

SONDERDRUCK

aus

27/II. SONDERHEFT

zur Zeitschrift »Landwirtschaftliche Forschung«

zugleich Zeitschrift des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher
Untersuchungs- und Forschungsanstalten

Herausgegeben von: H. Kick, Bonn; H.-J. Oslage, Braunschweig-Völkensrode; U. Ruge, Hamburg;
F. Scheffer, Göttingen; E. Schlichting, Stuttgart-Hohenheim; L. Schmitt, Darmstadt; W. Wöhlbier, Stuttgart-Hohenheim

**Stand und Leistung
agrikulturchemischer und
agrarbiologischer Forschung
XXIII**



J. D. SAUERLÄNDER'S VERLAG, FRANKFURT AM MAIN

Der Aussagewert der verschiedenen Analysemethoden für „potentiell pflanzenverfügbaren Stickstoff“ in Ackerböden

(Aus dem Institut für Bodenfruchtbarkeit, Haren, Gr., Niederlande)

Von H. VAN DIJK *)

Einleitung

Schon mehrere Jahrzehnte lang sind in der ganzen Welt Analytiker bestrebt, Methoden zu entwickeln, um die Menge an „potentiell pflanzenverfügbaren Stickstoff im Boden“ zu bestimmen. Hierunter versteht man dann meistens die zu erwartende Menge an Stickstoff, die im Laufe einer Vegetationsperiode bei der Mineralisierung von organischer Substanz freikommt. Das Hauptziel dabei ist, zu einer besseren Vorhersage der zusätzlich noch zu verabreichenden Menge an Düngersstickstoff zu kommen.

Veranlassung zu dieser Suche nach Methoden ist die Feststellung, daß die Abbaugeschwindigkeit der organischen Substanz und damit verbunden die Mineralstickstofflieferung in verschiedenen Böden sehr verschieden sein kann. Diese zeigte sich nämlich abhängig von Bodenfaktoren, wie z. B. pH, Entwässerung, Düngung und besonders auch von der Benutzungsweise (Ackerbau, Grünland, Forstwirtschaft), und damit von Art und Beschaffenheit der organischen Substanz selbst.

Sehr vieles hierüber ist zu finden in der von HARMSSEN und VAN SCHREVEN (1) in 1955 gegebenen umfassenden Literaturübersicht. Auch nach 1955 ist hierüber noch eine Anzahl von Veröffentlichungen erschienen. Um nur einige zu nennen: HARMSSEN (2) und WELCH und BARTHOLOMEW (3) weisen auf den Einfluß der Entwässerung hin, ZÖTTL (4 u. 5) und GALLAGHER und BARTHOLOMEW (6) auf den des pH, SMITH (7), SIMS und BLACKMON (8) und GASSER (9) auf den der Vor-

Tab. 1
Stickstoff-Mineralisation während der Inkubation bei verschiedenen Sandböden
(Ackerbau; $A_{1(p)}$ -Horizont)

	25 braune Gleyböden	21 schwarze Plaggenböden	30 Heidehumus- podsole	30 Fehnkultur- böden (Torf-Sand- Mischböden)
org. Substanz (Gew. %)	3,8 (1,9 - 5,3)	6,0 (4,6 - 9,2)	6,9 (2,9 - 12,7)	17,0 (7,6 - 38,0)
Gesamt-N (Gew. %)	0,15 (0,10 - 0,21)	0,19 (0,15 - 0,26)	0,15 (0,08 - 0,25)	0,37 (0,15 - 0,88)
C/N	12 (8 - 18)	17 (14 - 20)	22 (15 - 28)	24 (17 - 38)
Mineralisiert während 30 Tagen Inkubation:				
mg N/kg Boden	33 (18 - 59)	26 (10 - 42)	23 (8 - 34)	40 (6 - 69)
mg N/100 g org. Subst.	90 (60 - 160)	43 (18 - 81)	36 (12 - 75)	24 (6 - 40)
% von N_t	2,3 (1,5 - 3,6)	1,3 (0,6 - 2,5)	1,6 (0,6 - 2,4)	1,1 (0,4 - 1,7)

(Werte zwischen Klammern sind die gefundenen Extremwerte)

*) Dr. H. VAN DIJK, Oosterweg 92, Haren-Gr. / Niederlande

frucht, ZÖTTL (4 u. 5), NIESCHLAG (10), VAN DIJK (11) und JONES und PARSONS (12) auf den der Art des organischen Materials, charakterisiert durch das C/N-Verhältnis. Es sei weiter auch verwiesen nach mehreren Beiträgen des Symposiums „Nitrogen in soil“ (13).

