

*Aus dem Lehrstuhl für Pflanzenernährung  
 der Technischen Universität München-Weihenstephan*

## Einfluß einer mehrjährigen Strohdüngung mit N-Ausgleich als Kalkstickstoff auf die Stickstoffbilanz in einem Lysimeterversuch

P. SCHWEIGER und A. AMBERGER

Mit 4 Tabellen

Eingegangen am 14. März 1977

### I. Einleitung

Die Strohdüngung ist heute für viele landwirtschaftliche Betriebe die zweckmäßigste Form der Strohbesseitung. Andere Formen der Verwertung wie Einstreu, Verkauf oder Verblemen kommen häufig aus verschiedenen Gründen nicht in Betracht.

Durch eine zusätzliche, mineralische N-Gabe von etwa 1 kg N/dt Stroh ist es bekanntlich möglich, ein hohes Ertragsniveau zu halten bzw. sogar um 5 bis 10% gegenüber „ohne Strohdüngung“ zu verbessern (AMBERGER und AIGNER 1969, AMBERGER und SCHWENGER 1971). Allerdings muß berücksichtigt werden, daß durch diese Maßnahme die N-Zufuhr einer Fruchtfolge mit zwei Drittel Getreideanteil um 50 bis 60 kg N/ha und Jahr erhöht wird. Davon kommen aber im Durchschnitt nur etwa 10 bis 20 kg in Form höherer Entzüge aus dem Boden zurück (KICK und POLERSCHNY 1974). Aus ökonomischer Sicht, aber auch vom Standpunkt des Umweltschutzes, erhebt sich dann die Frage nach dem Verbleib des restlichen Stickstoffs: entstehen höhere Verluste durch Auswaschung und Denitrifikation oder tritt eine Anreicherung im Boden ein?

In der Versuchsstation des Lehrstuhls für Pflanzenernährung in Weihenstephan wurde ein sechsjähriger Lysimeterversuch zu diesen Fragen durchgeführt, über dessen Ergebnisse im folgenden berichtet werden soll.

### II. Daten der Versuchsanstellung

**Lysimeter:** 4 m<sup>2</sup> Oberfläche; 1 m Tiefe; eingefüllter Boden (NIKLAS und SCHROPP 1928) aus verschiedenen Horizonten

**Boden:** Ackerbraunerde  
 Im A<sub>h</sub>-Horizont folgende Kennwerte: pH 6,6; DL: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 6 mg, K<sub>2</sub>O = 5 mg/100 g Boden; Ges. N = 160 mg/100 g Boden (im B-Horizont 50 mg/100 g); C/N = 7,2; Ton (< 2 µ) = 22%; Ab-schlammbar (< 63 µ) = 44%; T-Wert = 20,2 mval/100 g Boden

**Fruchtfolge:** 1966 Karstoffeln  
 1967 Winterweizen  
 1968 Sommergerste  
 1969 Futterrüben  
 1970 Winterweizen  
 1971 Sommergerste

**Düngungsarten (DA):**  
 1. NPK, ohne Stroh  
 2. NPK + 60 dt Stroh/ha (ohne N-Ausgleich)  
 3. NPK + 60 dt Stroh/ha + 60 kg N/ha (Herbst)  
 4. NPK + 60 dt Stroh/ha + 60 kg N/ha (Frühjahr)

Der Stickstoff wurde als technisches Ammonitrat (Grunddüngung) bzw. als Kalkstickstoff (Ausgleichsgabe), Phosphat als Superphosphat und Kalium als 50er Kalisalz gegeben

**Parallelen:** Drei  
 Im Sickerwasser und Boden nach JODLBAUER, im Erntematerial nach KJELDHAL.

**N-Analysen:**

### III. Ergebnisse

#### 1. N-Zufuhr, N-Anreicherung, N-Entzug (Tab. 1)

Die mineralische N-Düngung ist mit 80 kg/ha für Hackfrüchte, 60 für Winterweizen und 40 für Sommergerste absichtlich nicht optimal bemessen worden, um die Wirkung des Ausgleichs-N besser erfassen zu können (Tab. 1).

