

(Aus dem Institut für Düngungsforschung Leipzig)

## **Nährstoffbilanzen im Lysimeterversuch mit anlehmigem Sand, Löß und Lehm am Standort Leipzig**

Von A. HANSCHMANN, S. MÜLLER und B. BRIX

(Mit 3 Abbildungen)

### **1. Einleitung**

Die Nährstoffversorgung der Pflanzenbestände muß sich zukünftig noch stärker nach den Verwertungsmöglichkeiten der einzelnen Kulturen richten. Das bedeutet, daß bei Düngungsmaßnahmen mehr als bisher bedarfsgerecht verfahren wird. Im Endeffekt kommt es darauf an, das richtige Verhältnis zwischen Düngung, Ertragswirkung und Rückständen in Boden und Pflanze zu finden (KORTZSCH und LINKE 1988).

Untersuchungen in Lysimetern sind geeignet, derartige Aufgabenstellungen zu bearbeiten. So lassen sich in abgeschlossenen Lysimeterbehältern neben der Erfassung der Nährstoffaufnahme durch die Pflanzen die Nährstoffgehalte im Sickerwasser und im Boden bestimmen. Damit ist es möglich, das Verhältnis von Aufnahme und Auswaschung bzw. Änderung im Bodengehalt nachzuweisen (PFAFF 1965). Gasförmige Zu- und Abgänge bleiben dabei jedoch unberücksichtigt.

Wenn auch CZERATZKI (1973) auf typische Lysimeteereigenarten (Stauzone, höhere Verdunstung, Oaseneffekt) hinweist, haben vereinfachte Bilanzbetrachtungen gewisse Bedeutung erlangt.

Gegenstand einer ersten Arbeit (MÜLLER und Ma. 1991) sind Ergebnisse von Lysimeteruntersuchungen zum Sickerwasser und Nitrataustrag.

In der vorliegenden Arbeit erfolgt weiterführend eine Einschätzung von Aufnahme und Auswaschung in der Vegetationszeit und von jährlichen Bilanzbetrachtungen für N, P, K, Mg und Ca.

### **2. Material und Methoden**

Die 1979 erstellte Lysimeteranlage umfaßt 60 Lysimeter (1 × 1 × 1 m). Die Behälter bestehen aus mit Kaltanstrich beschichtetem Stahl. An der Unterkante der mit Kies gefüllten prismatischen Stauräume wird das Sickerwasser abgeleitet. Die Sickerwasserentnahme erfolgte in 14tägigen Abständen, ebenso die NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Analyse (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ist vernachlässigbar gering). P, K, Mg, Ca wurden in der halbjährlichen Mischprobe untersucht. Weitere Angaben bei MÜLLER und Ma. (1991).

Die Charakteristik der drei Versuchsböden enthält Tabelle 1.

Tabelle 1  
Bodenbeschreibung

	Tieflehm-Fahlerde	Lößschwarzerde	Lößbraunstaugley
Bodenform	anlehmiger Sand	Löß	Lehm
Feinerde < 6µm	11,6	24,0	25,9
C <sub>t</sub> %	0,93	1,52	1,05
N <sub>t</sub> %	0,092	0,168	0,121
Feldkapazität (Vol. %)	12,26	23,48	24,47
pH-Wert (0,1 N KCl)	5,8	6,3	5,9
P doppelaktatlöslich (mg · 100 g <sup>-1</sup> )	4,7	28,2	6,8
K doppelaktatlöslich (mg · 100 g <sup>-1</sup> )	10,7	25,6	17,7
Mg Schachtschabel (mg · 100 g <sup>-1</sup> )	2,3	13,9	12,9

Nachfolgende Übersicht verdeutlicht die in den drei Versuchsjahren angebaute Fruchtarten:

1986	1987	1988
Sommergerste	Futterroggen	Kartoffeln
Kartoffeln	Sommergerste	Körnererbsen/Sommerroggen
Grasland	Kartoffeln	Sommergerste

Die Düngung mit Ammonnitrat, Superphosphat, 60er Kali und Magnesiumsulfat wurde unmittelbar vor der Aussaat wie folgt vorgenommen (Angaben in g · m<sup>-2</sup>):

