

Sonderdruck aus „Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch“, 53. Jg., Heft 2/1976

Aus dem Lehrstuhl für Pflanzenernährung und der Bayerischen Hauptversuchsanstalt für Landwirtschaft der Technischen Universität München in Weihenstephan

Veränderungen des löslichen Stickstoffes einer Ackerbraunerde unter Winterweizen im Jahresverlauf

Von R. Gutser und K. Teicher

Zusammenfassung

Die Veränderung des Gehaltes an löslichem Stickstoff einer Ackerbraunerde aus Lößlehm wurde bis zu einer Tiefe von 100 cm unter verschiedenen stark mit Stickstoff (0—60—140 kg N/ha) gedüngten Winterweizen (1973/74) sowie in der vegetationslosen Zeit (1974/75) studiert.

Der lösliche Stickstoff dieser Ackerbraunerde liegt nahezu ausschließlich als Nitrat vor; Ammoniumdüngung wurde innerhalb von 4—6 Wochen (Frühjahr) nitrifiziert. Die Veränderungen des Nitratgehaltes während des Weizenaufwuchses waren in erster Linie eine Folge der N-Düngung und des N-Entzuges der Pflanzen. Nach der Ernte führten außergewöhnlich hohe Niederschläge (September bis Dezember 1974) auf der Parzelle $N_2 = 140$ N zu einer Nitratinwaschung in tiefere Bodenschichten bis über 1 m Tiefe hinaus. Diese eingewaschenen Stickstoffmengen sind jedoch auf dieser tiefgründigen Braunerde offensichtlich für das Pflanzenwachstum nicht verloren; im trockenen Frühjahr 1975 wurde nämlich zumindest ein Teil dieses Nitrates infolge kapillaren Anstieges des Bodenwassers in den Wurzelraum (60—100 cm) zurückbefördert. Die Bewegung nitrathaltigen Bodenwassers in den Monaten Februar—April ist die Ursache für die Schwankungen der Nitratmengen im untersuchten 1-m-Profil und erschweren eine sichere Ermittlung des verfügbaren N-Angebotes des Bodens und folglich eine darauf aufbauende optimale Bemessung der N-Düngung im Frühjahr.

Eingang des Manuskripts: 20. 10. 75

Neben einer aussagekräftigen Untersuchung der Böden auf Phosphat und Kalium fordert die landwirtschaftliche Praxis, insbesondere infolge der schlechten Erfahrungen mit der N-Düngung im Frühjahr 1972, in verstärktem Maße Orientierungsdaten über den pflanzenverfügbaren Stickstoffvorrat der Böden zu Vegetationsbeginn. Die Kenntnis über den Gesamt-N-Vorrat der Böden reicht für Normaljahre annähernd für eine sinnvolle Bemessung der Frühjahrsdüngung aus; der Landwirt kennt aufgrund seiner langjährigen Erfahrung die Höhe der N-Lieferung der Böden und bemißt danach die N-Düngung. Extreme Witterung, insbesondere während der vegetationslosen Zeit (starke Trockenheit — sehr hohe Niederschläge) verändern sehr stark den Gehalt der Böden an löslichem Stickstoff. Die Ur-

sache liegt in der schwer quantifizierbaren Dynamik des Stickstoffs im Boden; Fixierungsvorgänge (chemisch, physiko-chemisch und biologisch) einerseits wechseln häufig oder zeitweilig mit Freisetzungsvorgängen, wie N-Mineralisierung, Nitrifikation usw. andererseits ab. C/N-Verhältnis, pH, Feuchtigkeit, Temperatur, organische Substanz etc. verändern die Geschwindigkeit dieser Vorgänge sehr stark. Ferner liegt der Stickstoff als NO_3 in einer gut beweglichen und damit ein- bzw. auswaschungsgefährdeten Form vor. Weiterhin wird die quantitative Erfassung des pflanzenverfügbaren Stickstoffs durch Denitrifikation in N_2 - bzw. N_2O -Gase erschwert. Ähnliches trifft für NH_3 -Verluste auf neutralen bis alkalischen Böden zu.