Tabelle 1 N-Zufuhr durch Niederschläge, mineralische und organische Düngung (kg/ha)  
 N-addition by precipitation, mineral and organic fertilization (kg/ha)

Frucht:	1965 / 66	1966 / 67	1967 / 68	1968 / 69	1969 / 70	1970 / 71	Σ
min. N-Düngung:	Kartoffeln	W. Weizen	S. Gerste	F. Rüben	W. Weizen	S. Gerste	60
N in Niederschlägen:	80	60	40	80	60	40	132
N im Stroh und mineralische Ausgleichsdüngung:	195	14,9	16,6	7,8	10,5	9,9	99
ohne Stroh	-	-	-	-	-	-	-
Stroh o. N-Ausgleich	24	-	24	24	-	24	16
Stroh + N-Ausgleich (Herbst)	84	-	84	84	-	84	56
Stroh + N-Ausgleich (Frühjahr)	84	-	84	84	-	84	56
N-Zufuhr:							
ohne Stroh	99,5	74,9	56,6	87,8	70,5	49,9	73,2
Stroh o. N-Ausgleich	123,5	74,9	80,6	111,8	70,5	73,9	89,2
Stroh + N-Ausgleich (Herbst)	183,5	74,9	140,6	171,8	70,5	133,9	129,2
Stroh + N-Ausgleich (Frühjahr)	183,5	74,9	140,6	171,8	70,5	133,9	129,2

Die N-Zufuhr über die Niederschläge beträgt im sechsjährigen Mittel 13,2 kg/ha. Durch die viertägige Strohdüngung werden dem Boden durchschnittlich 16 kg N/ha und Jahr bzw. zusammen mit dem mineralischen N-Ausgleich 56 kg zugeführt. Die durchschnittliche N-Auswaschung (Tab. 2) der „Strohdüngung ohne N“ (DA2) liegt gegenüber der Kontrolle (ohne Stroh) um 3,9 kg/ha und Jahr tiefer, ein Wert, der insbesondere durch die geringere Auswaschung der Jahre 1965/66 und 1970/71 zustandekommt. Die „Strohdüngung mit N-Ausgleich im Frühjahr“ unterscheidet sich im Durchschnitt von der Kontrolle nur wenig, weist aber in einzelnen Jahren deutlich höhere (1966/67 und 1968/69) bzw. niedrigere (1965/66 und 1970/71) N-Auswaschungen auf. Die „Strohdüngung mit N-Ausgleich im Herbst“ liegt im Durchschnitt etwas höher als alle übrigen Versuchsglieder, vor allem durch die hohen Verluste in den Jahren 1968/69 und 1970/71. Die N-Auswaschung beträgt meistens 20 bis 70 kg/ha und Jahr; lediglich im ersten Jahr nach dem Einfüllen des Lysimeters und in dem niederschlagsreichen und kalten Jahr 1968/69 übersteigen die Auswaschungsraten 100 kg/ha und Jahr.

Tab. 2 N-Verluste durch Auswaschung bzw. Pflanzenentzug (kg/ha)  
N-loss by leaching or plant uptake (kg/ha)

	1965 / 66	1966 / 67	1967 / 68	1968 / 69	1969 / 70	1970 / 71	$\bar{x}$
Auswaschung:							
ohne Stroh	116,7	60,8	45,5	86,7	20,2	39,3	61,5
Stroh $\alpha$ N-Ausgleich	104,6	59,6	44,1	88,7	20,6	27,9	57,6
Stroh + N-Ausgleich (Herbst)	114,1	65,8	44,7	111,5	21,0	42,6	66,6
Stroh + N-Ausgleich (Frühjahr)	102,3	67,8	47,5	109,2	24,4	27,9	63,2
Pflanzenentzug:							
ohne Stroh	149,3	116,6	87,1	174,8	62,0	72,4	110,4
Stroh $\alpha$ N-Ausgleich	157,1	114,5	85,0	169,1	65,5	75,1	111,1
Stroh + N-Ausgleich (Herbst)	155,5	115,2	97,4	194,4	69,6	97,9	121,7
Stroh + N-Ausgleich (Frühjahr)	162,7	125,6	105,7	206,2	73,8	104,3	129,7

Tab. 3 Einfluß der Strohdüngung auf die  
Influence of straw fertilization

Düngungsart	N-Zufuhr	N-Entzug	N-Auswaschung
ohne Stroh	73,2	110,4	61,5
Stroh $\alpha$ N-Ausgleich (Herbst)	89,2	111,1	57,6
Stroh + N-Ausgleich (Herbst)	129,2	121,7	66,6
Stroh + N-Ausgleich (Frühjahr)	129,2	129,2	63,2

\*) Vorrat in der Krume — für die Umrechnung wurden 3 Mill. kg Boden angenommen (1 mg/100 g Boden = 30 kg/ha).