	N	P	K	Mg
Sommergerste	12	6	12	3
Kartoffeln	12	6	20	3
Grasland	28 (12-8-8)	6	20	3
Futterroggen	12	6	20	3
Körnererbse	8	2	7	2
Sommerroggen	12	2	7	2

Zur Ernte wurde der Trockenmasseertrag der Pflanzen bestimmt. Die Nährstoffuntersuchungen umfassen die Pflanze, das Sickerwasser und den Boden. N wurde in den Pflanzen nach Kjeldahl, P in den Pflanzen und im Sickerwasser mittels Spektralphotometer, K und Ca mittels Flammenphotometer sowie Mg mit dem Atomabsorptionsspektrometer ermittelt. Der NO<sub>3</sub>-Gehalt im Sickerwasser und im Boden wurde colorimetrisch bestimmt. Die Bodenprobenahme erfolgte im Spätherbst und im Frühjahr vor der Aussaat.

Die Witterung der drei Versuchsjahre war unterschiedlich. Im Frühjahr 1986 trat durch Wasserdefizit im Boden eine phänologische Phasenverspätung ein. Nachfolgende Niederschläge und günstige Temperaturverhältnisse förderten anschließend das Wachstum. Es folgte ein kalter Winter. 1987 beeinträchtigten kühle Temperaturen und ergiebige Niederschläge das Pflanzenwachstum, insbesondere das der Hackfrüchte.

1988 traten von Beginn an hohe Temperaturen auf, die eine phänologische Verfrühung bewirkten, später aber in Verbindung mit unternormalen Niederschlägen zu akutem Wassermangel, bis hin zum Erreichen des permanenten Welkepunktes führten.

