischen Methoden bestimmt werden?

#### Versuchsanstellung und Methodik

Lysimeter Dürnast - 2 m<sup>2</sup> Oberfläche, 1 m Tiefe

Boden: Braunerde aus Löß, pH<sub>CaCl2</sub> 6.5 - 6.8, Ton 16 - 19 %, Schluff 69 - 75 %, Gesamt N 0.15 %, Gesamt C 1.43 %

Fruchtfolge: 1982 Sommerweizen, (Strohdüngung)  
1983/85 Zuckerrüben, (Rübenblätter eingearbeitet)

1984/86 Winterweizen, (Strohdüngung)

1987 Wintergerste, (Strohdüngung)

N-Düngung: Zuckerrüben 180 N (120/60) als <sup>15</sup>N-Ammoniumnitrat (AN) bzw. in einer Gabe als Ammoniumsulfat/Dicyandiamid (AS/DCD) jeweils 1983 und 1985,

(kg/ha)

je 2 Lysimeterbecken

Winterweizen 140 N und Wintergerste 180 N als Kalkammonsalpeter bzw. Alzon 27 jeweils ohne <sup>15</sup>N-Markierung

Kontrolle ohne N-Düngung

#### Methodik

NO<sub>3</sub>: Destillation mit Devardalegierung (BREMNER u. KEENEY, 1966)

Gesamt N: Mikrokjeldahl

organ. N: Extraktion mit 0.01 M CaCl<sub>2</sub> bzw. 1% K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> - 10 g Boden + 100 ml Extraktionslösung, 2 h schütteln, Mikrokjeldahlauflösung des Filtrates nach zweimaliger Reduktion von Nitrat mittels Devardalegierung in schwefelsaurer Lösung

- EUF:** Elektroultrafiltration Fa. Vogel Typ 724 Analysen mit Autoanalyser Fa. Technicon  
Die EUF-Untersuchungen wurden dankenswerterweise von H. Dr. Süß und H. Dipl. Ing. agr. Maier (Bayer. Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau) durchgeführt.
- <sup>15</sup>N-Analysen:** emissionspektroskopische Messung mit <sup>15</sup>N-Analysator NO1 Fa. Jasco, Japan (VILSMEIER u. MEDINA, 1984)

### Ergebnisse:

Die von Mai bis September 1983 gegenüber dem langjährigen Mittel wärmere (+ 0.7° C) und trockenere (- 72 mm) Vegetationszeit bewirkte hohe Erträge und N-Entzüge durch Zuckerrüben aus dem mit Ammoniumnitrat gedüngten Lysimeterbecken. Aufgrund fehlender Auswaschungsverluste und gleichzeitig etwas erhöhter N-Festlegung im Boden waren Erträge und N-Aufnahme mit Dicyandiamid geringer (Tab. 1 u. 2).

Entgegengesetzt verliefen Erträge und N-Aufnahme in dem feuchten Jahr 1985, denn starke Niederschläge im Mai (214 mm) führten zu einer deutlich höheren N-Auswaschung nach Düngung mit AN gegenüber AS/DCD (Tab. 1 u. 2).

Während 1983 unter günstigen Wachstumsbedingungen aus AN 72 % und aus AS/DCD 57 % der N-Düngung von Rüben und Blättern aufgenommen wurden, waren es 1985 34 % aus AN bzw. 43 % aus AS/DCD. Der ungedüngte Boden (N<sub>0</sub>) lieferte in beiden Jahren mit 129 bzw. 137 kg N/ha etwa gleiche N-Mengen. Daraus errechnet sich eine Mineralisationsrate von 2.3 bzw. 2.4 % des Gesamt N (0 - 25 cm Bodentiefe) (Tab. 3).

1983 ergab sich in den gedüngten Lysimeterbecken eine zusätzliche Lieferung von 47 kg N/ha aus dem Boden, das entspricht einer Mineralisation von ca. 3 % (0 - 25 cm), 1985 hingegen nur von 9 kg N/ha ebenfalls ohne wesentlichen Einfluß der Düngersform.