Im durchschnittlichen N-Entzug (Tab. 2) der Kulturpflanzen sind Kontrolle und „Strohdüngung ohne N“ ziemlich gleich. Mit zunehmender Versuchsdauer werden die Unterschiede der Düngungsarten 3 und 4 (Strohdüngung + N-Ausgleich) gegenüber DA1 größer. „Strohdüngung mit N-Ausgleich im Frühjahr“ weist stets die höchsten Entzüge auf.

2. N-Bilanz

Die rechnerische N-Bilanz (= Zufuhr minus Entzug minus Auswaschung) ist in jedem Fall stark negativ (Tab. 3). Die Kontrolle (DA1) weist einen Verlust von etwa 100 kg N/ha und Jahr auf, der somit aus dem Bodenvorrat stammt. Durch „Strohdüngung ohne N“ sinkt dieser Wert auf 80, durch „Strohdüngung mit N-Ausgleich“ sogar auf 60 kg ab, d. h. der Bodenstickstoff wird weniger beansprucht.

Entsprechend der Bodenuntersuchung nimmt der N-Vorrat in der Krume unter dem Einfluß der Bewirtschaftung in sechs Jahren von ursprünglich 160 mg Gesamt-N/100 g Boden auf 130 bis 137 mg ab. Das entspricht — nach Umrechnung über ein Krumengewicht von 3 Mill. kg/ha — einem jährlichen Verlust von 115 bis 150 kg N/ha. Diese Mengen liegen jedoch erheblich über den in der Bilanz errechneten Verlusten von 60 bis 100 kg/ha. Die in der Differenz ausgewiesenen N-Verluste könnten durch Verlagerung in den Unterboden und/oder durch Denitrifikation entstanden sein. Aus den geringen Unterschieden dieser Werte innerhalb der vier Düngungsarten (maximal 5 kg) ist zu schließen, daß die Strohdüngung selbst nur einen unwesentlichen Einfluß auf diese Vorgänge hat.

Mit der Strohdüngung werden jährlich im Durchschnitt 16, mit N-Ausgleich 56 kg N/ha dem Boden zugeführt (Tab. 4). Davon verbleiben nach der Bodenuntersuchung 15 (ohne N-Ausgleich) bzw. 35 kg (mit N-Ausgleich als Kalkstickstoff) in der Krume; das sind zwischen 60 und 90% der zusätzlich zugeführten N-Düngung. Die N-Auswaschung steigt nur nach „Strohdüngung + N-Ausgleich im Herbst“ etwas stärker an, nach „Strohdüngung ohne N-Ausgleich“ liegt sie sogar etwas unter der Kontrolle. Im N-Entzug unterscheiden sich „ohne Stroh“ und „Strohdüngung ohne N“ nicht; hingegen sind die

N-Bilanz 1965—1971 (kg N/ha und Jahr)  
on the N-balance 1965—1971 (kg/ha and year)

Tab. 4

N-Bilanz (Zuf. - Entz. - Ausw.)	Bodenvorrat (Ges. N - mg / 100 g B.)		$\Delta$ Vorrat in <sup>*)</sup> kg / ha u. Jahr	"Differenz" <sup>**)</sup> (kg / ha u. Jahr)
	1965	1971		
-98,7	130	-30	-150	-51,3
-79,5	133	-27	-135	-55,5
-59,1	137	-23	-115	-55,9
-63,7	137	-23	-115	-51,3

\*) "Differenz" ist der Betrag, um den Bodenuntersuchung und N-Bilanz nicht übereinstimmen (siehe Text).

N-Entzüge nach „Strohüngung + N-Ausgleich“ um 11 bzw. 19 kg/ha, entsprechend 20 bzw. 35 % der zusätzlichen N-Gabe, angestiegen.