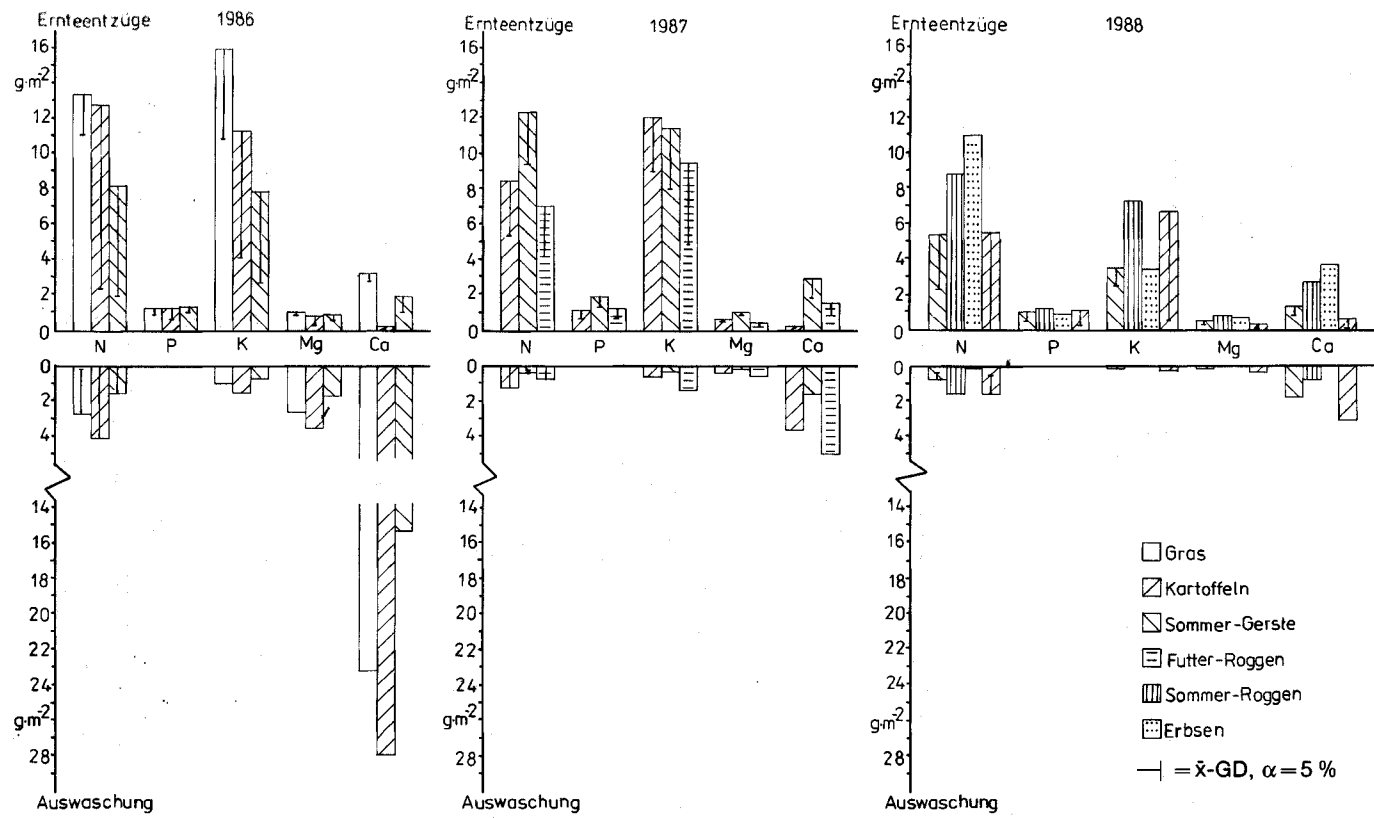


Abb. 1: Ernteentzüge und Auswaschung [ $g \cdot m^{-2}$ ] von Mai bis September im anlehmigen Sand