**Tabelle 1: Erträge von Zuckerrüben nach Düngung mit  $^{15}\text{N}$  markiertem Ammoniumnitrat bzw. Ammoniumsulfat mit Dicyandiamid**

**Table 1: Yields of sugar beets after application of  $^{15}\text{N}$ -labelled ammonium nitrate or ammonium sulfate with dicyandiamide**

Jahr	N <sub>o</sub>		AN		AS/DCD	
	Rüben	Blätter	Rüben	Blätter	Rüben	Blätter
(dt FS/ha)						
1983	602	170	809	218	723	186
1985	486	143	546	256	636	242

**Tabelle 2: N-Aufnahme bzw. -Auswaschung von Ammoniumnitrat bzw. Ammoniumsulfat mit Dicyandiamid im Jahr der Düngung**

**Table 2: N uptake and leaching from ammonium nitrate or ammonium sulfate with dicyandiamide in the year of application**

	1983			1985		
	N <sub>o</sub>	AN	AS/DCD	N <sub>o</sub>	AN	AS/DCD
kg N/ha						
Gesamt-N Aufnahme	105.5	291.5	257.6	100.8	155.8	186.5
N-Auswaschung von Düngung bis Ernte	23.7	15.3	22.1	36.5	52.0	33.2
N-Aufnahme aus der Düngung	----	130.2	103.3	---	61.1	77.4

Tabelle 3: Mineralisation von Boden-N der gedüngten und ungedüngten Versuchsglieder im Jahr der Düngung

Table 3: Mineralization of soil N of fertilized and unfertilized treatments in the year of fertilizer application

	1983			1985		
	N <sub>0</sub>	AN	AS/DCD	N <sub>0</sub>	AN	AS/DCD
N-Lieferung (kg/ha) aus dem Boden	129.2	176.6	176.4	137.3	146.7	142.3
N-Mineralisation (%)						
0 - 25 cm	2.3	3.1	3.1	2.4	2.6	2.5

Nach Ernte der Zuckerrüben und Einarbeiten der Rübenblätter verblieben in der Variante AS/DCD um 7 - 11 kg mehr Dünger-N/ha im Boden.

Tabelle 4: Nach der Ernte im Boden verbliebener Dünger-<sup>15</sup>N

Table 4: Fertilizer <sup>15</sup>N in the soil after harvest

	Herbst 1983		Herbst 1985	
	AN	AS/DCD	AN	AS/DCD
	(kg N/ha)			
im Boden verbliebener Dünger-N	89.9	100.8	117.2	124.5
davon Rübenblätter	41.8	25.1	26.2	29.6

Im weiteren soll das Verhalten dieses Stickstoffs verfolgt werden.

Vom 1983 ausgebrachten Stickstoff wurden in den folgenden 4 Jahren insgesamt nur ca. 4 kg N/ha ausgewaschen (Tab. 5). Sieht man von den hohen N-Verlusten (vor allem aus AN) unmittelbar nach der Düngung 1985 ab, so wurden in den folgenden 2 Jahren ebenfalls nur geringe Dünger-N-Mengen ausgewaschen. Die im Vergleich zur ersten <sup>15</sup>N-Gabe (1983) etwas höheren Verluste haben ihren Grund im höheren Rest-N-Gehalt des Bodens (s. Tab. 4) und höheren Sickerwasseranfall im Jahr nach der Düngung, was aus den Auswaschungsverlusten der Kontrolle deutlich wird (7 kg N/ha 1983/84 und 24.2 kg N/ha 1985/86).

Tabelle 5: NO<sub>3</sub>-Auswaschung der 1983 bzw. 1985 ausgebrachten <sup>15</sup>N-Dünger bzw. Boden-N der Kontrolle

Table 5: NO<sub>3</sub>-leaching of <sup>15</sup>N-mineral N applied 1983 or 1985 resp. soil-N of the control

Jahr	1983			N <sub>0</sub>	1985	
	N <sub>0</sub>	AN	AS/DCD		AN	AS/DCD
kg N/ha						
83	23.7	1.7	1.0	----	----	----
83/84	7.0	0.3	0.3	----	----	----
84/85	50.4	2.4	2.2	85 36.5	27.9	7.7
85/86	24.2	0.5	0.7	24.2	4.7	3.3
86/87	23.3	0.5	0.3	23.3	1.7	1.5