Aus der Literatur geht hervor, daß Art und Zersetzungsbedingungen des organischen Materials bei Waldböden, Grasland und Ackerböden derart verschieden sind, daß gleiche Analysenergebnisse nicht die gleiche Bedeutung haben. Wo zudem das Bedürfnis an einer Vorhersage der anzuwendenden Stickstoffdüngung vorwiegend im Ackerbau besteht und fast alle Untersuchungen deswegen auch darauf gerichtet wurden, werden wir uns im weiteren auf Ackerböden beschränken. Daß auch dort die Abbaugeschwindigkeit der organischen Substanz noch sehr unterschiedlich sein kann, wird deutlich illustriert in der Tabelle 1, entnommen aus VAN DIJK (11), welche sich auf niederländische Sandböden bezieht.

Die beiden untersten Zeilen der Tabelle zeigen die großen Unterschiede in der Stickstoffmineralisierung während 30 Tagen Inkubation — berechnet pro 100 Gramm organischer Substanz bzw. in Prozenten des Gesamtstickstoffs — sowohl zwischen den Boden- gruppen als auch innerhalb einer Bodengruppe. Das bedeutet also, daß weder der Gehalt an organischer Substanz noch der an Gesamtstickstoff als Einzelzahl bei diesen Böden genügend Anhalt zu einer Vorhersage der Stickstoffmineralisierung bietet.

Wie ist nun der Stand bei der Suche nach Methoden, die in dieser Beziehung eine bessere Aussage gestatten?

Methoden

Die vorgeschlagenen Methoden sind zu verteilen in rein chemische Direktbestimmungen und in Messungen der Stickstoffmineralisation in Brutversuchen.

Die Literatur bis 1965 ist umfassend behandelt durch BREMNER (14). Über chemische Bestimmungen von spezifischen Stickstoff-Fractionen sind seitdem noch Veröffentlichungen erschienen von KEENEY und BREMNER (15 u. 16), CORNFORTH (17), PRASAD (18), GOSH (19), SMITH (7), HOYT (20), JENKINSON (21) u. a. Von den seit 1965 erschienenen Veröffentlichungen über Varianten bei der Messung der Stickstoffmineralisation in Brutversuchen können u. a. genannt werden die von OZUS und HANWAY (22), SMITH (7), SIMS und Mitarbeitern (23), KEENEY und BREMNER (16 u. 24), JENKINSON (21), VAN SCHREVEN (25), RYAN und Mitarbeitern (26). Man sehe weiter auch die am Anfang schon erwähnte Literatur.

Fast alle Autoren sind sich darüber einig, daß die Messung der Stickstoffmineralisation in Brutversuchen *a priori* die meist „naturnahe“ Methode ist, um den pflanzenverfügbaren Stickstoff im Boden abzuschätzen. Es hat sich in der Bodenuntersuchung schon öfters gezeigt, daß mit chemischen Reagentien die Mikrobentätigkeit nicht exakt zu erfassen ist. Ein prinzipielles Bedenken gegen jede chemische Bestimmung ist, daß diese nicht eine etwaige Wiederfestlegung von anorganischem Stickstoff in organische Verbindungen berücksichtigt. So beeinflusst die Zugabe von Stroh bei verschiedenen chemischen Bestimmungen das Ergebnis kaum, obwohl den Pflanzen dadurch (zeitweilig) gar kein Stickstoff zur Verfügung stehen kann.