In umfangreichen Versuchen ermittelte

VAN DER PAAUW (13) für die Klimaverhältnisse der Niederlande eine positive Beziehung zwischen der Höhe der Winterniederschläge und der Wirkung der N-Düngung im Frühjahr. JUDEL und KÜRTE (10) wiesen auf die Bedeutung der Niederschläge von November bis Mai für Erträge und N-Entzüge von Sommergerste und Hafer hin.

Aus Lysimeteruntersuchungen ist ein Zusammenhang zwischen der Höhe der Niederschläge und den NO_3 -Verlusten bekannt (14, 20). Aus wintertrockenen und -kalten Gebieten der USA (Cansas, Dakota, Nebraska) und Canada (Manitoba) liegen gute Erfahrungen mit der Ermittlung des löslichen Stickstoffs der Böden für die Bemessung der Frühjahrsdüngung von Getreide, Mais und Raps vor (24, 21, 22, 23, 16). Die Untersuchungstiefe betrug 60 bis 180 cm, nachdem bekannt ist, daß Weizenpflanzen z. B. Stickstoff noch aus einer Tiefe von 150 cm aufnehmen (24). Aus Belgien und den Niederlanden wurden ebenfalls Ergebnisse über N-Untersuchung von Böden berichtet (4, 1, 17): Die Böden wurden in einer Tiefe bis 1 Meter auf NO_3 und NH_4 untersucht. Demnach benötigt Winterweizen für eine optimale Entwicklung im Frühjahr, falls keine Gründüngung vorausgegangen ist, ca. 200 kg N/ha; die Differenz zum löslichen N-Vorrat des Bodens (0—100

cm) muß durch mineralische N-Düngung ausgeglichen werden. Auch CARTER u. a. (3) berücksichtigen für die Bemessung der N-Düngung von Zuckerrüben den N-Vorrat des Bodens. Sowohl der lösliche N als auch der als standorttypisch angesehen mineralisierbare Stickstoff des Bodens werden berücksichtigt. In Deutschland liegen noch wenig Erfahrungen über N-Untersuchungen im Boden vor. BRAUN und FISCHBECK (2) berichteten über Ergebnisse eines langjährigen N-Versuches und weisen auf den positiven Zusammenhang zwischen Höhe des NO_3 -Gehaltes der Böden und den Pflanzenerträgen hin. Die Probenahmetiefe betrug 20 Zentimeter.

In Weihenstephan wurde ab Frühjahr 1974 nach einigen methodischen Vorversuchen die Veränderung der NO_3 - und NH_4 -Gehalte einer Ackerbraunerde bis zu einem Meter Tiefe während der Vegetationszeit unter Winterweizen und in der folgenden vegetationsfreien Zeit untersucht mit dem Ziel, das Verhalten des in der Vegetationszeit von den Pflanzen nicht aufgenommenen Stickstoffs aus Mineraldüngern sowie des im Herbst mineralisierten Bodestickstoffs während des Winters zu studieren. Die ermittelten NO_3 -Gehalte der Böden sollten ferner zur Bemessung der N-Düngung im Frühjahr 1975 benutzt werden.

Versuchsdurchführung und Analytik

Versuchsstandort:

Ackerbraunerde aus ca. 2,50 bis 3 m Lößlehmauflage über tertiären Sanden bzw. sandigen Tonen, Weihenstephan

	Volumen- gewicht km/dm ³	% Ton <2 μ	% Schluff 2—63 μ	pH	CAL		N %	C	T-Wert mval/ 100 g B.	V %
					P ₂ O ₅ mg/100 g B.	K ₂ O				
Krume										
0—20 cm	1,55	19	27	6,3	13	13	0,12	1,01	14	85
20—40 cm	1,63	22	30	6,4	10	10	0,08	0,60	— ¹⁾	—
40—60 cm	1,63	31	29	6,5	5	5	0,05	0,38	—	—
60—80 cm	1,65	35	25	6,7	3	4	0,05	0,28	—	—
80—100 cm	1,57	30	23	6,8	3	4	0,03	0,23	—	—

¹⁾ nicht bestimmt

Frucht: Winterweizen (Caribo)
Düngung: PK optimal

1. ohne N	Düngungs-termin	—
2. 60 N (zeitiges Frühjahr)	11. 3. 74	
3. 140 N, und zwar:		
60 N im zeitigen Frühjahr	11. 3. 74	
40 N zum Schossen	7. 5. 74	
40 N zum Ährenschieben	18. 6. 74	
4. 180 N, und zwar:		
40 N im Herbst (Kalkstickstoff)	29. 10. 73	
140 N wie 3		