Addiert man zur Auswaschung noch den N-Entzug, so erhält man die N-Mineralisation des im Boden verbliebenen Mineraldüngers

(Tab. 6 u. 7). Diese lag in den Jahren 1984 bis 1987 zwischen 1.8 und 10.1 %; nach der 1985 applizierten  $^{15}\text{N}$ -Gabe erreichte sie mit 4.1 bis 9.9 % etwa gleich hohe Werte, die Kontrolle hingegen nur 0.8 bis 2.4 %, d. h. die Bindung des bodenbürtigen N war also wesentlich fester als die des verbliebenen Düngerrestes (Boden + Rübenblätter). Insgesamt war die N-Nachlieferung aus dem Dünger in den beiden ersten Jahren wesentlich höher als in den folgenden.

Zwischen den beiden N-Formen ergaben sich nur geringe Unterschiede hinsichtlich dieser Remineralisation.

Tabelle 6: N-Mineralisation der 1983 ausgebrachten  $^{15}\text{N}$ -Mineraldünger  
Table 6: Mineralization of  $^{15}\text{N}$  fertilizers applied 1983

Jahr	AN		AS/DCD		N-Mineralisation %
	$^{15}\text{N}$ -Aufn. + Auswaschg. kg N/ha	$^{15}\text{N}$ -Mineralisation %	$^{15}\text{N}$ -Aufn. + Auswaschg. kg N/ha	$^{15}\text{N}$ -Mineralisation %	
84	6.6	7.3	8.7	8.6	0.8
85	7.5	8.9	9.4	10.1	2.4
86	1.4	1.8	1.7	2.0	1.5
87	2.1	2.7	1.7	2.0	1.0
-----					
Herbst 83	$^{15}\text{N}$ im Boden (kg/ha)		AN		89.9
			AS/DCD		100.8

Tabelle 7: N-Mineralisation der 1985 ausgebrachten  $^{15}\text{N}$ -Mineraldünger  
 Table 7: Mineralization of  $^{15}\text{N}$  fertilizers applied 1985

Jahr	AN		AS/DCD		N <sub>0</sub>
	$^{15}\text{N}$ -Aufn. + Auswaschg. kg N/ha	$^{15}\text{N}$ -Minera- lisation %	$^{15}\text{N}$ -Aufn. + Auswaschg. kg N/ha	$^{15}\text{N}$ -Minera- lisation %	N-Minera- lisation % 0-25 cm
86	11.6	9.9	12.2	9.8	1.5
87	4.4	4.1	5.4	4.7	1.0
-----					
Herbst 85	$^{15}\text{N}$ im Boden (kg/ha)		AN	117.2	
			AS/DCD	124.5	

Die natürliche N-Mineralisation ließ sich durch chemische Methoden (Extraktion mit  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , EUF) nur unbefriedigend erfassen; die Korrelation N-Freisetzung x N-Extraktion war statistisch nicht abzusichern (Abb. 1). Besser war die Korrelation zwischen der Mineralisation der verbliebenen Düngerreste und der durch chemische Methoden ausgewiesenen N-Menge (Abb. 2). Allerdings waren die erfaßten N-Mengen mit 0.8 bis 5.1 kg N/ha gering.

