

---

# Untersuchungen mit $^{15}\text{N}$ -Tracern in agrikulturchemischen Systemen

Heinz Peschke

Humboldt-Universität zu Berlin, Deutschland

## ZUSAMMENFASSUNG

*Agrikulturchemische Zustände und Prozesse sind in offenen und geschlossenen Systemen eingeordnet. Zustandsuntersuchungen sind zeitunabhängige, statische Systeme, Prozessuntersuchungen sind zeitbezogene, dynamische Systeme. Für die Verfolgung bestimmter Tatsachen und Ereignisse ist das Stabilisotop  $^{15}\text{N}$  geeignet, es grenzt sich ab vom nativen Stickstoff vorhandener Systeme.*

*Im Bericht werden sowohl Versuchsergebnisse mit  $^{15}\text{N}$ -Tracern in den Systemen Boden, Dünger, Pflanze und Tier als auch die Pfade als Brücken zwischen Boden und Dünger, Dünger und Pflanze sowie Boden und Pflanze vorgestellt.*

## Investigations with $^{15}\text{N}$ tracers in agricultural chemical systems

### SUMMARY

*Agricultural chemical states and processes are arranged in open and closed systems. Investigations of state are static systems independent of time, testing of process is dynamic systems dependent on time.*

*In order to follow up special facts and occurrences the stable isotope  $^{15}\text{N}$  is suited. It is demarcated of native nitrogen of existing systems.*

*In the report as well as results of experiments with  $^{15}\text{N}$  tracers in systems soil, fertilizer, plant and animal and too the path as bridge between soil and fertilizer, fertilizer and plant and soil and plant are represented.*

## 1. Einleitung

Eine ausgewogene, dem Ertrags- und Qualitätsziel angepasste suboptimale Stickstoffdüngung der Pflanzenbestände, die auch die ökonomischen und ökologischen Rahmenbedingungen berücksichtigt, ist nach wie vor Zielstellung wissenschaftlicher Fragestellungen. Für die N-Bereitstellung ist neben der mineralischen N-Düngung und ihrer Unterteilung, die Zufuhr von Stickstoff über die organische Düngung und die Verfügbarkeit von nativen Bodenstickstoff von Bedeutung. Die Wirksamkeit dieser N-Quellen wird durch die jahreszeitlichen Witterungsentwicklungen mitbestimmt und von verschiedenen produktionstechnischen Maßnahmen, wie Sortenwahl, Einsatz von Pflanzenschutzmitteln u.a., tangiert.

Zwar interessiert für die pflanzliche Stoffproduktion letztlich das Endergebnis, das Nettoresultat; soll jedoch auf die N-Dynamik im Boden und die N-Verwertung der Pflanze ein steuernder Einfluss ausgeübt werden, dann sind die Abläufe der Teilprozesse und Zwischenresultate von

Wichtigkeit. Für die Verfolgung bestimmter Ereignisse, in Abgrenzung gegebener Stickstoff-Pools, bietet sich die Verwendung des Stabilisotops  $^{15}\text{N}$  und die Isotopentechnik als ein modernes Forschungsmittel von großer Effektivität an.

Über bestimmte Trennverfahren wird eine Isotopenfraktionierung ermöglicht, in dem durch Veränderung der natürlichen isotopen Zusammensetzung in Richtung des selteneren Elementes, hier  $^{15}\text{N}$ , eine Markierung der N-Verbindung erfolgt. Mit der gezielten Applikation des  $^{15}\text{N}$ -Tracers und die folgende isotopenanalytische Aufbereitung wird der Zustand bzw. die Entwicklung der dinuklidischen Verhältnisse des Stickstoffs geprüft. Für die Isotopenanalyse, der Ermittlung des  $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ -Verhältnisses, stehen emissions- und massenspektrometrische Methoden zur Verfügung. Von Vorteil ist, dass bei der Isotopenverdünnung die Substanz nicht quantitativ isoliert werden muss.