N-Form im Frühjahr: Kalkammonsalpe-
 ter
 Saat: 30. 10. 73
 Ernte: 17. 8. 74
 Parzellengröße: 100 m²

Differenz beider Messungen mit Hilfe einer Eichkurve (12).
 NH₄: Messen der Lichtabsorption bei 623 nm des durch NH₄-Ionen (im gleichen Extrakt wie für NO₃-N) nach Zusatz von Natriumphenolat und Natriumhypochlorit gebildeten Indophenolblaufarbstoffes (9).
 Zusätzlich wurden für die Umrechnung auf kg N/ha jeweils die Trockensubstanzgehalte der einzelnen Schichttiefen und einmalig auch das Volumengewicht aus Stechzylinderproben festgestellt.

Ergebnisse

1. NH₄-Gehalte im Boden

Probenahme und Aufbereitung der Böden:
 Die Probenahme erfolgte 14tägig mit dem Pürkhauer-Bohrstock auf 1 m Tiefe (Unterteilung in 20-cm-Einheiten; Mischprobe aus 5 Einstichen). Der Boden wurde nach der Siebung durch ein 5-mm-Sieb in feuchtem Zustand sofort untersucht. Trocknen und Aufbewahren der Bodenprobe führt nach eigenen Untersuchungen zu erheblichen Veränderungen der NO₃-Gehalte der Böden (siehe auch 15).

NO₃- und NH₄-Bestimmung:

NO₃: Messen der UV-Absorption bei 210 nm im CaCl₂-Extrakt der Böden (Bodeneinwaage: 0,025 n CaCl₂ wie 1:10) vor und nach Reduktion des Nitrates mit naszierendem Wasserstoff.
 Errechnen des NO₃-Gehaltes aus der

Sämtliche Angaben über Gehalte an löslichem N im Boden beziehen sich auf Nitratstickstoff. Zu keinem Zeitpunkt konnten nennenswerte NH₄-Gehalte im Boden ermittelt werden. Lediglich nach Düngung mit Kalkammonsalpeter wurden bis zur völligen Nitrifikation nach 4—6 Wochen NH₄-Gehalte von < 1 mg N/100 g Boden, und zwar nahezu ausnahmslos in der Krume, gefunden. Die Beweglichkeit des NH₄-N ist auf diesem sorptionsfähigen Lehmboden sehr gering (Tab. 1).

Die Nitrifikation hängt eng mit der Bodentemperatur zusammen. Unter 3 bis 5° C scheint keine nennenswerte Nitrifikation stattzufinden. Nach GUIOR (4) bzw. SCHRÖDTER und TIETJEN (19) sind

Tabelle 1: NH₄-N-Gehalte im Boden (Krume = 0—20 cm) — 1975

Termin	Düngung		mg NH ₄ -N/100 g Boden	Ø Bodentemperatur in 10 cm Tiefe ¹⁾ (zwischen den Probenahmeterminen)
	NH ₄ -N kg/ha	Probenahme		
14. 3.	30	24. 3.	0,29	
		7. 4.	0,38	2,8
		21. 4.	0,51	6,0
		5. 5.	n. n.	11,7
9. 4.	60	21. 4.	0,55	
		5. 5.	0,29	11,7
		20. 5.	0,09	16,1
		2. 6.	n. n.	16,1
25. 5.	20	2. 6.	0,39	
		18. 6.	0,13	15,5
		7. 7.	n. n.	17,8

¹⁾ Deutscher Wetterdienst, Agrarmeteorolog. Forschungsstelle Weihenstephan.

für diesen Vorgang mindestens 2° C bzw. 5° C Bodentemperatur notwendig.

2. Veränderung der NO₃-Gehalte im Boden während der Vegetationszeit (März—August 1974) unter Winterweizen

Die Veränderung der NO₃-Mengen der Böden ist vor allem auf die N-Düngung, den Pflanzenentzug sowie auf die Freisetzung von Bodenstickstoff zurückzuführen (Abb. 1).