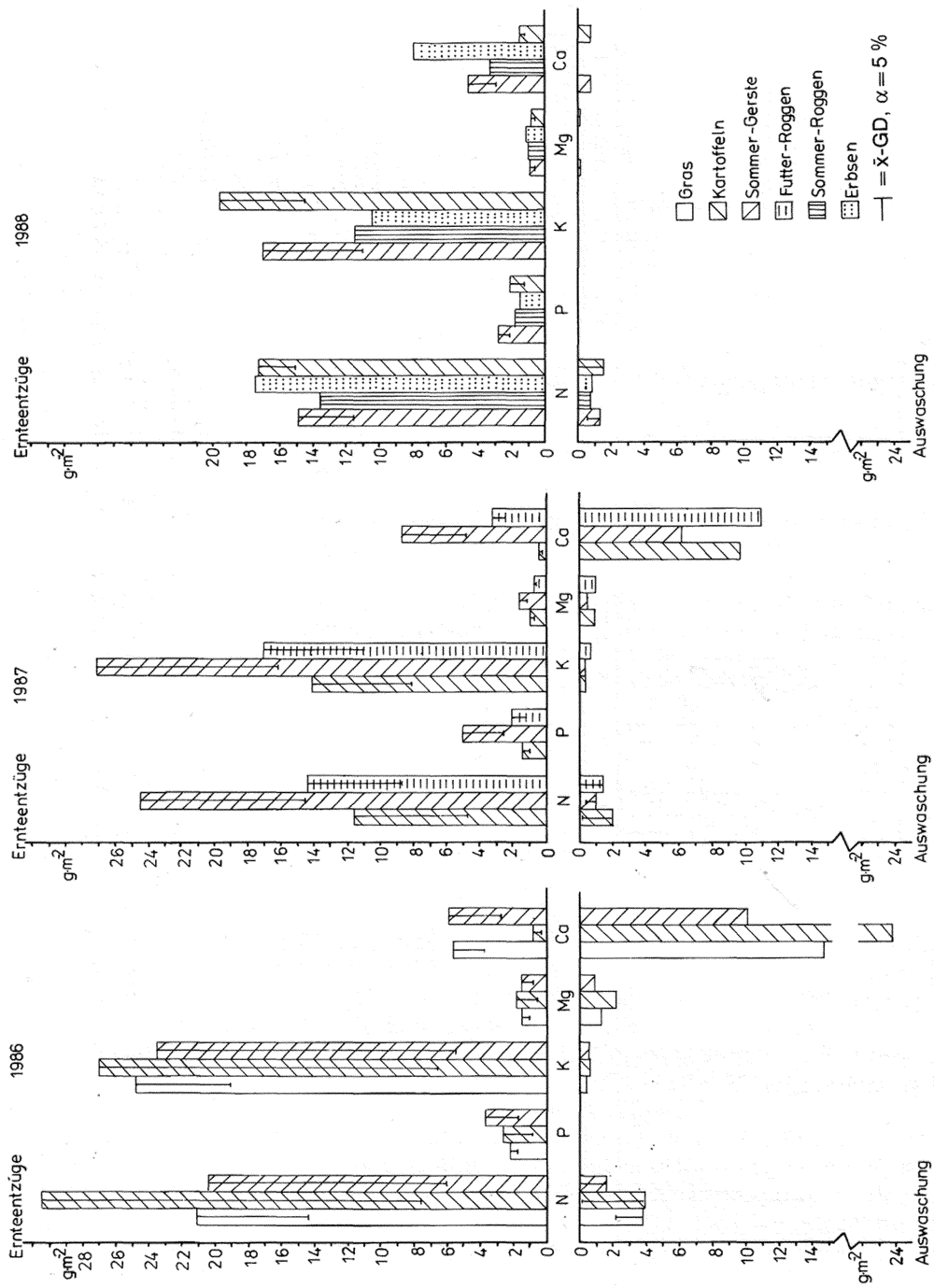


Abb. 2: Ernteentzüge und Auswaschung [ $g \cdot m^{-2}$ ] von Mai bis September im Löß