Die agrikulturchemischen Zustände und Prozesse spielen sich in offenen und geschlossenen Systemen ab. Der Boden ist ein offenes dynamisches System, es ist ein dreiphasiges, polydisperses und oberflächenaktives Gebilde. Auch die Pflanze ist ein offenes System, gleichwohl gibt es eine räumliche Unterteilung und Differenzierung, die geschlossene Reaktionsräume, Kompartimente, darstellen. Im Gegensatz zu den vorgenannten Gruppierungen bildet der tierische Organismus ein geschlossenes System.

Insoweit soll die Zustandsuntersuchung das zeitunabhängige, statische Systemverhalten prüfen und die Prozessuntersuchung das zeitabhängige, dynamische Systemverhalten aufklären.

## 2. Ausgewählte Ergebnisse der $^{15}\text{N}$ -Tracer-Forschung

Im Bereich Pflanzenernährung und Bodenkunde der Humboldt-Universität wird seit Mitte der 70er Jahre die  $^{15}\text{N}$ -Tracertechnik als Hilfsmittel der Stickstoffforschung herangezogen. Nahezu 100  $^{15}\text{N}$ -relevante Publikationen decken einen weiten Bereich des Gegenstandes dieser beiden Fachgebiete ab. Im Folgenden sollen exemplarisch Ergebnisse vorgestellt werden.

### 2.1. Agrikulturchemische Systeme

#### $^{15}\text{N}$ im Boden

In einem zweimal dreijährigen Experiment wurde Boden aus Extremvarianten von drei Dauerversuchen über die Düngung von Weidelgras mit hochmarkierten  $^{15}\text{N}$ -Ammoniumsulfat durch wiederholtes Einarbeiten des Grases die organische

Bodensubstanz  $^{15}\text{N}$  angereichert. In den folgenden drei Jahren wurde schließlich versucht, diese Markierung durch massiven Maisanbau zurückzunehmen (Peschke und Kretschmann, 1991; Peschke et al., 1993). In Abhängigkeit von Bodenherkunft und langjährige Differenzierung der Vergleichsvarianten innerhalb der Dauerfeldversuchsböden wurde teilweise eine beachtliche  $^{15}\text{N}$ -Anreicherung der Humusfraktionen, insbesondere bei den Fulvosäuren, erzielt. Das trifft nach dreijähriger Versuchsdurchführung auch für die organischen Stickstofffraktionen, hier am Beispiel des Statischen Versuches Lauchstädt, zu (Tabelle 1).

Tabelle 1

$^{15}\text{N}$ -Akkumulation in den organischen Stickstofffraktionen in Varianten des Statischen Versuches Bad Lauchstädt

Table 1

$^{15}\text{N}$  accumulation in the organic fraction of nitrogen on variants of the Static Trial Bad Lauchstädt

N-Fraktion	Ohne Düngung		NPK + 15 t ha <sup>-1</sup> Stallmist	
	mg kg <sup>-1</sup>	%	mg kg <sup>-1</sup>	%
Aminozucker-N	9,4	12,3	10,3	11,2
$\alpha$ -Amino-N	34,2	15,5	53,2	18,6
Hydrolysat-Rest-N	121,0	23,5	105,0	18,3
Heterocyclisch-gebundener N	48,1	10,0	78,3	9,6
Amid-N	81,1	39,6	54,8	24,9

$^{15}\text{N}$  im Dünger

Acht sehr verschiedene organische Abprodukte und Düngestoffe wurden einem einjährigen Lagerungsversuch, mit Zusatz von  $^{15}\text{N}$ markierten Harnstoff, unterzogen (Peschke und Norr, 1995). Zur Verbesserung des C/N-Verhältnisses erhielten die Rinde und die Holzspäne eine N-Ergänzung sowie Rinde, Späne und Hochmoortorf einen Kalkzusatz. Erwartungsgemäß ist die Einbindung des markierten Stickstoffs in die beiden N-Fractionen (organisch und  $N_{\min}$ ) bei den Prüfprodukten mit derartig differierenden qualitativen Eigenschaften während der Rottezeit sehr unterschiedlich erfolgt (Tabelle 2). Ein hoher Prozentsatz des eingesetzten  $^{15}\text{N}$ -Tracers findet sich im Hochmoortorf und im Rindensubstrat wieder, bei ersteren zur Hälfte in der nichtextrahierbaren Substanz, der Rest aufgeteilt in der Huminsäure- und Fulvosäurefraktion, in der kompostierten Rinde fast ausschließlich in der NeS-Fraktion. Die beträchtliche Wiederfindungsrate an mineralischen Stickstoff bei Seeschlamm ist  $^{15}\text{NO}_3\text{-N}$ , während bei Niedermoortorf auch  $^{15}\text{NH}_4\text{-N}$  mitenthalten ist. Die größten harnstoffbürtigen Verluste treten bei Klärschlamm und Stallmist auf.