Der Vorteil der chemischen Methoden liegt in ihrer einfachen und schnellen Durchführbarkeit und oft größeren Unempfindlichkeit, was die Vorbehandlung der Proben betrifft. Die Inkubationsmethoden fordern mindestens eine Woche und zudem eine rigore Standardisierung der Probenvorbehandlung und der Inkubationsumstände um zu reproduzierbaren Werten zu kommen. Dazu kommt, daß die Mineralisationsgeschwindigkeit sich stark abhängig erwiesen hat vom Zeitpunkt der Probenahme. Um zu vergleichbaren Daten zu kommen, müssen die Proben in derselben Jahreszeit, am besten im Frühjahr, genommen werden.

Ergebnisse

Die in der Literatur erwähnten Ergebnisse, wobei verschiedene Methoden verglichen wurden, stimmen nur in wenigen Fällen gut überein. Nun muß leider auch gesagt werden, daß nur in wenigen Fällen die verschiedenen Untersucher die Bestimmungen, einschließlich Zeitpunkt der Probenahme und Vorbehandlung der Proben, in Einzelheiten gleich durchgeführt haben.

Mehrere Untersucher haben die Brauchbarkeit von den chemischen Methoden nur abgeschätzt an deren Korrelationen mit der Stickstoffmineralisation während Inkubation. Schlüsse hinsichtlich der Menge an pflanzenverfügbarem Stickstoff dürfen aber daraus nicht ohne weiteres gezogen werden. Dafür braucht man Gefäß- und Feldversuche, wobei die Stickstoffaufnahme durch die Pflanzen oder die damit eng korrelierte Trockensubstanzbildung als „Referenz“ genommen wird. Wo diese Versuche gemacht wurden, hat sich die Inkubationsmethode durchaus nicht bei allen Böden und Gewächsen als die beste bewährt.

Den heutigen Stand unserer Kenntnis in Bezug auf den Aussagewert verschiedener Bestimmungsmethoden für pflanzenverfügbaren Stickstoff bei Ackerböden haben wir versucht in der Tabelle 2 zu charakterisieren, wo die Ergebnisse einer Anzahl von Gefäßversuchen zusammengefaßt werden.

Bei JENKINSON (21) sind die Korrelationskoeffizienten für die Böden 29 bis 42 und 15 bis 28 etwa gleich und alle sehr hoch. Da macht es also nichts aus, welche Methode man wählt. Dasselbe gilt für die Marschböden von DE HAAN, die alle aus demselben Polder stammen (unveröffentlichte Versuchsergebnisse unseres Instituts).

Bei den Böden 1 bis 14 von JENKINSON (21) gehen die r -Werte stark auseinander und schneidet die (aerobe) Bestimmung der Stickstoffmineralisierung (Δ min N) als bester und Gesamtstickstoffgehalt als schlechtester ab. (JENKINSON vermutet, daß diese Böden mehr heterogen sind als die Nummern 15 bis 42.) „Glukose“ im Baryextrakt (als Maß für die Mikrobenaktivität) und mit heißem Wasser extrahierter Stickstoff nehmen eine Zwischenstellung ein. Bei JONES und PARSONS (12) dagegen, die tatsächlich eine sehr heterogene Bodenserie untersuchten, lieferte der Gesamtstickstoffgehalt den höchsten r -Wert, und war somit viel besser als die der (anaerobe) Mineralisationsbestimmung.

Der Korrelationskoeffizient für Gesamtstickstoff war bei den 94 Tonböden verschiedener Herkunft in den Versuchen von DE HAAN viel niedriger als bei den mehr einheitlichen Marschböden. Die höchste Korrelation ergab hier die Organische-Stoff-Fraktion, zusammen mit der Mineralteilchenfraktion kleiner als $20 \mu\text{m}$ erhalten bei der Abschlammung von Böden, die nicht mit einem Oxydationsmittel vorbehandelt wurden.

Bei den 76 Sandböden, obwohl sehr heterogen, war der r -Wert für Gesamtstickstoff doch erheblich höher als bei den 94 Tonböden, dagegen der r -Wert für % organische Substanz „ $< 20 \mu\text{m}$ “ viel kleiner. Die Stickstoffmineralisation wurde hier berechnet nach einer früher für diese Böden gefundenen Formel (11) aus dem Gesamtstickstoffgehalt und dem C/N-Verhältnis, was nur eine leichte Verbesserung gibt gegenüber dem r -Wert für Gesamtstickstoff allein.