Auf dem Teilstück „ohne N“ lagen die N-Mengen in dem 1-m-Profil durchwegs unter 60 kg N/ha. Der aus der Bodenreserve mineralisierte Stickstoff dürfte demnach größtenteils von den Pflanzen entzogen worden sein. Die NO₃-N-Gehalte lagen zwischen 0,15—0,20 mg/100 g Boden. Auf den einmalig mit 60 N im Frühjahr gedüngten Parzellen lagen diese von März bis Ende Mai deutlich über denen der Kontrollparzellen und gingen zum Schossen und Ährenschieben der Weizenpflanzen auf das Niveau der Kontrolle zurück. Als Folge der mehr-

maligen N-Düngung ($\Sigma = 140$ N) stiegen die NO₃-Mengen im Boden jeweils sprunghaft an; besonders auffallend war die steile Zunahme am 1. Juli von einem mit dem Kontrollwert „ohne N“ etwa gleichem Niveau (N-Aufnahme der Pflanzen). Dieses starke Anwachsen des NO₃-Gehaltes im Boden ist schwer zu erklären und sicherlich nicht allein auf die Zufuhr von NO₃ bzw. NH₄ aus der Düngung zurückzuführen (ein Düngungsfehler war nicht nachzuweisen!). Möglicherweise wurde durch die Düngung eine verstärkte biologische N-Freisetzung aus der Bodenreserve unter optimalen Temperaturbedingungen im Mai—Juni angeregt. Diese Frage muß weiterhin untersucht werden. Zum Zeitpunkt der Ernte lagen in den hochgedüngten Parzellen noch deutlich höhere NO₃-Mengen vor als in den Teilstücken N₀ und N₁.

Die ermittelten N-Mengen verteilen sich auf die einzelnen Untersuchungstiefen wie folgt (Abb. 2):

Die N-Düngung führt demnach ins-

NO₃-N im Boden während der Vegetationszeit 1974

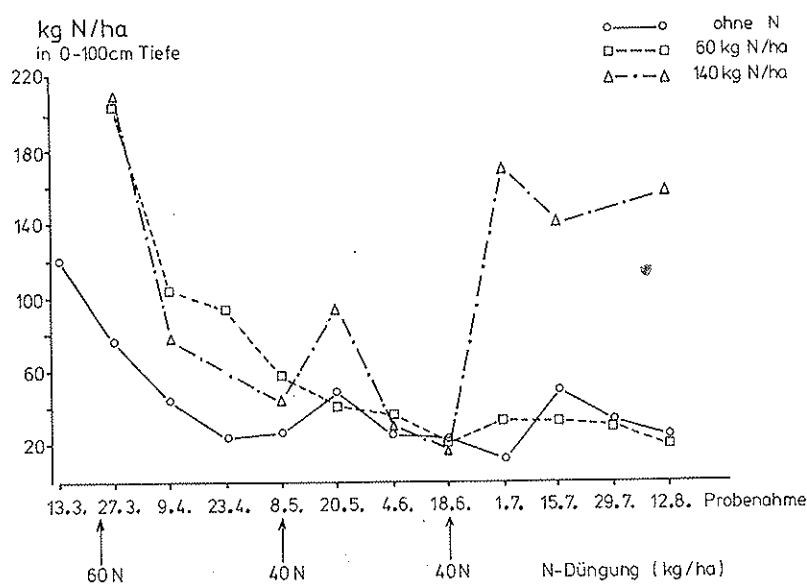


Abb. 1

Frucht: Winterweizen (Caribo) Düngungs-
Düngung: PK optimal termin

1. ohne N —
2. 60 N (zeitiges Frühjahr) 11. 3. 74
3. 140 N, und zwar:
60 N im zeitigen Frühjahr 11. 3. 74
40 N zum Schossen 7. 5. 74
40 N zum Ährenschieben 18. 6. 74
4. 180 N, und zwar:
40 N im Herbst (Kalkstickstoff) 29. 10. 73
140 N wie 3
N-Form im Frühjahr: Kalkammonsalpe-
ter
Saat: 30. 10. 73
Ernte: 17. 8. 74
Parzellengröße: 100 m²

Probenahme und Aufbereitung der Böden:
Die Probenahme erfolgte 14tägig mit dem Pürkhauer-Bohrstock auf 1 m Tiefe (Unter-
teilung in 20-cm-Einheiten; Mischprobe
aus 5 Einstichen). Der Boden wurde nach
der Siebung durch ein 5-mm-Sieb in feuch-
tem Zustand sofort untersucht. Trocknen
und Aufbewahren der Bodenprobe führt
nach eigenen Untersuchungen zu erheb-
lichen Veränderungen der NO₃-Gehalte
der Böden (siehe auch 15).