Die Umsetzungsrate zu verrottendes Strohs ist zunächst von der Strohart und deren Kohlenstoff-/Stickstoff-Verhältnis abhängig. Wenn nicht ausreichend verfügbarer Stickstoff im Boden bereitsteht, wird der Strohabbau durch eine N-Zusatzdüngung gefördert. Dieser Fragestellung wurde in einem Inkubationsversuch mit  $^{15}\text{N}$ -markiertem Stroh nachgegangen (Peschke und

Dölling, 1994). Durch die  $^{15}\text{N}$ -Anreicherung und die Isotopenanalyse kann die aus dem Stroh stammende N-Freisetzung, hier nach 18 wöchiger Bebrütung, unmittelbar festgestellt werden (Tabelle 3). Die Abbaurate von Weidelgrasheu mit 2,7%  $N_t$  und dem engen C/N-Verhältnis ist mit 38% ein gewollter Ausnahmewert. Der  $^{14}\text{N}$ -Zusatz mobilisiert weiteren strohbürtigen Stickstoff, er ist bei den Roggenstroh-Chargen mit 17 bzw. 23% am höchsten. Dagegen sind Mais- und Haferstroh verhältnismäßig abbauresistent.

Tabelle 2

$^{15}\text{N}$ -Einbindung von Harnstoff-N in organogene Düngestoffe nach 12 monatiger Lagerung

Table 2

$^{15}\text{N}$  incorporation of urea-N in organogenic fertilizers after storage of 12 months

Substrat	$N_{\text{org}}$		$N_{\text{min}}$		$N_t$
	g/ Gefäß	% zur N-Gabe	g/ Gefäß	% zur N-Gabe	% zur N-Gabe
Stallmist	6,8	18,3	2,0	5,4	23,7
Stroh	12,5	33,6	6,8	18,3	51,9
Niedermoortorf	11,3	30,4	17,0	45,7	76,1
Hochmoortorf	28,3	74,7	9,6	25,3	100,0
Seeschlamm	7,4	19,9	22,6	60,8	80,7
Klärschlamm	7,4	19,9	0,6	1,6	21,5
Rinde	23,4	62,9	5,5	14,8	77,7
Späne	11,4	30,7	3,8	10,2	40,9

Tabelle 3

Freisetzung von  $^{15}\text{N}$ -Strohstickstoff

Table 3

Releasing of  $^{15}\text{N}$  straw nitrogen

Strohart	C/N-Verhältnis	$^{15}\text{N}$ -Freisetzung $^{14}\text{N}$ -Zusatz		Differenz ohne/mit %
		ohne %	mit %	
Weidelgras (250)*	14	38,4	41,7	3,3
Mais (160)*	38	4,1	11,5	7,4
Winterroggen (50)*	90	7,8	24,7	16,9
Winterroggen (150)*	56	10,6	33,3	22,6
Hafer (80)*	34	7,6	16,6	9,0

\*N-Düngung der Fruchtart in kg ha<sup>-1</sup>

$^{15}\text{N}$  in der Pflanze

Die Anwendung isotopmarkierten N-Düngers erlaubt unmittelbar auf die Wirksamkeit desselben zu schließen. Mit der Zielsetzung  $^{15}\text{N}$ -angereicherte Futtermittel zu erzeugen, wurde im Freilandanbau Weidelgras mit 250 kg ha<sup>-1</sup>N in drei Gaben, Futterrübe mit 180 kg ha<sup>-1</sup> in drei Gaben unterteilt und Hafer mit 80 kg ha<sup>-1</sup>N zweigeteilt gedüngt. Das Ammoniumnitrat war mit 50 at.-%  $^{15}\text{N}$ -Häufigkeit verhältnismäßig hoch markiert (Peschke, 1985). Die Ertragsdaten und Stickstoffparameter sind Tabelle 4 zu entnehmen. Die Verdünnung der relativen  $^{15}\text{N}$ -Häufigkeit in den Ernteprodukten beträgt bei der Rübe von 50 auf 12% und beim Gras von 50 auf