Der Zusammenhang mit dem heißwasserextrahierten Stickstoff (Methode KEENEY und BREMNER, 16) war hier relativ sehr niedrig. Dabei kann bemerkt werden, daß wir bei diesen Sandböden (110 Proben) einen gut gesicherten, gradlinigen Zusammenhang fanden ($y = 0,96 x - 15$; $r = 0,86$) zwischen aerober Stickstoffmineralisation während 30 Tagen Inkubation (y) und Gehalt an heißwasserextrahierbarem Stickstoff (x). Das weist also nicht darauf hin, daß ein r -Wert höher als 0,71 gefunden wäre, wenn bei den am Gefäßversuch von DE HAAN beteiligten Sandböden die Stickstoffmineralisation tatsächlich bestimmt worden war.

Tab. 2
 Korrelationskoeffizienten für den Zusammenhang zwischen Kennwerten des
 »potentiell verfügbaren Stickstoffs« und N-Aufnahme bzw. Ertrag von Gewächsen

	% org. Substanz	% Gesamt-N	Δ min N (aerob)	*Glukose* Baryt- extr.	mit heißem Wasser extr. N	% org. Subst. » $< 20 \mu m$ «	C/N
JENKINSON (21):							
N-Aufnahme 3 Schnitte Raigras							
Boden Nr. 29 - 42		0,90**	0,91**	0,93**			
15 - 28		0,86**	0,85**	0,84**			
1 - 14	0,54*	0,34	0,84**	0,70**	0,65*		
DE HAAN (unveröffentlichte Versuchsergebnisse):							
Trockensubstanz 3 <i>Brassica napra</i>							
60 Marschböden Joh. Kerkhovnpolder	0,96***	0,96***				0,95***	
94 Tonböden verschiedener Herkunft	0,53***	0,56***				0,77***	
76 Sandböden verschiedener Herkunft	0,58***	0,69***	+) 0,71***		0,37**	0,51***	
JONES und PARSONS (12):							
N-Aufnahme Mais			(anaerob)				
25 sehr verschiedene Böden	0,69***	0,81***	0,56**				- - 0,17

+) berechnet nach VAN DIJK (11)

Interessante Ergebnisse erhielten GALLAGHER und BARTHOLOMEW (6) in einem Gefäßversuch mit Hirse bei einer Serie von heterogenen Böden. Die Berechnung des multiplen Korrelationskoeffizienten R ergab einen Wert von 0,81, wenn Gesamtstickstoff und pH-Wert in die Regressionsvergleiche einbezogen wurden. Dieser Wert konnte durch zusätzliche Einbeziehung der Nitratbildung während der Inkubation kaum noch erhöht werden. Würde nur diese zusammen mit dem pH-Wert in die Regressionsberechnung einbezogen, so ergab sich ein R-Wert von nur 0,67!

Daß für die Unterschiede in den Ergebnissen der Gefäßversuche die Wahl des Versuchsgewächses mit verantwortlich sein kann, liegt auf der Hand. Dabei verdient besonders die Länge der Wachstumsperiode Beachtung. Es spricht für sich, daß z. B. der erste Schnitt von Raigras enger als der Ertrag an z. B. Kartoffelknollen mit der schon vorhandenen Menge an Mineralstickstoff korreliert ist.

In der Literatur sind nur wenige Versuche beschrieben worden, bei denen Laborbestimmungen des „potentiell pflanzenverfügbaren Stickstoffs“ mit Feldversuchsergebnissen verglichen wurden. CARPENTER et al. (27) erwähnen einen statistisch gesicherten Zusammenhang zwischen dem Weizenertrag und dem Gehalt an Gesamtstickstoff. Die Böden gehörten allerdings zu einem Typ, aber Fruchtfolge und Kulturmaßnahmen waren schon seit 33 Jahren verschieden.

KUIPERS (28) fand nur bei homogenen Bodengruppen einen statistisch gesicherten Zusammenhang zwischen Stickstoffeffekt bei Zuckerrüben und Stickstoffmineralisation im Brutversuch. Gesamtstickstoff wurde leider nicht bestimmt.