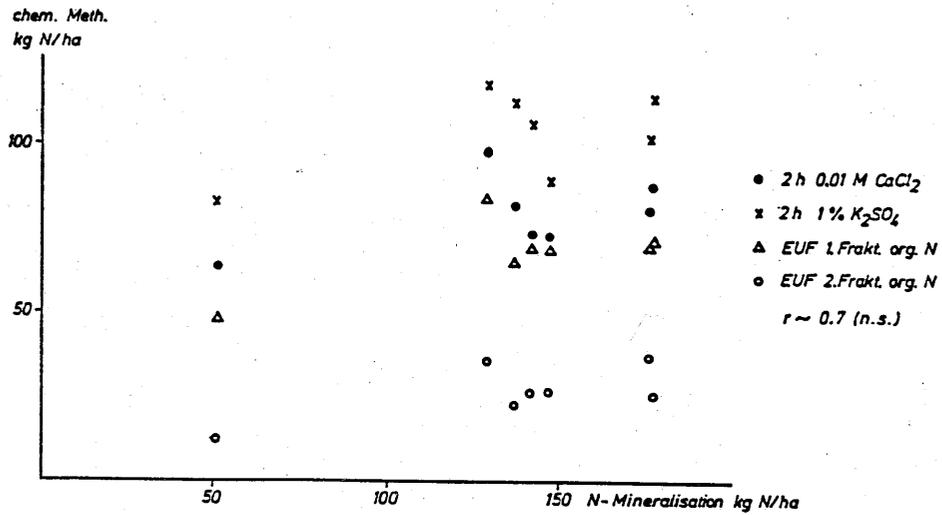


Abbildung 1: Beziehung zwischen natürlicher N-Mineralisation und deren Bestimmung mit chemischen Methoden

Figure 1: Relationship between natural N mineralization and determination by chemical extractants

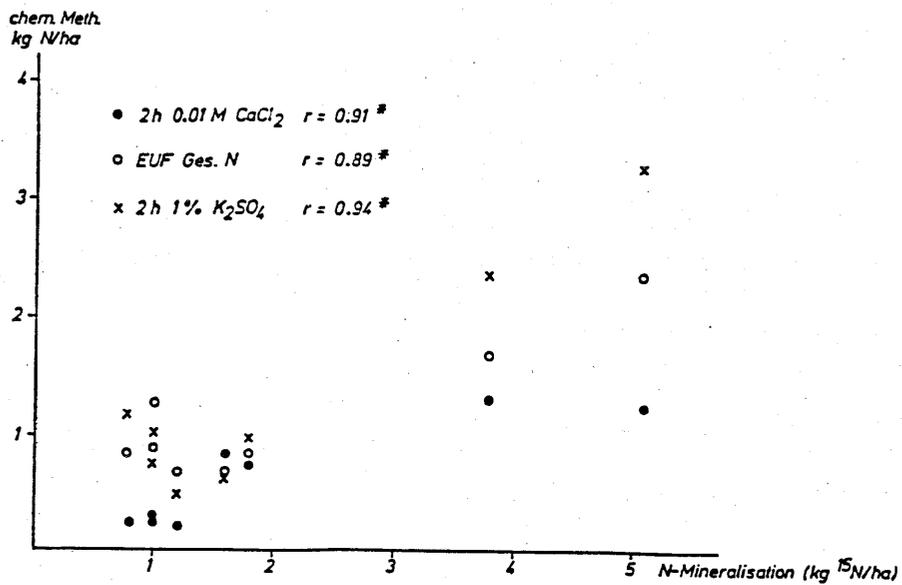


Abbildung 2: Beziehung zwischen der Mineralisation von Dünger-<sup>15</sup>N und dessen Bestimmung mit chemischen Methoden

Figure 2: Relationship between mineralization of <sup>15</sup>N fertilizer nitrogen and determination by chemical extractants

### Diskussion

Durch den Einsatz von Nitrifikationshemmstoffen werden N-Verluste, die vom Nitrat ausgehen (Auswaschung und Denitrifikation), vermindert.

Aufgrund der längeren Ammoniumphase werden jedoch Immobilisationsvorgänge, die ausschließlich ( $\text{NH}_4$ -Fixierung und Einbau von  $\text{NH}_4$  in Abbauprodukte des Lignins) bzw. vornehmlich (Einbau in die Biomasse) vom Ammonium ausgehen, begünstigt (BARSHAD, 1951, BROADBENT u. NAKASHIMA, 1967, FLAIG, 1978, MAASS, 1966, JONES u. RICHARD, 1977). Während der in Huminstoffen eingebaute N nahezu nicht pflanzenverfügbar ist, kann der in Mikroorganismenprotein gebundene N nach deren Autolyse remineralisiert werden. Die Angaben hierüber schwanken allerdings in einem weiten Bereich zwischen 3-6 % in 2 Jahren (RAUHE u. BORNHAK, 1968) und 50 % in 4 Jahren (ALLEN et al., 1973). Vor allem unter niederschlagsarmen Bedingungen nach der N-Düngung und bei fehlender, oder, wie in unserem Versuch nur sehr flacher Einarbeitung, wird Ammonium aus AS/DCD in der obersten Bodenschicht längere Zeit sorbiert. Im Gegensatz zu AN wird dann der Stickstoff wegen der räumlichen Trennung (Dünger/Wurzelentwicklung) in geringerem Umfang von den Pflanzen aufgenommen und ist somit längere Zeit der Immobilisation ausgesetzt. Von derartigen Vorgängen berichtet auch Mokry (1986) in Feldversuchen mit AS/DCD zu Winterweizen. Damit kann die sehr unterschiedliche Ausnutzung der mineralischen N-Düngung in den Jahren 1983 (kaum Auswaschung, hohe Erträge und N-Aufnahme aus AN) und 1985 (hohe Auswaschung, geringe Erträge und N-Aufnahme, vor allem aus AN) erklärt werden. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch JUMA und PAUL (1981) und BAZILEVICH u. KABANOVA (1973) nach Einsatz von Nitrifikationshemmstoffen zu Harnstoff und Ammoniumsulfat. Die Zusammenhänge zwischen N-Verlusten und N-Festlegung im Boden sind aber nicht nur witterungs- sondern auch standortabhängig. Teilweise wird die höhere N-Immobilisation durch eine stärkere Mineralisation von Boden-N kompensiert, so daß Erträge und N-