21%. Noch gravierender ist die Abstufung in der Dünger-N-Aufnahme und in der N-Ausnutzung (Weidelgras > Futterrübe > Hafer). Unter Berücksichtigung zusätzlicher N-Inputs aus der Atmosphäre lässt sich die Assimilation von bodenbürtigen Stickstoff von 151 kg ha<sup>-1</sup>N durch das Gras, 190 kg ha<sup>-1</sup>N von der Rübe und 27 kg ha<sup>-1</sup>N in Haferkorn und -stroh ableiten.

Tabelle 4

**Pflanzenenertrag, N-Entzug und N-Ausnutzung**

Table 4

**Plant yield, N uptake and N utilization of loliumgrass, feeding beet and oats**

Parameter	Weidelgras	Futterrübe	Hafer
Trockenmasse (dt ha <sup>-1</sup> )	111,6	131,9	57,3
N <sub>t</sub> -Entzug (kg ha <sup>-1</sup> )	331,1	301,3	70,8
<sup>15</sup> N (at.-%)	21,35	12,18	16,14
Dünger-N (kg ha <sup>-1</sup> )	145,3	75,9	23,6
N-Ausnutzung (%)	58	42	29

Für die Erfassung der prozentualen N-Ausnutzung einer Düngungsmaßnahme gibt es mehrere Möglichkeiten. Die sogenannte Quotientenmethode setzt keine ungedüngte Variante voraus. Sie ist deshalb undiskutabel, weil sie rechnerisch auch Ausnutzungswerte über 100% ergeben kann. Die Differenzmethode ermittelt die prozentuale Ausnutzung über ein ungedüngtes Prüfglied; zur Interpretation zum Zwecke der Düngepraxis im Pflanzenbau ist sie ohne Einschränkung geeignet. Die Isotopenmethode erfasst nur, aber unmittelbar von der Pflanze verwerteten düngerbürtigen Stickstoff. Es ist die direkte Dünger-N-Ausnutzung, wenn die Definition a priori berücksichtigt, dass die Differenz zu 100% nicht Verluste allein, sondern gleichfalls Anteile von immobilisiertem N bedeutet. Dieser Ansatz gewinnt an Qualität, wenn er die Nachwirkung der Folgefrucht einschließt und/oder in die Systemverwertung des N (Boden und Pflanze) eingebunden ist. Insoweit ist die <sup>15</sup>N-Ausnutzungsrate meistens niedriger als mit der Differenzmethode ermittelt (Tabelle 5, Peschke et al., 1984). Diese Abweichung wird ferner um so größer, wenn über die N-Mineraldüngung eine Extra-Mobilisierung von organisch gebundenen Bodenstickstoff und/oder wenn über einen intensiven Mineralisierungs - Immobilisierungs - Turnover weniger <sup>15</sup>N zur Verfügung steht und eine <sup>14</sup>N-Akkumulation im N<sub>min</sub>-Pool stattfindet.

*<sup>15</sup>N im tierischen Organismus*

Um Kot und Harn (und Milch) eines Tieres <sup>15</sup>N-anzureichern, gibt es im Rahmen eines Fütterungsexperimentes mehrere Möglichkeiten: (1) Erntereste von <sup>15</sup>N-Feldversuchen (Stroh u.a.) haben in der Regel einen zu niedrigen Markierungsgrad. (2) Markierte Futterzusätze (<sup>15</sup>N-Harnstoff, <sup>15</sup>N-Ammoniumbicarbonat u.a.) führen zu einer abweichenden Anreicherung der Kotbestandteile. (3) Gezielt produzierte hochangereicherte <sup>15</sup>N-