JENKINSON (21) berichtet über 36 Feldversuche (in mehreren Jahren) mit Gerste. Die Korrelationskoeffizienten zwischen Ertrag und Gesamtstickstoff- bzw. Stickstoffmineralisation im Brutversuch und „Glukose“ im Barytextrakt waren 0,72; 0,68 und 0,83. Bei Kartoffeln fand GASSER (29) allerdings erheblich niedrigere r-Werte, nämlich für Gesamtstickstoff nur 0,12 und für die Stickstoffmineralisation im Brutversuch 0,47.

Ergebnisse der Internationalen Stickstoffdüngungsversuche auf diluvialen Sandböden im Oldenburger Raum mit Hafer veranlassen NIESCHLAG (10) zur Schlussfolgerung, daß die Ertragsfähigkeit dieser Böden abhängt vom Tongehalt, vom Gesamtstickstoffvorrat und vom C/N-Verhältnis als Ausdruck der Humusqualität.

Schlußbetrachtung

Die Literatur überblickend bekommt man den Eindruck, daß nur innerhalb derjenigen Bodengruppen, in denen bezüglich Art und Zersetzungszustand der organischen Substanz und Lebensbedingungen für die Mikroflora eine weitgehende Einheitlichkeit besteht, die Mineralisationspotenz mit ausreichender Genauigkeit im Labor durch eine Analyse ermittelt werden kann. Welche Methode man dafür wählt, ist ziemlich gleichgültig, u. a. kann hierfür die Bestimmung des Gesamtstickstoffgehaltes dienen.

Bei mehr heterogenen Bodengruppen, mit verschiedener Art des Humus wird die Mineralisationspotenz nur annähernd gekennzeichnet durch Gesamtstickstoffgehalt zusammen mit dem C/N-Verhältnis. Von Parzelle zu Parzelle kann die Streuung groß sein, wie Tabelle 1 deutlich zeigt. Jedenfalls ist von keiner der anderen in der Literatur empfohlenen Methoden bis jetzt eindeutig nachgewiesen, daß diese auf der ganzen Linie aufschlußreicher sind.

Unterschiede in der Mineralisation im Felde werden da oft auch durch andere Unterschiede in den Lebensbedingungen der Mikroben, wie pH-Wert und Entwässerung, verursacht. Wie diese sich quantitativ in der Mineralisation auswirken, ist noch ungenügend erforscht. Daß bei einer Abschätzung der Mineralisation im Felde auch die Mächtigkeit der humosen Schicht in Betracht genommen werden muß, liegt auf der Hand.

Auch wenn die Mineralisationspotenz genau bestimmt werden könnte, so wäre damit noch nicht eine zuverlässige Beratung hinsichtlich der zu verabreichende Menge an Düngerstickstoff gegeben. Die Menge an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Boden ist die Resultante eines dynamischen Prozesses, für welchen die Witterung von ausschlaggebender Bedeutung ist. Aus dem in Inkubationsversuchen gefundenen Zusammenhang zwischen Temperatur und Mineralisation und den Jahresschwankungen in der mittleren Temperatur in Holland in den Monaten April, Mai und Juni (in der Periode 1961 - 1967 3,6 bzw. 5,0 und 3,5 ° C) lassen sich Mineralisationsunterschiede abschätzen von 7, bzw. 12 und 30% des Höchstwertes.

Bekanntlich spielt bei der Stickstoffmineralisierung auch der Wassergehalt eine sehr große Rolle. In Dürreperioden kann im Extremfall die Mineralisation auf etwa 10% des Höchstwertes zurückfallen.

Stickstoff kann auch durch Auswaschung oder Denitrifizierung verloren gehen oder kapillar aus tieferen Schichten aufsteigen. Diese Prozesse haben in Gebieten mit wechselnden und zuweilen recht regenreichen Sommern oft einen relativ großen Einfluß auf den Stickstoffhaushalt des Bodens (30, 31 u. 32). Wo die Witterung (noch) nicht auf längere Frist mit genügender Zuverlässigkeit vorhergesagt werden kann, drängt sich die Frage auf, ob in dieser Situation die verbissene Suche nach besseren Methoden für die Bestimmung der Mineralisationspotenz sinnvoll ist.