Aufnahme keine Unterschiede erkennen lassen (VILSMEIER et al., 1988). In diesen Lysimeterversuchen lag die N-Lieferung aus dem Boden 1983 um 47 kg über der Kontrolle, während sie sich 1985 kaum von der Kontrolle absetzte, jedoch ohne Unterschied zwischen beiden N-Formen. Der nach der Ernte 1983 im Boden verbliebene bzw. mit den Rübenblättern zurückgelieferte markierte Stickstoff wurde in den folgenden vier Jahren zu 4.1 % (AN) bzw. 3.5 % (AS/DCD) ausgewaschen und zu 15.5 % (AN) bzw. 17.8 % (AS/DCD) von den Pflanzen aufgenommen. Für die 1985 gedüngten Lysimeterbecken ergaben sich ähnliche Zusammenhänge. Der Rest  $^{15}\text{N}$  wurde in den ersten beiden Jahren in höherem Umfang mineralisiert als der Boden N; im weiteren Verlauf ging die Mineralisationsrate deutlich zurück. Diese Differenzierung ist zum einen durch die angebauten Kulturen, und zum anderen durch die Herkunft des  $^{15}\text{N}$  direkt aus dem Boden bzw. aus den Rübenblättern bedingt. In einem mit diesen Rübenblättern durchgeführten Modellversuch zur N-Freisetzung unter simulierten Freilandtemperaturen wurden ca. 18 % des markierten Gesamt-N von Oktober bis August mineralisiert (VILSMEIER u. GUTSER, 1988), das entspricht umgerechnet auf das Lysimeter ca. 8 kg  $^{15}\text{N}/\text{ha}$  - im Lysimeter selbst waren es ohne Unterscheidung des im Boden bzw. der Blattdüngung enthaltenen Stickstoff ebenfalls ca. 8 kg  $^{15}\text{N}/\text{ha}$ .

Die Mineralisationsleistung eines Bodens kann nur mit markiertem Stickstoff exakt bestimmt werden, d. h. nur in solchen Versuchen ist ein Test verschiedener chemischer Methoden zur Bestimmung der N-Nachlieferung möglich. Keine der ausgewählten Methoden war dazu geeignet, die gesamte N-Mineralisation zu erfassen. Eine signifikante Korrelation zeigte nur die isolierte Betrachtung der  $^{15}\text{N}$ -Nachlieferung.

#### Zusammenfassung

In Lysimeterversuchen wurden Aufnahme und Auswaschung von Dünger-N ohne und mit Nitrifikationshemmstoff, Mineralisation von Boden-N, Nachwirkung und Auswaschung von im Boden verblie-