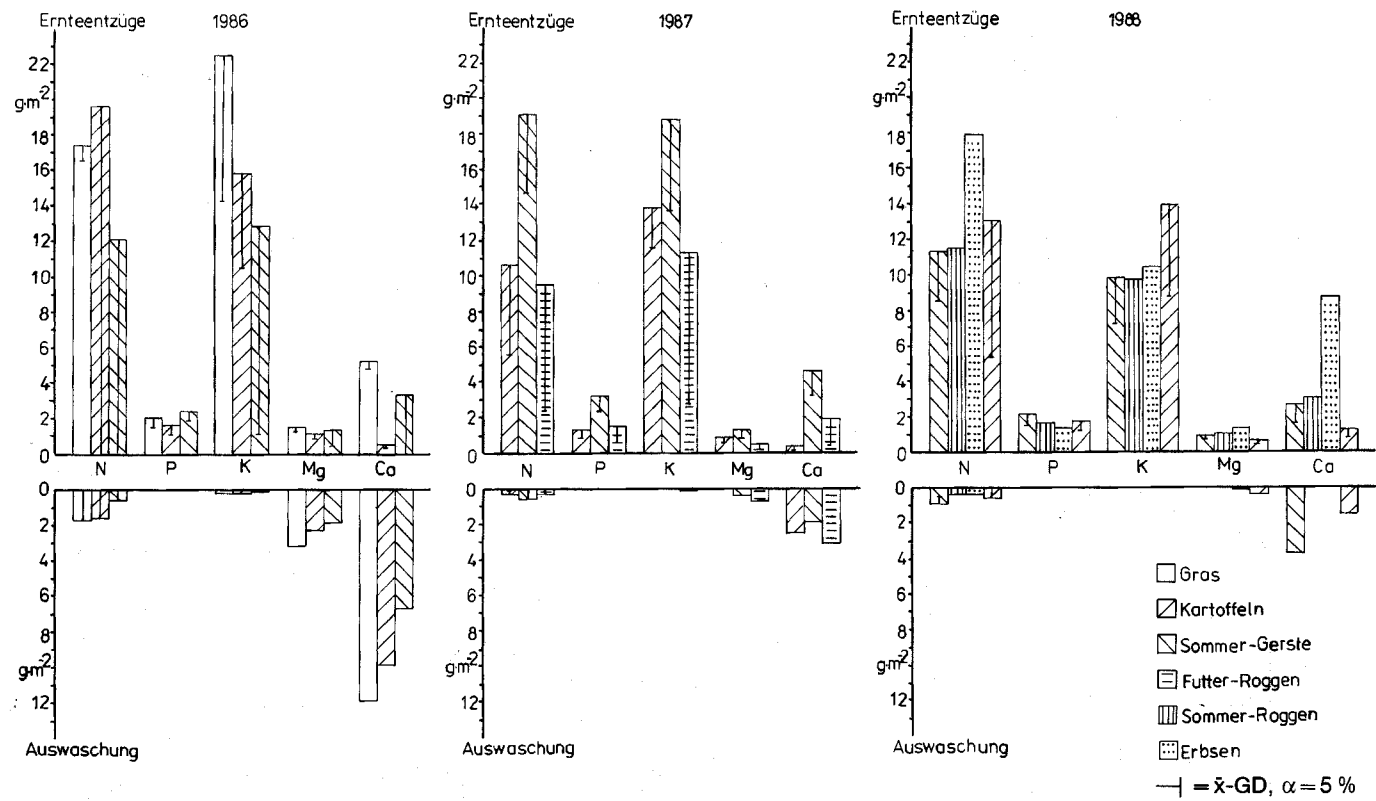


Abb. 3: Ernteentzüge und Auswaschung [ $g \cdot m^{-2}$ ] von Mai bis September im Lehm

### 3. Ergebnisse und Diskussion

In den Abbildungen 1 bis 3 sind die aufgenommenen N-, P-, K-, Ca- und Mg-Mengen den in der Vegetationszeit ausgewaschenen Nährstoffen gegenübergestellt. Dabei übertrifft der Pflanzenentzug fast ausnahmslos die Auswaschung. Die Ursache hierfür ist der niedrige bzw. ganz ausbleibende Sickerwasseranfall durch starken Wasserentzug der Wurzeln.

Von VÖMEL (1966), WEISE (1971) und TIMMERMANN u. Ma. (1975) werden ebenfalls unbedeutende Auswaschungsverluste in der Vegetationszeit festgestellt. Völlig anders verhält es sich in der vegetationslosen Zeit. Hier haben diese Nährstoffverluste einen viel höheren Stellenwert (RICHTER u. Ma. 1978).

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen umfangreiche Kalziumauswaschung (Abb. 1—3). Die Erklärung hierfür könnte in einer lysimeterspezifischen intensiven Mikroorganismen-tätigkeit gesehen werden, die umfangreichen Abbau organischer Substanz, d. h. starke Bildung von CO<sub>2</sub> und auswaschungsgefährdetem Bicarbonat bedingt.

Auch WESSOLEK u. Ma. (1983) und RUSZKOWSKA u. Ma. (1984) ermittelten bedeutende Auswaschungsraten von Kalzium unter bewachsenen Bedingungen.

Tabelle 2

*Varianzen der Nährstoffaufnahme im Lysimeterversuch*

Varianz-Ursache	FG	N MQ	P MQ	K MQ	Mg MQ	Ca MQ
Jahre (A)	2	364,22 +	2,49 +	210,77 +	3,38 +	9,90 +
Fruchtart (B)	1	0,07	30,92 +	0,86	1,18 +	293,31 +
Bodenart (C)	2	1189,49 +	26,06 +	1486,39 +	2,76 +	55,39 +
A × B	2	609,18 +	8,20 +	266,34 +	0,38 +	25,45 +
A × C	4	53,54 +	0,34	64,51 +	0,21 +	0,92
B × C	2	0,30	4,70 +	54,51 +	0,05	33,84 +
A × B × C	4	56,50 +	0,93 +	61,26 +	0,11	2,18 +
Fehler	90	14,45 +	0,23 +	15,79 +	0,05	0,57 +

Faktor A 1986—1988

Faktor B Kartoffeln, Sommergerste

Faktor C lehmiger Sand, Löß, Lehm

+ = signifikant bei p=0,5 % (F-Test)

Tabelle 2 enthält die Varianzen der Nährstoffentzüge. Im mehrfaktoriellen, varianzanalytischen Auswertungsverfahren erlauben die Schätzwerte (MQ) eine Bewertung der Einflußnahme der Haupt- und Wechselwirkungen. Die in der Mehrzahl der Fälle vorhandene statistische Sicherung bestätigt die Überlegenheit des erklärbaren Varianzanteils (Tab. 2). Die Aufnahme-raten der einzelnen Nährstoffe werden unterschiedlich stark von den Hauptwirkungen beeinflusst. Bei Stickstoff und Kalium kommt dem Boden die größte Bedeutung zu. Daran läßt sich besonders der Einfluß der bodenspezifischen Nachlieferung ermessen (Tab. 1).