Auf Grund langjähriger Studien von VAN DER PAAUW (u. a. 33) werden in den Niederlanden den Bauern im Frühjahr Empfehlungen gegeben hinsichtlich der, infolge der Witterungsverhältnisse des vorangehenden Winters auf den „normalen“ Gaben einzusparenden oder auch extra zu verabreichenden Mengen an Düngerstickstoff. Die Größe der „normalen“ Gaben wird der Erfahrung der Bauern überlassen. Ein auch in den folgenden Monaten Weiterverfolgen der Dynamik des Mineralstickstoffes im Bodenprofil — mittels direkten Bestimmungen oder errechnet mit Hilfe der Simulationstechnik (34) — wird es ermöglichen, auch während der Vegetationsperiode Empfehlungen über eine zusätzliche Stickstoffdüngung zu geben. Das Ziel — eine mehr ausgeglichene Pflanzenernährung — könnte auf diesem Wege vielleicht besser erreicht werden.

Zusammenfassung

Der für die Pflanzen während der Wachstumsperiode verfügbare mineralische Stickstoff im Boden besteht hauptsächlich aus: bei der Probenahme vorhandener mineraler N + aus der organischen Substanz freikommender N + Dünger-N — Auswaschungsverluste — Denitrifizierungsverluste. Außer Dünger-N sind in dieser Gleichung alle Komponenten witterungsabhängig.

Besonders an der Ermittlung der zweiten Komponente wurde von vielen Forschern gearbeitet mit dem Ziel, zu einer besseren Beratung für die Stickstoffdüngung zu kommen.

Anscheinend läßt sich die Mineralisationspotenz nur bei sehr einheitlichen Bodenruppen im Labor durch eine Analyse mit befriedigender Genauigkeit ermitteln. Welche Methode man dafür wählt, ist ziemlich gleichgültig, z. B. kann dafür der Gesamtstickstoffgehalt dienen.

Aus den Versuchen von verschiedenen Forschern kommt bei heterogenen Bodenserien nicht eine bestimmte Methode eindeutig als die beste nach vorne. Im Durchschnitt schneidet der Gesamt-Stickstoffgehalt, eventuell unter Berücksichtigung des C/N-Verhältnisses, nicht schlechter ab als die oft als beste empfohlene, aber arbeitsintensive Bestimmung der Mineralisation im Brutversuch.

Zum Zwecke der Düngerberatung wird es bei diesem Stande unserer Kenntnis und weil außerdem die Witterung noch nicht auf längere Frist vorhergesagt werden kann,

als mehr sinnvoll gesehen die Stickstoffdynamik im Bodenprofil regelmäßig zu verfolgen. Das eröffnet die Möglichkeit, um, wenn die Angabe des Düngerbedürfnisses im Frühjahr sich nachher als zu knapp erweist, noch eine Nachdüngung zu empfehlen.

Summary

DIJK, H. VAN: *Der Aussagewert der verschiedenen Analysenmethoden für „potentiell pflanzenverfügbaren Stickstoff“ in Ackerböden. The informational value of various analytical methods for "potentially available nitrogen" in arable soils.*

The amount of mineral nitrogen in the soil, available to the plants during their growth period, mainly consists of: mineral nitrogen already present + nitrogen mineralizable from the organic matter + fertilizer nitrogen — leaching losses — denitrification losses. With the exception of fertilizer nitrogen all terms in this equation are dependent on weather conditions.

Particularly the second term has been the research subject of many investigators, for the ultimate purpose of providing a better advisory basis for the fertilization with nitrogen.

It is apparently possible to determine the mineralization potential by means of single analyse in the laboratory with satisfactory accuracy in the case of very uniform soils. Which method is chosen is rather immaterial; the total-nitrogen content will do, for example.

From the experiments of different investigators with heterogeneous soil series no distinct method unambiguously emerges as the best one. Generally, the total-nitrogen content is just as good as the laborious determination of the mineralization during incubation, which is often recommended as the best method. In some cases the correlation of total nitrogen with yield is improved by making allowance for the carbon-nitrogen ratio.