Futtermittel für ein einmaliges Futterangebot bzw. für eine komplette Tagesration kommen den tatsächlichen tierernährerischen Gegebenheiten am nächsten (Peschke, 1982). Der <sup>15</sup>N-Ausstoß über die Exkremate einer Milchkuh nach Vorlage einer vollständigen Tagesration (Weidelgrasheu, Futterrüben, Haferkorn und -stroh) ist in *Abbildung 1* dargestellt. Bereits am Verabreichungstag (1. Versuchstag) findet sich <sup>15</sup>N im Harn als Vorlauf, die Spitze der <sup>15</sup>N-Abgabe im Kot ist am 2. und 3. Tag zu verzeichnen. In den ersten 5 Tagen werden 93% des Kot-<sup>15</sup>N und 89% des Harn-<sup>15</sup>N ausgeschieden. Für eine höher markierte Gülle eignen sich die Kot- und Harnproben des 2. - 4. Tages.

Tabelle 5

**Stickstoffausnutzung von Hafer (Korn + Stroh) in Abhängigkeit vom N-Düngemittelaufwand (im Mittel von 12 Feldversuchen)**

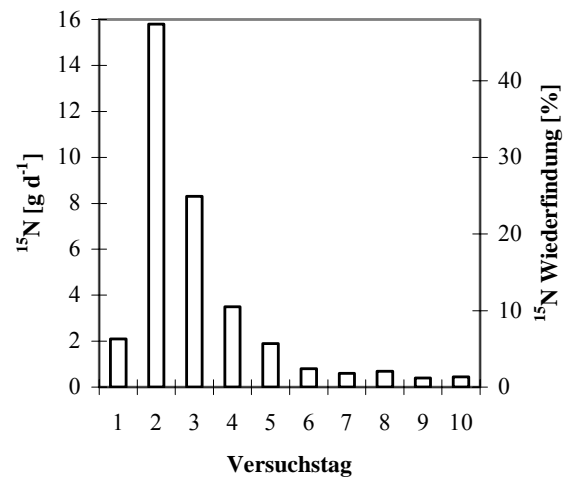
Table 5

**Nitrogen utilisation of oats (grain + straw) in relation to application rate of N fertilizer (average of 12 field trials)**

N-Düngung kg ha <sup>-1</sup>	%	s %
<i>Differenzmethode</i>		
50	48,3 ± 52,3	108,3
100	37,3 ± 26,0	69,8
150	31,3 ± 20,3	64,7
200	26,7 ± 14,7	55,1
<i>Isotopenmethode</i>		
50	35,3 ± 12,8	36,4
100	30,4 ± 13,1	43,1
150	26,7 ± 11,7	43,9
200	25,5 ± 10,7	41,9

*Abbildung 1: Täglicher <sup>15</sup>N-Ausstoß (Kot und Harn) eines laktierenden Rindes nach Verfütterung einer <sup>15</sup>N-angereicherten Tagesration*

*Figure 1: Daily <sup>15</sup>N secretion (faecal and urine) of a lactating cow after feeding of a <sup>15</sup>N enriched daily ration*