Dagegen sind die Ca- und P-Entzüge bevorzugt von der angebauten Fruchtart abhängig. Bestätigt wird dies mit den gesichert unterschiedlichen Aufnahme-raten (Abb. 1, 2 und 3).

Im Mittelpunkt der weiteren Bilanzbetrachtungen steht der Stickstoff. Dies erfolgt aufgrund seiner Bedeutung für die Pflanzenernährung und seiner mögli-



chen umweltschädigenden Wirkung ( $\text{NO}_3$ -Eintrag in das Grundwasser, gasförmige  $\text{NH}_3$ -Verluste).

Die Bewertung des Stickstoffs wird durch eine Vielzahl variabler, teilweise schwierig zu quantifizierender Dynamikprozesse und großer Schwankungsbreiten in den Zufuhren erschwert. Nach KÖRSCHENS (1988) ergeben sich durch die Tätigkeit der Mikroorganismen 20 bis  $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ , durch die Symbionten 40 bis  $650 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  und durch den Niederschlag 1 bis  $28 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ . Hinzu kommen die differenzierten Düngermengen.

Für die Bilanzbetrachtung wird über das vorliegende Versuchsmaterial als N-Zufuhr die mineralische Düngung und als N-Ausfuhr die Pflanzenaufnahme und Auswaschung einbezogen.

Die Gegenüberstellung dieser Bilanzposten für die drei Versuchsjahre, die drei Böden und die einzelnen Kulturen erfolgt in Tabelle 3. Die überwiegend auftretenden Minussalden dokumentieren den gegenüber dem Einsatz höheren

Tabelle 4

Jährliche P-, K-, Mg-, Ca-Bilanzen ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ )

Jahr	Bodenart		Zufuhr Düngung	Ausfuhr		Summe	Saldo	
				Pflanze	Sicker- wasser			
1986	anlehm.	P	4	1,23	0,021	1,25	+ 2,75	
		K	13	11,7	3,70	15,4	- 2,40	
		Sand	Mg	3	0,89	7,05	7,94	- 4,94
			Ca	—	1,77	53,9	55,7	- 55,7
	Löß	P	4	2,83	0,058	2,89	+ 1,11	
		K	13	26,1	6,40	32,5	- 19,5	
		Mg	3	1,62	15,2	16,8	- 13,8	
		Ca	—	4,10	157,8	161,9	- 161,9	
	Lehm	P	4	1,89	0,029	1,92	+ 2,08	
		K	13	17,0	1,27	18,3	- 5,30	
		Mg	3	1,33	21,3	22,6	- 19,6	
		Ca	—	2,94	79,4	82,3	- 82,3	
1987	anlehm.	P	4	1,41	0,016	1,43	+ 2,57	
		K	13	10,9	3,80	14,7	- 1,70	
		Sand	Mg	3	0,67	5,26	5,93	- 2,93
			Ca	—	1,55	68,7	70,3	- 70,3
	Löß	P	4	2,85	0,026	2,88	+ 1,12	
		K	13	19,8	5,04	24,8	- 11,8	
		Mg	3	1,03	8,47	9,50	- 6,50	
		Ca	—	4,10	121,9	126,0	- 126,0	
	Lehm	P	4	1,98	0,030	2,01	+ 1,90	
		K	13	14,6	0,73	15,3	- 2,30	
		Mg	3	0,89	9,09	9,98	- 6,98	
		Ca	—	2,31	74,88	77,2	- 77,2	
1988	anlehm.	P	4	1,03	0,098	1,13	- 2,87	
		K	13	6,16	2,56	8,72	+ 4,28	
		Sand	Mg	3	0,51	6,82	7,33	- 4,33
			Ca	—	1,69	44,7	46,4	- 46,4
	Löß	P	4	2,19	0,139	2,33	+ 1,67	
		K	13	17,6	3,23	20,8	- 7,80	
		Mg	3	0,90	6,00	6,90	- 3,90	
		Ca	—	3,88	61,9	65,8	- 65,8	
	Lehm	P	4	1,76	0,019	1,78	+ 2,22	
		K	13	11,7	0,30	12,0	+ 1,00	
		Mg	3	0,88	6,81	7,69	- 4,69	
		Ca	—	3,20	23,4	26,6	- 26,6	



N-Verbrauch. Im Jahres- und Fruchtartendurchschnitt betragen diese im anlehmgigen Sand  $-4,9 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ , im Löß  $-24,0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  und im Lehm  $-8,4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ .

Die darin zum Ausdruck kommenden Bodenunterschiede beweisen ihren unterschiedlichen Fruchtbarkeitszustand (Tab. 3). Gestützt wird diese Aussage durch Erfassung der N-Auswaschung in einer ungedüngten Bracheparzelle. Hierbei werden  $6,5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  (anlehmiger Sand),  $31,3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  (Löß) und  $10,7 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  (Lehm) festgestellt, was auf sachlogische Zusammenhänge schließen läßt.

Die Schätzwerte aus der Bracheparzelle berücksichtigen jedoch nicht einen möglichen „priming effekt“ unter Pflanzenbewuchs und bei Düngung sowie den entweichenden Stickstoff aufgrund N-autotropher Organismen-tätigkeit (REGER 1982, SCHEFFER 1987). Wenn von KÖRSCHENS (1990) etwa  $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  als N-Freisetzungsmenge bei günstigen Mineralisierungsbedingungen in einem mit organischer Substanz ausreichend versorgten Boden genannt wird, ordnen sich die Ergebnisse ein.

Die bilanzmäßige Betrachtung der anderen Nährstoffe erfolgt zusammengefaßt in Tabelle 4. Bei P treten aufgrund vernachlässigbarer Auswaschung und geringer Aufnahme Plussalden auf. Die Minussalden für Kalium ergeben sich aus der hohen Pflanzenaufnahme und für Kalzium und Magnesium aus den umfangreichen Auswaschungsverlusten (Tab. 4).

#### 4. Schlußfolgerungen

Das angewandte Bilanzierungsverfahren weist bei den Hauptnährstoffen auf Zusammenhänge zwischen Pflanzenaufnahme und Auswaschung hin. Besonders Augenmerk gilt dem Stickstoff. Die Bilanzierung des Stickstoffs bestätigt die große Bedeutung des aus dem Boden-Pool freigesetzten Anteiles.

Durch die Maßnahmen der Boden- und Bestandesführung sollen geeignete Anbau- und Düngungsstrategien entwickelt werden. Ziel ist hierbei die Minimierung der Umweltbelastungen bei gleichzeitig hohen Erträgen mit guter Produktqualität.

Die Ergebnisse bestätigen weiterhin, daß die Nährstoffbereitstellung sich insgesamt stärker an der Aufnahmeintensität der einzelnen Fruchtarten orientieren muß, vor allem hinsichtlich Zeitpunkt und Höhe.

#### Zusammenfassung

Basis der erfolgten Bilanzierung von N, P, K, Mg und Ca ist ein dreijähriger Lysimeterversuch mit drei unterschiedlichen Böden und verschiedenen Fruchtarten am Standort Leipzig. Die einbezogenen Bilanzposten sind die Mineraldüngung als Zufuhr und die Aufnahme sowie Auswaschung als Ausfuhr.

Die ermittelten Salden werden von Bodenart, Jahr und angebauter Kultur beeinflusst. Dominierend ist die Bodenabhängigkeit besonders bei Stickstoff und Kalzium. Hier kommen die unterschiedlichen Freisetzungsraten aus dem Bodenvorrat zum Tragen.

In der Vegetation sind die Nährstoffentzüge bestimmend für die Bilanz. Die Ausnahme bildet das Kalzium mit erheblichen Auswaschungen.

#### Nutrient Balances in Lysimeter Experiments on Lightly Loamed Sand, Loess and Loamy Soils at the Leipzig Site

##### Summary

Balances of N, P, K, Mg and Ca are based on a three years lysimeter experiment with three different soils and crops at the Leipzig site.

Balances include the mineral fertilizer use as input and the uptake and leaching of nutrients as output.

Balance values vary in relation to the kind of soils, year and grown crops. The influence of the soil predominates especially on nitrogen and calcium which are released from the soil reserve.

During vegetation time the nutrient removal rates primarily destine the balance, the exception is calcium which is leached out from soils in significant amounts.