Since also long-range weather forecasts are still unreliable, it would be more sensible to follow the nitrogen dynamics in the soil profile continuously, either by direct determination or by a simulation technique. This opens the possibility of giving supplementary recommendation for nitrogen fertilization at any time during the season.

Schrifttum

1. HARMSEN, G. W. u. D. A. VAN SCHREVEN: *Advances in Agronomy VII* (E. G. NORMAN, Ed.). Academy Press, New York, 1955, S. 299
2. HARMSEN, G. W.: *Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkde.* 84, 98, 1959
3. WELCH, C. D. u. W. V. BARTHOLOMEW: *Agron. J.* 55, 441, 1963
4. ZÖTTL, H.: *Plant a. Soil* 13, 183, 1960
5. ZÖTTL, H.: *Plant a. Soil* 13, 207, 1960
6. GALLAGHER, P. A. u. W. V. BARTHOLOMEW: *Agron. J.* 56, 179, 1964
7. SMITH, J. A.: *Can. Soil Sci.* 46, 185, 1966
8. SIMS, J. L. u. B. G. BLACKMON: *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 31, 676, 1967
9. GASSER, J. K. R.: *Stikstof*, Nr. 12, 132, 1968
10. NIESCHLAG, F.: *Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkde.* 109, 177, 1965
11. DIJK, H. VAN: *Stikstof*, Nr. 12, 89, 1968
12. JONES, M. J. u. J. W. PARSONS: *Plant a. Soil* 32, 258, 1970
13. „Nitrogen in Soil“, *Stikstof*, Nr. 12, 1968
14. BREMNER, J. M.: *Methods of Soil Analysis, Part 2* (C. A. BLACK, Ed.-in-chief). Am. Soc. Agron., Madison, 1965, S. 1324
15. KEENEY, D. R. u. J. M. BREMNER: *Nature*, 211, 892, 1966
16. KEENEY, D. R. u. J. M. BREMNER: *Agron. J.* 58, 498, 1966

17. COMFORTH, I. S.: *Exp. Agric.* 4, 193, 1968
18. PRASAD, N.: *Plant a. Soil* 23, 261, 1965
19. GOSH, P. C.: *Plant a. Soil* 25, 65, 1966
20. HOYT, P. B.: *Plant a. Soil* 26, 5, 1967
21. JENKINSON, D. S.: *J. Sci. Fd Agric.* 19, 160, 1968
22. OZUS, T. u. J. J. HANWAY: *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 30, 224, 1966
23. SIMS, J. L., J. P. WELLS u. D. L. TACKETT: *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 31, 672, 1967
24. KEENEY, D. R. u. J. M. BREMNER: *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 31, 34, 1967
25. SCHREVEN, D. A. VAN: *Plant a. Soil* 29, 170, 1968.
26. RYAN, J. A., J. L. SIMS u. D. E. PEASLEE: *Agron. J.* 63, 48, 1971
27. CARPENTER, R. W., H. J. HAAS u. E. F. MILES: *Agron. J.* 44, 420, 1952
28. KUIPERS, H.: *Versl. Landbouwk. Onderz.* No. 61, 9, 1955
29. GASSER, J. K. R.: *J. Sci. Fd Agric.* 12, 562, 1961
30. HARMSSEN, G. W.: *Landwirtsch. Forsch.*, 15. Sonderheft, 61, 1961
31. HARMSSEN, G. W. u. G. J. KOLENBRANDER: *Soil Nitrogen, Agronomy Nr. 10* (W. V. BARTHOLOMEV u. F. E. CLARK, Eds). *Am. Soc. Agron.*, Madison, 1965, S. 43
32. ALLISON, F. E.: *Ibid.*, S. 573
33. PAAUW, F. VAN DER: *Plant a. Soil* 16, 361, 1962
34. FERRARI, TH. J.: *Neth. J. Agric. Sci.*, 1972 (im Druck).