NO₃- und NH₄-Bestimmung:

NO₃: Messen der UV-Absorption bei 210 nm
im CaCl₂-Extrakt der Böden (Boden-
einwaage: 0,025 n CaCl₂ wie 1:10) vor
und nach Reduktion des Nitrates mit
naszierendem Wasserstoff.
Errechnen des NO₃-Gehaltes aus der

Differenz beider Messungen mit Hilfe
einer Eichkurve (12).

NH₄: Messen der Lichtabsorption bei 623
nm des durch NH₄-Ionen (im glei-
chen Extrakt wie für NO₃-N) nach
Zusatz von Natriumphenolat und
Natriumhypochlorit gebildeten Indo-
phenolblaufarbstoffes (9).

Zusätzlich wurden für die Umrechnung auf
kg N/ha jeweils die Trockensubstanzge-
halte der einzelnen Schichttiefen und ein-
malig auch das Volumengewicht aus Stech-
zylinderproben festgestellt.

Ergebnisse

1. NH₄-Gehalte im Boden

Sämtliche Angaben über Gehalte an
löslichem N im Boden beziehen sich auf
Nitratstickstoff. Zu keinem Zeitpunkt
konnten nennenswerte NH₄-Gehalte im
Boden ermittelt werden. Lediglich nach
Düngung mit Kalkammonsalpeter wur-
den bis zur völligen Nitrifikation nach
4—6 Wochen NH₄-Gehalte von < 1 mg
N/100 g Boden, und zwar nahezu aus-
nahmslos in der Krume, gefunden. Die
Beweglichkeit des NH₄-N ist auf diesem
sorptionsfähigen Lehmboden sehr ge-
ring (Tab. 1).

Die Nitrifikation hängt eng mit der
Bodentemperatur zusammen. Unter 3
bis 5° C scheint keine nennenswerte
Nitrifikation stattzufinden. Nach GUIOT
(4) bzw. SCHRÖDTER und TIETJEN (19) sind

Tabelle 1: NH₄-N-Gehalte im Boden (Krume = 0—20 cm) — 1975

Termin	Düngung		mg NH ₄ -N/100 g Boden	Ø Bodentemperatur in 10 cm Tiefe ¹⁾ (zwischen den Probenahmeterminen)
	NH ₄ -N kg/ha	Probenahme		
14. 3.	30	24. 3.	0,29	
		7. 4.	0,38	2,8
		21. 4.	0,51	6,0
		5. 5.	n. n.	11,7
9. 4.	60	21. 4.	0,55	
		5. 5.	0,29	11,7
		20. 5.	0,09	16,1
		2. 6.	n. n.	16,1
25. 5.	20	2. 6.	0,39	
		18. 6.	0,13	15,5
		7. 7.	n. n.	17,8

¹⁾ Deutscher Wetterdienst, Agrarmeteorolog. Forschungsstelle Weihenstephan.

NO₃-N in verschiedenen Bodentiefen unter W.Weizen (1974)