benem bzw. in Ernterückständen enthaltenem Dünger-N untersucht und die N-Nachlieferung mit chemischen Methoden verglichen. Zu Zuckerrüben gedüngter Stickstoff wurde ohne Nitrifikationshemmstoff (NH) 1983 zu 72 % und 1985 zu 34 %, mit NH zu 57 % bzw. 43 % von Rüben und Blättern aufgenommen. Die N-Auswaschung erreichte vom Zeitpunkt der Düngung bis zur Ernte 1983 15 bzw. 22 kg N/ha und 1985 33 bzw. 55 kg N/ha. 1983 lag die N-Aufnahme von Boden-N unabhängig von der Düngerform um ca. 50 kg/ha deutlich über der Kontrolle; 1985 ergab sich kaum eine höhere N-Mineralisation. Insgesamt betrug die Lieferung von bodenbürtigem Stickstoff in 0 - 25 cm Bodentiefe 2.3 - 3.1 % der gesamten N-Menge im Boden. Der nach der Ernte im Boden verbliebene bzw. mit der Rübenblattdüngung eingebrachte markierte Dünger-N wurde in den folgenden Jahren (1984 - 87 bzw. 1986 - 87) insgesamt nur zu ca. 4 % ausgewaschen. Die gesamte N-Mineralisation dieses im Boden enthaltenen  $^{15}\text{N}$  erreichte von 1984 - 87 ca. 20 % und von 1986 - 87 ca. 14 %. Die Mineralisation von Boden-N konnte im aufgezeigten Zeitraum mit chemischen Methoden wie Extraktion mit 1 %  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , 0.01 M  $\text{CaCl}_2$  und EUF nicht, die des restlichen  $^{15}\text{N}$  hingegen gut erfaßt werden.

#### Summary

K. VILSMEIER, A. AMBERGER und GUTSER, R.: Dynamik von Boden- und Düngerstickstoff ( $^{15}\text{N}$ ) im Weihenstephaner Lysimeter.  
- Dynamics of soil and fertilizer N ( $^{15}\text{N}$ ) in the lysimeter "Weihenstephan"

VDLUFA-Schriftenreihe 28/1989, Kongreßband 1988, Bonn, Teil II

In lysimeter trials, uptake and leaching rates of applied N with or without nitrification inhibitors, mineralization of soil-borne N, as well as residual N and leaching rates of fertilizer rest N in the soil or contained in crop residues were investigated and the N-release was compared with chemical extraction methods.

72 % of nitrogen applied to sugar beets without nitrification

inhibitor (NI) was taken up by beets and leaves in 1983 and 34% in 1985, with NI 57 % or 43 % resp.. Leaching of N between fertilizer application and harvest amounted to 15 and 22 kg N/ha in 1983, or 33 and 55 kg N/ha in 1985.

In 1983, N uptake from soil-borne N was distinctly higher than in the control (by ca. 50 kg/ha) independent of applied N forms; 1985 hardly any higher N mineralization occurred.

Altogether release of soil borne N in 0 - 25 cm depth came up to 2.3 - 3.1% of the total N in soil. Labelled fertilizer N, remaining in the soil after harvest or introduced by beet leaves manuring was leached only by ca. 4 % altogether in the subsequent years (1984 - 1987 or 1986 - 1987), total N mineralization of  $^{15}\text{N}$  contained in the soil amounted to ca. 20 % between 1984 and 1987 and ca. 14 % between 1986 and 1987. Mineralization of soil N in this period could not be determined by chemical methods (extraction with 1 %  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , 0.01 M  $\text{CaCl}_2$ , EUF), but very good with  $^{15}\text{N}$ .

#### Literatur

ALLEN A. L., STEVENSON, F. J. and KURTZ L. T. Chemical distribution of residual fertilizer nitrogen in soil as revealed by nitrogen-15 studies. J. Environ. Quality 2, 120-124, 1973

ATKINS, S. F.: Zitiert bei WILD, A. und K. C. CAMERON: Soil nitrogen and nitrate leaching in P. B. TINKER: Soils and Agriculture Soc. of Chemical Industry, Blackwell Scientific Publ. Oxford London 1980

BARSHAD, J. Cation exchange in soils. 1. Ammonium fixation and its relation to potassium fixation and to determination of ammonium exchange capacity. Soil Sci. 72, 361-371, 1951

BAZILEVICH S. D. and KABANOVA, N.: N-effects of nitrification inhibitors on the reaction in soil, loss and use by plants of experiments with  $^{15}\text{N}$  labelled ammonium sulfate. Primer. Stab. Izot  $^{15}\text{N}$  Issled Zemled 200-213, 1973