Tabelle 4 „Verbleib“ der mit der Strohüngung zusätzlich angebrachten N-Gaben (kg N/ha und Jahr)

“Remnants” of the N fertilization which was applied with the straw (kg N/ha and year)

Düngungsart	gegenüber "ohne Stroh"			Anreicherung im Boden
	zusätzliche N-Düngung	Mehr- bzw. Minderauswaschung	Mehr-Entzug	
Stroh ohne N	16	-39	0,7	15
Stroh + N-Ausgleich (Herbst)	56	+5,1	11,3	35
Stroh + N-Ausgleich (Frühjahr)	56	+1,7	19,4	35

#### IV. Diskussion

N-Bilanzen weisen immer Unsicherheiten auf, die durch mangelnde Genauigkeit in der Probenahme, Analyse und Versuchsdurchführung entstehen. Im vorliegenden Fall dürfen nur N-Zufuhr und N-Entzug sowie die N-Auswaschung in eingeschränktem Maße als reale Größen angesehen werden.

Die N-Bestimmung des Bodens kann nur mit einer Genauigkeit von  $\pm 1$  mg/100 g Boden — ohne den Fehler der Probenahme zu berücksichtigen — durchgeführt werden; mit zunehmender Versuchsdauer wird aber dieser Fehler unbedeutender. Entscheidend ist nach unserer Meinung die große Ungenauigkeit, die durch die Umrechnung des N-Gehaltes auf den N-Vorrat des Bodens entsteht. Wir haben, ausgehend von einer Bearbeitungstiefe von 20 cm, 3 Millionen kg Krumengewicht/ha angenommen. Unterstellt man, daß der N-Vorrat unterhalb der Krume sich nicht verändert (was sicherlich angezweifelt werden kann), so würde die gesamte Differenz (Tab. 3) einer Abgabe an die Atmosphäre, speziell durch Denitrifikation, entsprechen. Im vorliegenden Falle wies der Boden zu Versuchsbeginn im B-Horizont einen Gesamt-N-Gehalt von 50 mg/100 g Boden auf. Es ist anzunehmen, daß sich dieser Vorrat nicht vergrößerte, sondern eher verringerte; denn durch das Einfüllen des Lysimeters ist zweifellos eine stärkere Mineralisierung der organischen Substanz ausgelöst worden. Insofern sind die Denitrifikationsverluste sicherlich nicht geringer als sie errechnet wurden.

Die N-Bilanz zeigt eindeutig, daß der durch die Strohüngung mit N-Ausgleich zusätzlich verabreichte Stickstoff überwiegend im Boden festgelegt wird. Mit zunehmender Versuchsdauer deutet sich aber zumindest eine teilweise Rücklieferung des festgelegten Stickstoffs an; denn im dritten Versuchsjahr betragen die Mehrentzüge gegenüber der Kontrolle „ohne Stroh“ 10 bis 20 %, nach sechs Jahren aber mehr als 35 %. Langfristig ist also nach mehrfacher Strohüngung mit höheren Mineralisierungsraten und steigender N-Auswaschung zu rechnen (PRAFF 1963, KÖHNLEIN 1972, SCHWEIGER 1973, AMBER-

GER und SCHWEIGER 1974). Mit steigender Mineralisierungsrate dürfte aber auch die Denitrifikation zunehmen, zumal diese von der Höhe des Nitratspiegels mit abhängt (VÖMLER 1970) und kurzfristig sehr hohe Werte erreichen kann (STRANSON 1972 a, b und c).

Auffällig sind die höheren N-Entzüge der „Strohüngung + N-Ausgleich im Frühjahr“ gegenüber „Strohüngung + N-Ausgleich im Herbst“. Die N-Ausgleichsgabe im Frühjahr kommt daher einer höheren Grunddüngung gleich; sie ist ertragswirksamer als die Herbstgabe, die zu etwas höheren Verlusten in Form der Auswaschung führt.