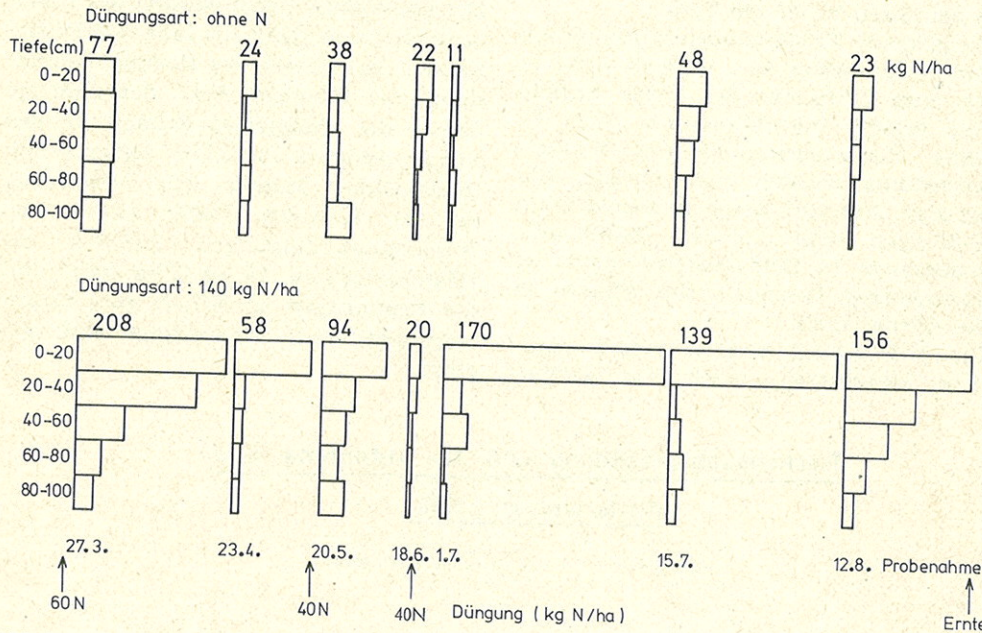


Abb. 2

besondere während der Hauptwachstumszeit (Mai bis Mitte Juli) zu einem Anstieg des Nitrates lediglich in der Krume. Selbst hohe Niederschlagsmengen vom 23. 4. bis 8. 5. bzw. 4. 6. bis 18. 6. (siehe Tab. 2) bewirkten keine Einwaschung von NO₃ aus der Krume in tiefere Bodenschichten (Evapotranspiration!) — (8.5 u. 4.6 nicht abgebildet). Lediglich zu Beginn des Wachstums und zur Zeit des Abreifens fanden sich größere NO₃-Mengen in tieferen Schichten. Auffallend ist, daß der Pflanzenwuchs zwischen 27. 3. und 23. 4. (Abb. 2)

zu einer NO₃-Erschöpfung in der Tiefe 20—100 cm auf den gedüngten Parzellen führte, während in der Krume noch ca. 50 kg NO₃-N/ha vorlagen. Die Pflanzen waren offensichtlich in diesem extrem trockenen Vegetationsabschnitt (zwischen 13. 3. und 23. 4. fielen insgesamt nur 26 mm Niederschläge — Tab. 2) überwiegend auf Wasser aus tieferen Schichten angewiesen. Durch den kapillaren Aufstieg des Wassers wurde ebenfalls Nitrat nach oben transportiert. Hohe Niederschläge (15. 7. bis 29. 7.: 97 mm, Tab. 2) bewirkten zum Vegeta-

Tabelle 2: Niederschläge und Temperaturen¹⁾ während der Vegetationszeit 1974

	Probenahmen												
	13. 3.	27. 3.	9. 4.	23. 4.	8. 5.	20. 5.	4. 6.	18. 6.	1. 7.	15. 7.	29. 7.	12. 8.	9. 9.
Niederschläge (mm)	18	—	8	72	22	52	61	18	43	97	29	57	
Φ-Lufttemperatur (°C)	8,9	9,8	6,3	7,9	10,4	12,5	12,6	15,1	15,3	15,3	15,3	17,1	
Φ-Bodentemperatur 10 cm (°C)	7,8	11,5	9,5	8,7	14,0	14,8	14,7	19,2	17,7	17,6	20,2	20,0	

¹⁾ Agrarmeteorologische Forschungsstelle Weihenstephan.

tionsende des Weizens eine deutliche Verlagerung von $\text{NO}_3\text{-N}$ aus der Krume in Schichten bis 80 cm Tiefe.

Die gesamte Trockensubstanzproduktion und N-Aufnahme des Weizens erreichten zum Zeitpunkt der Blüte Anfang Juli bereits das Maximum (Abb. 3). Ohne Berücksichtigung des Wurzelwachstums wurden von Anfang Juli bis zum Abreifen keine nennenswerten N-Mengen mehr aus dem Boden aufgenommen; es fand lediglich nur eine Verlagerung innerhalb der Pflanze in die Körner statt.