SONDERHEFTE ZUR „LANDWIRTSCHAFTLICHEN FORSCHUNG“

3. Sonderheft:
Justus v. Liebig im Lichte der Forschung des 20. Jahrhunderts
1953. 30 Seiten mit einer Kunstdrucktafel. Kartoniert DM 3,60
5. Sonderheft:
Forschungen im Dienste der Tierernährung
1954. 75 Seiten mit zahlreichen Tab. u. graph. Darstellungen. Kart. DM 8,—
6. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer Forschung II
1955. 156 Seiten mit 57 Abb. und 55 Tab. Kartoniert DM 18,80
7. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer Forschung III
1956. 161 Seiten mit 32 Abb. und 70 Tab. Kartoniert DM 19,80
8. Sonderheft:
Pflanzenqualität — Nahrungsgrundlage
1956. 143 Seiten mit 68 Abb. und 33 Tab. Kartoniert DM 22,20
9. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer Forschung IV
1957. 157 Seiten mit 34 Abb. und 96 Tab. Kartoniert DM 22,20
10. Sonderheft:
Bodenfruchtbarkeit II
1957. IV u. 123 Seiten mit 56 Abb. u. 28 Tab. Kart. DM 19,80
11. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer Forschung V
1958. VIII u. 127 Seiten mit 56 Abb. u. 38 Tab. Kart. DM 22,20
12. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer Forschung VI
1959. VIII u. 152 Seiten mit 60 Abb. und 28 Tab. Kart. DM 27,—
13. Sonderheft:
Magnesium — Boden — Pflanze
1959. VIII u. 100 Seiten mit 43 Abb. u. 66 Tab. Kart. DM 24,80
14. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung VII
1960. VIII u. 141 Seiten mit 51 Tab. und 55 Abb. Kart. DM 26,40
15. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung VIII
1961. VIII u. 159 Seiten mit 62 Abb. u. 38 Tab. Kart. DM 27,50
16. Sonderheft:
Die Spurenelementversorgung von Pflanze, Tier und Mensch
1962. VIII u. 147 Seiten mit 37 Abb. u. 56 Tab. Kart. DM 26,20
17. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung X
1963. VIII u. 211 Seiten mit 91 Abb. und 72 Tab. Kart. DM 30,75
18. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XI
1964. VIII u. 208 Seiten mit 52 Abb. und 43 Tab. Kart. DM 30,25

J. D. SAUERLÄNDER'S VERLAG FRANKFURT AM MAIN

SONDERHEFTE ZUR „LANDWIRTSCHAFTLICHEN FORSCHUNG“

19. Sonderheft:

Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XII

1965. VIII u. 252 Seiten mit 87 Abb. und 73 Tab. Kart. DM 41,80

20. Sonderheft:

Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XIII

1966. VIII u. 152 Seiten mit 20 Abb. und 33 Tab. Kart. DM 28,80

21. Sonderheft:

Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XIV

1967. VIII u. 137 Seiten mit 81 Abb. und 35 Tab. Kart. DM 31,80

22. Sonderheft:

Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XV

1968. VIII und 198 Seiten mit 91 Abb. und 44 Tab. Kart. DM 43,20

23. Sonderheft:

Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XVI - XVII

1969. Teil I. VIII und 228 Seiten mit 81 Abb. und 81 Tab. Kart. DM 52,80

Teil II. VIII und 191 Seiten mit 70 Abb. und 63 Tab. Kart. DM 48,80

24. Sonderheft:

Internationales Symposium: Hundert Jahre Saatgutprüfung

1970. VIII und 207 Seiten mit 47 Abb. und 49 Tab. Kart. DM 50,60

25. Sonderheft:

Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XVIII - XIX

1970. Teil I. VIII und 172 Seiten mit 78 Abb. und 56 Tab. Kart. DM 47,20

Teil II. VIII und 178 Seiten mit 73 Abb. und 71 Tab. Kart. DM 46,60

26. Sonderheft:

Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XX - XXI

1971. Teil I. VIII und 333 Seiten mit 158 Abb. und 96 Tab. Kart. DM 87,60

Teil II. VI und 220 Seiten mit 87 Abb. und 64 Tab. Kart. DM 64,80

27. Sonderheft:

Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XXII - XXIII

1972. Teil I. VI und 281 Seiten mit 95 Abb. und 136 Tab. Kart. DM 86,50

Teil II. VI und 237 Seiten mit 102 Abb. und 107 Tab. Kart.

Alle Preisangaben = empf. Preise