#### Zusammenfassung

Ein sechsjähriger Lysimeterversuch auf Ackerbraunerde mit und ohne Strohüngung sowie Strohüngung mit N-Ausgleich im Herbst bzw. Frühjahr brachte folgende Ergebnisse:

1. Nach sechsjähriger Strohüngung mit N-Ausgleich im Herbst ist eine etwas höhere N-Auswaschung erkennbar als nach Strohüngung mit N-Ausgleich im Frühjahr; letztere führte dagegen zu etwas höheren Erträgen und N-Entzügen.
2. Der Gesamt-N-Vorrat des Bodens nahm nach sechsjähriger Bewirtschaftung — zweimal Hackfrucht, viermal Getreide — um 15 bis 20 mg/100 g Boden ab; derartig hohe Verluste sind nach Neueinfüllung des Bodens in die Lysimeterbecken nicht verwunderlich.
3. Der mit der Strohüngung zusätzlich ausgebrachte Kalkstickstoff verblieb zu etwa 60 % im Boden (in die organische Substanz bzw. Biomasse eingetaut). Nach Strohüngung mit N-Ausgleich stiegen die N-Entzüge durch die Ernten um 10 bis 20 kg/ha, entsprechend 20 bis 30 % der zugeführten N-Menge an.

#### Summary

The influence of several years of straw application with N-compensation as nitrochalk on the nitrogen balance in a lysimeter experiment

A six year lysimeter experiment was carried out on an arable brown earth with and without straw applications as well as with straw and N compensation made in autumn or spring. The following results were obtained:

1. After six years of straw application with N-compensation applied in autumn, a somewhat higher rate of N leaching was observable than after straw application with N compensation in the spring. This last treatment on the other hand lead to somewhat higher yields and N-spike.
2. The total N-reserve of the soil fell over the six years cultivation period — twice root crops and four times cereals — by 15—20 mg/100 g soil.

- Such high losses are not surprising after recent filling of the soil in the lysimeter containers.
3. About 60 % of the nitrodalk applied to the straw remained in the soil (incorporated into the organic matter). After straw application with N compensation, the N uptake increased through the yield by about 10—20 kg/ha corresponding to a 20—30 % of the added N quantity.

## Literaturverzeichnis

- AMBERGER, A., und H. AIGNER, 1969: Ergebnisse eines 5jährigen Feldversuches mit Strohdüngung. Z. Acker- und Pflanzenbau 130, 291—303.
- , und P. SCHWIEGER, 1971: Zur Wirkung einer kombinierten „Stroh-Gründüngung“ mit Kaliumstickstoff in langjährigen Feldversuchen. Z. Acker- und Pflanzenbau 134, 323—334.
- , und —, 1974: Sickerwassermenge und Stickstoffauswaschung in Lysimeterversuchen. Wasser- und Abwasserforsch. 7, 18—25.
- KICK, H., und H. POLTSCHNY, 1974: Erfahrungen mit langjähriger, kontinuierlicher Strohdüngung. Landw. Forsch. 27, 30/II. Sonderheft, 146—152.
- KÖHNLEIN, J., 1972: Nährstoffauswaschung aus der Ackerkrume bei unterschiedlicher Nutzung und Düngung. Bayer. Landw. Jb. 49, 392—424.
- NIKLAS, H., und W. SCHROPP, 1928: Die Lysimeteranlage des Agrikulturchemischen Instituts der Hochschule Weihenstephan. Fortschr. Landw. 3, 1017—1019.
- PARF, C., 1963: Das Verhalten des Stickstoffs in langjährigen Lysimeterversuchen. Z. Acker- und Pflanzenbau 117, 77—93.
- STEFANSON, R. C., 1972a: Soil denitrification in sealed soil-plant systems. I. Effect of plants, soil water content and soil organic matter content. Plant and Soil 37, 113—127.
- , 1972b: Soil denitrification in sealed soil-plant systems. II. Effect of soil water content and form of applied nitrogen. Plant and Soil 37, 129—140.
- , 1972c: Soil denitrification in sealed soil-plant systems. III. Effect of disturbed and undisturbed soil samples. Plant and Soil 37, 141—149.
- SCHWIEGER, P., 1973: Einfluß von Witterung, Bodeneigenschaften und pflanzenbaulichen Maßnahmen auf Wasserversickerung und Mineralstoffauswaschung im Weihenstephaner Lysimeter. Diss. TU München-Weihenstephan.
- VÖZEL, A., 1970: Nährstoffeinwaschung in den Unterboden und Düngereinstoffumsatz, dargestellt an Kleinlysimeterversuchen. Z. Acker- und Pflanzenbau 132, 207—226.

Anschrift der Verfasser: Dr. P. SCHWIEGER und Prof. Dr. A. AMBERGER, Lehrstuhl für Pflanzenernährung der Technischen Universität München, D-8050 Freising-Weihenstephan.