Die N-Düngung brachte jedoch deutliche Mehrerträge; auch eine N-Dün-

gung im Herbst 1973 (Kalkstickstoff) führte zu einem Ertragsanstieg (Tab. 3). Die ungünstige Beeinflussung des Pflanzenwachstums durch die laufende Probenahme (Verdichten des Bodens, Beschädigen der Pflanzen) bzw. der günstige Effekt der Fungizidspritzung auf den nicht gestörten Parzellen äußerte sich in deutlichen Minder- bzw. Mehrerträgen an Körnern. Unter ungestörten Wachstumsbedingungen nahmen die Pflanzen um ca. 15 kg N/ha mehr auf; die Restmengen an $\text{NO}_3\text{-N}$ zum Erntezeitpunkt wären demzufolge auch geringer.

Trockensubstanzbildung und N - Aufnahme von Winterweizen (1974)

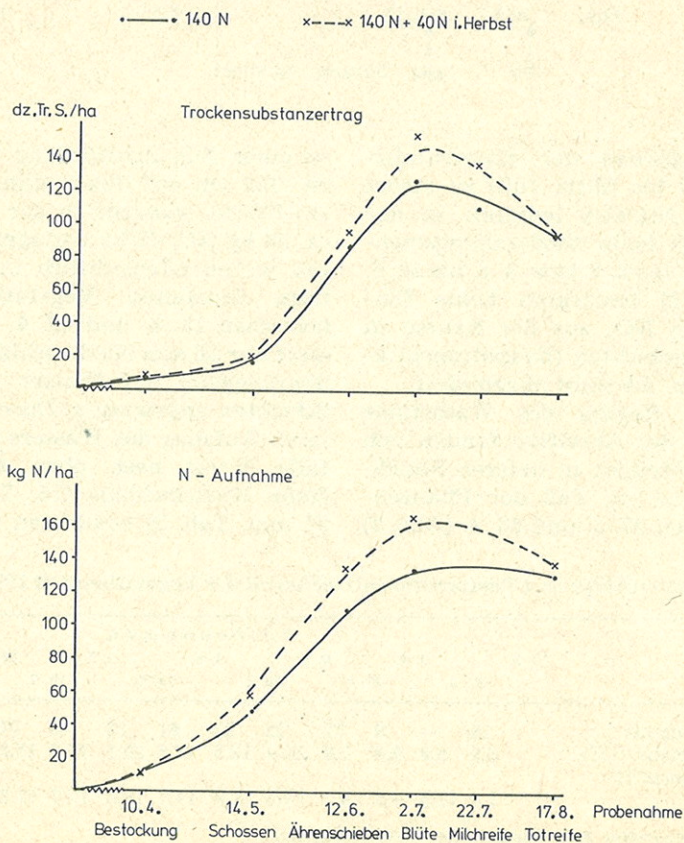


Abb. 3

Tabelle 3: Wirkung der N-Düngung auf Ertrag und N-Aufnahme von Winterweizen — 1974

Düngung	Versuchspartellen gestört durch 14tägige Entnahme von Bodenproben			Partellen ohne Probenahme ¹⁾		
	dz/ha (86% Korn)	Tr.M. Stroh	kg N/ha Entzug	Korn	dz/ha Stroh	kg N/ha Entzug
o. N	24,7	23,0	41	—	—	—
60 N	43,5	41,2	71	—	—	—
140 N	50,7	50,1	115	61,3	48,1	130
140 N + 40 N Herbst	53,3	49,0	120	63,5	45,7	137

¹⁾ und zusätzlicher Calixin- × Maneb- × Cercobinspritzung gegen Ährenkrankheiten.

Abbildung 4 gibt eine Erklärung für den Ertragsanstieg nach Herbstdüngung.

Die Kalkstickstoffapplikation im Herbst 1973 kurz vor der Saat bewirkte einen Anstieg der NO₃-Gehalte in tieferen Bodenschichten und ermöglichte in dem bis zum 23. 4. extrem trockenen Frühjahr 1974 eine optimale Wasser- und Nitrat-Versorgung der Pflanzen aus feuchteren Bodentiefen. Anfang Mai wiesen beide Partellen annähernd gleiche NO₃-Mengen auf.