BREMNER, J. M. and KEENEY, D. R.: Determination and isotoperatio analysis of different forms of nitrogen in soils. Exchangeable ammonium, nitrate by extraction-distillation methods. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30, 577-582, 1966

BROADBENT, F. E. and NAKASHIMA, J.: Reversion of fertilizer nitrogen in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31, 648-652, 1967

CAPELLE, A. und HEUER, C.: Die Ausnutzungsrate von Düngerstickstoff durch Hafer auf bearbeiteter und unbearbeiteter Parabraunerde aus Löss - Vergleich zweier Bestimmungsmethoden. Landw. Forsch. 33, 1-11, 1980

FLAIG, W.: Fortschritte auf dem Gebiet der Biochemie des Bodens im Bezug zur pflanzlichen Produktion (Übersicht!) Vortrag vor der Rheinisch-Westfälischen Akademie der Wissenschaften Nr. 271, Westdeutscher Verlag GmbH Opladen, 1978

HAUCK, R. D.: Quantitative estimates of nitrogen-cycle processes - concepts and review. In nitrogen-15 in soil plant studies JAEA Wien 65-80, 1971

JONES, J. M. and RICHARDS, B. N.: Effect of reforestation on turnover of  $^{15}\text{N}$ -labelled nitrate and ammonium in relation to changes in soil microflora. Soil Biol. Biochem. 9, 383-392, 1977

JONES, M. B., DELWICHE, C. C. and WILLIAMS, W. A.: Uptake and losses of  $^{15}\text{N}$  applied to annual grass and clover in lysimeters. Agron. J. 69, 1019-1023, 1977

JUMA, N. G. and PAUL, E. A.: Characterization and dynamics of immobilized fertilizer N in Soil. Vortrag 73. Annual Meeting der Amer. Soc. of Agron in Atlanta, USA, 1981

KUNDLER, P.: Ausnutzung, Festlegung und Verluste von Dünge-

- mittelstickstoff. Albrecht-Thaer-Archiv 14, 191-210, 1970
- MAASS, G.: Untersuchungen zur Dynamik des Mineralstickstoffgehaltes im ungedüngten und gedüngten Boden. Habil. Schrift Inst. Acker- u. Pflanzenbau Uni. Rostock, 1966
- MOKRY, M.: Wirkung von Nitrat- und Ammoniumdüngung unter Verwendung des Nitrifikationshemmstoffes Dicyandiamid auf Ertragsbildung und Qualität von Weizen. Diss. Fakultät Landwirtschaft und Gartenbau, TU München, 1986
- RAUHE, K. und BORNHAK, H. Quantifizierung der Gesamtwirkung von Mineralstickstoff auf Pflanze und Boden mit Hilfe von  $^{15}\text{N}$  im Feldversuch. Albrecht-Thaer-Arch. 12, 701-716, 1968
- THIES, W., BECKER, K.W. und MEYER, B.: Bilanz von markiertem Dünger-N ( $^{15}\text{NH}_4$  und  $^{15}\text{NO}_3$ ) in natürlich gelagerten Sandlysimetern sowie zeitlicher Verlauf des dünger- und bodenbürtigen N-Austrages im Vergleich Bewuchs - Brache. Landw. Forsch. 34, 55-62, 1977
- VILSMEIER, K.: Stickstoffbilanzierung in Lysimeterversuchen zu Zuckerrüben mittels  $^{15}\text{N}$ -Verbindungen. Landw. Forsch. Kongressband, 340-346, 1984
- VILSMEIER, K. und GUTSER, R.: Modellversuche zur N-Mineralisation aus Zuckerrübenblättern. Landw. Forsch. im Druck, 1988
- VILSMEIER, K., GUTSER, R. und AMBERGER, A.: Zur Wirkung des  $\text{NH}_4$ - $^{15}\text{N}$  aus Gülle und Ammoniumsulfat in Modell- und Gefäßversuchen. Landw. Forsch. Kongressband 1987, VDLUFA-Schriftenreihe 23, 297-312, 1988
- VILSMEIER, K. und MEDINA, R.: Eine Memory-freie Methode zur Hypobromitoxidation von  $^{15}\text{NH}_4$  für die Emissionsspektrometrie Fresenius Z. Anal. Chem. 318, 597-598