### Literatur

- CZERATZKI, W.: Die Stickstoffauswaschung in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion. In: *Landbauforschung Völkenrode — Braunschweig* 23, 1—18, 1973.
- KOITZSCH, R. und M. LINKE: Modellrechnungen zur Beurteilung auswaschungsgefährdeter Zeitspannen für zwei Böden vom Standort D 2 a bzw. Lö 1 a in den Jahren 1952 bis 1985. In: *Stickstoff und Phosphor im System Boden — Dünger — Pflanze*. Tag.-Ber. Sektion Pflanzenproduktion der Humboldt-Universität Berlin, 75—79, 1988.
- KÖRSCHENS, M.: N-Freisetzung und -Ausnutzung in Abhängigkeit vom Humusgehalt im statischen Versuch Lauchstädt. *Zentralbl. f. Mikrobiologie* 143, 215—219, 1988.
- KÖRSCHENS, M.: Stickstoffbereitstellung aus der organischen Substanz und dessen Ausnutzung. *Int. Agrar-Industrie-Zeitschrift* 1, 18—20, 1990.
- MÜLLER, S., A. HANSCHMANN, L. HEINRICH und B. BRIX: Sickerwasser und Nitrataustrag — Lysimeteruntersuchungen für Sand-, Lehm- und Lößboden unter einheitlichen Witterungsbedingungen. *Archiv Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* 35, 199—204, 1991.
- PFAFF, C.: Die Nährstoffbilanz im Wechselspiel von Pflanzenaufnahme, Bodensorption und Auswaschung. In: *Die landwirtschaftliche Versuchsstation Limburgerhof 1914—1964*, BASF. Ludwigshafen am Rhein, 1—28, 1965.
- REGER, G.: Freisetzung und Zufuhr von Nährstoffen durch die Bodennutzung in ihrer Wirkung auf den Landschaftshaushalt: dargestellt am Beispiel der Belastung von Grund- und Oberflächenwasser. Dissertation Universität Gießen, Fachber. Angew. Biologie u. Umweltsicherung, 1982.
- RICHTER, J., H. C. SCHARPF und J. WEHRMANN: Simulation der winterlichen Nitratverlagerung in Böden. *Plant and Soil* 49, 381—393, The Hague 1978.
- RUSZKOWSKA, M., M. WARCHOŁOWA und Z. REBOWSKA: Bilans skadnikow pokarmowych w doswiadczeniu lizymetrycznym (1977—1981): II. Bilans wapnia, magnezu i siarki. In: *Pamiętnik Putawski*. 82, 29—50, Warszawa 1984.
- SCHEFFER, B.: Biochemische Stickstoff-Umsetzung und Stickstoffaustrag. In: *Möglichkeiten zur Minderung des Nitrataustrages bei landbaulicher Bodennutzung: 4. Fortbildungslehrgang Wasser und Boden am 26./27. 2. 1987 in Hildesheim*. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVWK) 1—12, Bonn 1987.
- TIMMERMANN, F., U. FEGER und E. WELTE: Sickerwasserberechnungen und Nährstoffgehaltsmessungen in der abgesaugten Bodenlösung zur Bestimmung der Nährstoffauswaschung auf einem Lößlehmstandort. *Mitteilungen der deutschen bodenkundlichen Gesellschaft* 22, 251—270, 1975.
- VÖMEL, A.: Der Versuch einer Nährstoffbilanz am Beispiel verschiedener Lysimeterböden. *Zeitschrift Acker- und Pflanzenbau* 123, 155—188, 1966.
- WEISE, K.: N-, K-, Ca- und Mg-Auswaschungsverluste aus sandigen Ackerböden in den Jahren 1966—1969. *Archiv Bodenfruchtbarkeit u. Pflanzenprod.* 15, 97—106, Berlin 1971.
- WESSOLEK, G., F. TIMMERMANN und R. R. VAN DER PLOEG: Nährstoffverlagerung und Wasserbilanz einer Braunerde aus Löß-Kolluvium unter Ackernutzung. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 146, 681—689, 1983.

(Manuskript eingelangt am 14. September 1990)

Anschrift der Verfasser:

Dr. Aline HANSCHMANN, Dr. sc. Siegfried MÜLLER, Barbara BRIX, alle Institut für Düngungsforschung Leipzig, Gustav-Kühn-Straße 8, D-O-7022 Leipzig