## 2.2. $^{15}\text{N}$ -Pfade zwischen den Systemen

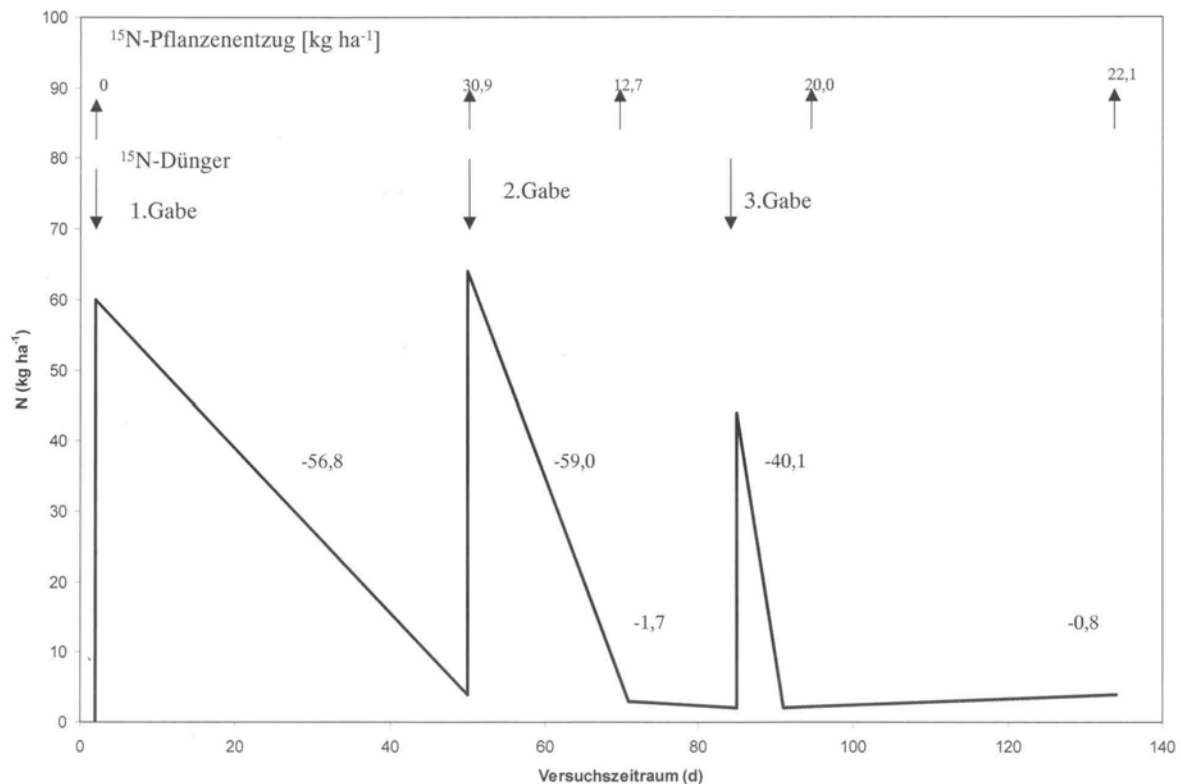
### $^{15}\text{N}$ -Brücke zwischen Boden und Dünger

Eine N-Kopfdüngung auf wachsenden Pflanzenbestand füllt nach Migration in die obere Bodenschicht den  $\text{N}_{\text{min}}$ -Gehalt des Bodens auf. Beobachtungen verschiedener Autoren belegen nun, dass z.B. unter Getreide der Gehalt an verfügbarem Stickstoff in Wochen erheblich zurückgeht. Über den Einsatz von  $^{15}\text{N}$ -markierten Stickstoffdünger ist eindeutig festzustellen, dass es sich vornehmlich um

Düngemittel-N handelt (Peschke und Mollenhauer, 1997). Diese These wird sehr deutlich in *Abbildung 2* demonstriert. Die geteilten Düngergaben von  $60 + 60 + 40 \text{ kg ha}^{-1}\text{N}$  zu Winterweizen werden temporär fast in dieser Höhe wieder reduziert. Da der Rückgang im düngerbürtigen  $\text{N}_{\text{min}}$ -Gehalt nicht allein durch den parallelen pflanzlichen  $^{15}\text{N}$ -Entzug erklärt werden kann, ist von einer gleichzeitigen Konkurrenzsituation der mikrobiellen Immobilisierung auszugehen.

Abbildung 2:  $^{15}\text{N}_{\text{inorgan.}}$ -Gehalt (0-60 cm) infolge einer dreigeteilten N-Gabe zu Winterweizen

Figure 2:  $^{15}\text{N}_{\text{inorgan.}}$  content (0-60 cm) after a three splitted N application to winter wheat



### $^{15}\text{N}$ -Brücke zwischen Dünger und Pflanze

Die Wirksamkeit von steigenden N-Düngergaben kann als N-Produktionsfunktion in der Beziehung N-Angebot/Ertrag bzw. N-Angebot/N-Entzug beschrieben werden. Als  $^{15}\text{N}$ -markierte Stickstoffdüngung lässt sich darüber hinaus in der N-Aufnahme der Pflanze der Effekt des Mineraldüngeranwandes von der Wirkung des vorliegenden Boden-N abgrenzen (Peschke und Mollenhauer, 1999). Mit der Installation von  $^{15}\text{N}$ -Mikroparzellen in laufende Dauerversuche sind neben der versuchskonformen  $^{15}\text{N}$ -Düngungsvariante in die Feldparzellen weitere Kleinparzellen mit einer Düngungsdosis aller im Gesamtversuch vorkommenden Düngeraufwendungen eingerichtet worden (*Tabelle 6*). Die Aufnahme von Dünger-N wird in diesem einmaligen Eingriff in die

Dauerversuchspartellen zweifelsfrei von der angezeigten Düngungsstufe bestimmt. In der Tabelle ist nun der zweite Part des Gesamt-N-Entzuges, der Anteil des aufgenommenen Bodenstickstoffs aufgelistet. Bezogen auf ( $^{15}\text{N}$ -) ungedüngtes N-Prüfglied ist mit der abgestuften Mineraldüngung auch mehr Bodenstickstoff von der Pflanze entzogen werden. Dieser Primingeffekt ist in allen Varianten gegeben. Tatsächlich gilt diese Aussage in diesem Versuch nur für die Varianten Nr. 1, 3 und 5. In der Variante 2 – Mineraldüngung – ist die Düngestufe  $160 \text{ kg ha}^{-1}\text{N}$  Ausgangspunkt und für die Varianten 4 und 6 gilt der Aufwand  $110 \text{ kg ha}^{-1}\text{N}$  als Standard. In diesen Fällen ergibt sich, dass mit Absenkung des N-Aufwandes auch weniger Bodenstickstoff in Anspruch genommen wird.

Tabelle 6  
Anteil des Bodenstickstoffs am N-Entzug des  
Weizenkornertrages (kg ha<sup>-1</sup>)

Table 6  
Share of soil nitrogen to the N uptake of the kernel yield of  
wheat

Variante	N-Düngestufe kg ha <sup>-1</sup>				
	0	60	110	160	160/0 %
1. ohne Düngung	45,9	59,9	77,8	74,7	163
2. Mineraldünger	33,8	51,6	66,0	80,0	237
3. Stallmist	63,7	88,2	86,7	100,5	158
4. Mineraldünger + Stallmist	44,9	56,6	64,1	73,8	164
5. Rübenblatt/Gründung/ Stroh	73,1	91,4	88,9	108,5	148
6. Rübenblatt/Grün- düngung/Stroh und Mineraldünger	55,6	77,4	89,7	91,9	165

### <sup>15</sup>N-Brücke zwischen Boden und Pflanze

Die wichtigsten N-Zugänge und -Abgänge unter Vegetation spielen sich, auf Dünger-N bezogen, in der oberen Bodenschicht ab (Peschke et al., 2001). In einer partiellen <sup>15</sup>N-Bilanz einer dreigeteilten N-Gabe zu Winterroggen wird der temporäre N<sub>min</sub>-Gehalt des Bodens plus dem N-Entzug der Pflanze der definierten N-Düngergabe gegenübergestellt (Tabelle 7). Es zeigt sich zunächst eine schnelle Minderung des N<sub>min</sub>-Gehaltes und entgegengesetzt eine zunehmende N-Aufnahme der oberirdischen Masse des Roggens. Allerdings wird der Rückgang des Dünger-N im Boden nicht durch den <sup>15</sup>N-Entzug voll kompensiert. Unter den gegebenen Versuchsbedingungen ist eine N-Verlagerung marginal und wird durch die Tiefenuntersuchung von 30-60 cm so bestätigt. Somit kann die Differenz als apparente <sup>15</sup>N-Immobilisation eingestuft werden. Diese mikrobielle N-Immobilisation ist absolut und prozentual bei allen drei Teilgaben und über die gesamte Versuchszeit nachzuweisen.

Partielle <sup>15</sup>N-Bilanz einer dreigeteilten N-Gabe zu Winterroggen (kg ha<sup>-1</sup>)

Tabelle 7

Partial <sup>15</sup>N balance of a three split N application to winter rye (kg ha<sup>-1</sup>)

Table 7

Düngungs- und Probenahmetermin	16.03.	30.03.	13.04.	26.04.	10.05.
1. Düngung	60.00				(40.00)
<sup>15</sup> N <sub>min</sub> (0-30 cm)	60.00	24.24	6.10	0.53	1.83
<sup>15</sup> N-Entzug	-	16.42	43.88	40.98	43.94
app. <sup>15</sup> N-Immob. kg ha <sup>-1</sup>	-	19.34	10.02	18.49	14.23
%	-	32.23	16.70	30.82	23.72
Düngungs- und Probenahmetermin	26.04.	10.05.	26.05.	07.06.	28.06.
2. Düngung	40.00			(20.00)	
<sup>15</sup> N <sub>min</sub> (0-30 cm)	40.00	7.13	0.29	0.16	0.10
<sup>15</sup> N-Entzug	-	10.82	32.82	35.28	26.52
app. <sup>15</sup> N-Immob. kg ha <sup>-1</sup>	-	22.05	6.89	4.56	13.38
%	-	55.13	17.23	11.40	33.45
Düngungs- und Probenahmetermin		26.05.	07.06.	28.06.	16.07.
3. Düngung (60 + 40)		20.00			
<sup>15</sup> N <sub>min</sub> (0-30 cm)		20.00	0.17	0.05	0.05
<sup>15</sup> N-Entzug		-	20.40	16.75	14.96
app. <sup>15</sup> N-Immob. kg ha <sup>-1</sup>		-	(-0.57)	3.20	4.99
%		-	-	16.00	25.00

### LITERATUR

- Peschke H. (1982): Gezielte <sup>15</sup>N-Anreicherung von organischen Düngemitteln für Versuchszwecke. Z Mitt.: Herstellung von <sup>15</sup>N-markierter Gülle. Isotopenpraxis 18.3. 104-106.
- Peschke H.-Markgraf G.-Oberdoerster U.-Schmidt O.-Görlitz H. (1984): Zur Wirkung der Stickstoffdüngung und Beregnung bei Hafer (*Avena sativa* L.) auf sandigen Standorten. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenk. 28.7. 403-409.
- Peschke H. (1985): Transformation von hochmarkiertem Mineraldüngerstickstoff im System Boden - Pflanze auf einer Sand-Rosterde. Wiss. Zeitschr. Humboldt-Univ. Berlin, Math.-Nat. R. XXXI. 6. 530-534.
- Peschke H.-Kretschmann S. (1991): Sukzessive Substitution von <sup>15</sup>N-markiertem Stickstoff in die organische Substanz langjährig extrem gedüngten Dauerversuchsböden der DDR. Roczuiki Gleboznaweze, Warszawa XLII, 3/4. 45-51.
- Peschke H.-Kretschmann S.-Völker D. (1993): <sup>15</sup>N-An- und -Abreicherung organischer Bodensubstanz. Mit. Deutsch. Bodenkundl. Ges. 71. 235-238.

- 
- Peschke H.-Dölling S. (1994): Nachweis des Strohabbaues über die Stickstofffreisetzung aus <sup>15</sup>N-markiertem Stroh. *J. Agronomy and Crop Science* 173. 318-325.
- Peschke H.-Norr C. (1995): Inkorporation von <sup>15</sup>N-isotopmarkiertem Harnstoff in organogene Dünge- und Abfallstoffe während der Rotte. *Isotopes in Environmental and Health studies*. 31. 309-314.
- Peschke H.-Mollenhauer S. (1997): N<sub>min</sub>-Gehalt im Boden, mineralische N-Düngung und N-Entzug von Winterweizen im Internationalen Organischen Stickstoffdauerdüngungsversuch (IOSDV) Berlin-Dahlem. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 161. 9-15.
- Peschke H.-Mollenhauer S. (1999): Einjähriger <sup>15</sup>N-düngungsseitiger Eingriff in das Düngungssystem des Internationalen Organischen Stickstoffdauerdüngungsversuch (IOSDV) Berlin-Dahlem und die Auswirkungen auf die Weizenerträge 1994-1996. *Arch. Acker- Pfl. Boden.* 44. 3-23.
- Peschke H.-Mollenhauer S.-Baumecker M. (2001): Die Wirksamkeit mineralischer Stickstoffdünger-Teilgaben zu Winterroggen auf Sandboden. *Arch. Acker- Pfl. Boden.* 47. 313-331.