3. Veränderung der NO₃-Gehalte im Boden während der vegetationsfreien Zeit (September 1974 bis März 1975)

Die Nitratmengen der Versuchsglieder N₀ und N₁ (60 N, nicht eingezeichnet) unterschieden sich nicht nennenswert (Abb. 5); beide stiegen nach der Ernte (September und Oktober) geringfügig an infolge Mineralisierung von organisch gebundenem N im Boden und hielten während des Winters einen annähernd gleichen Wert von ca. 35 kg NO₃-N/ha in einer Bodentiefe von einem Meter.

NO₃ - N in verschiedenen Bodentiefen (Frühjahr 1974)

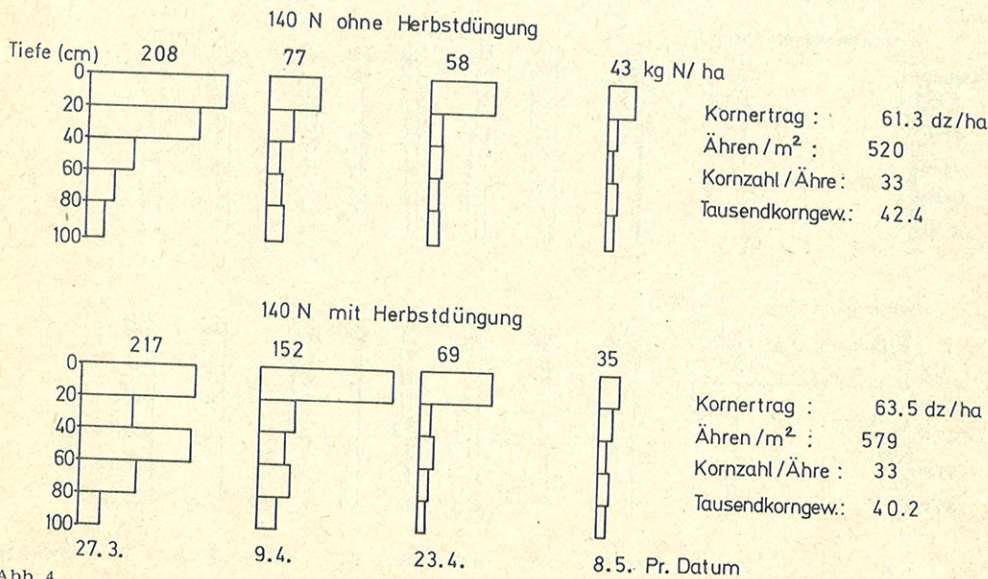
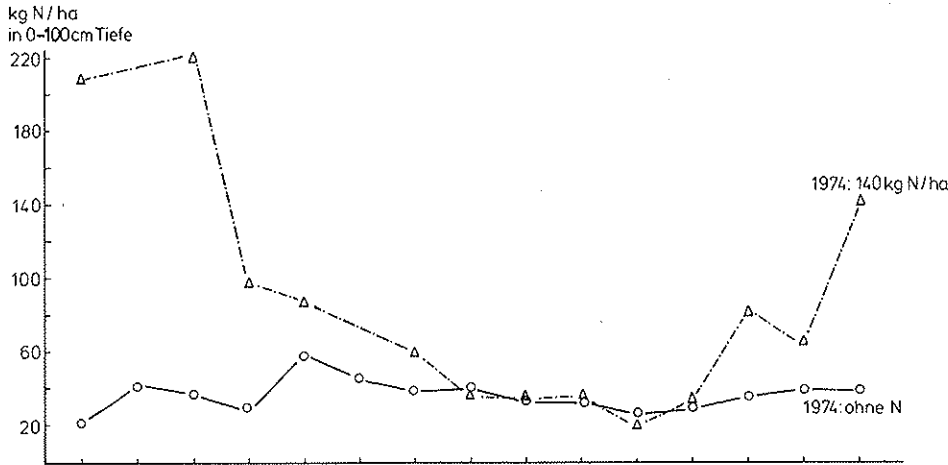


Abb. 4

NO₃-N im Boden während der vegetationsfreien Zeit
(1974 / 75)



9.9. 23.9. 7.10. 22.10. 11.11. 25.11. 9.12. 19.12. 13.1. 27.1. 10.2. 24.2. 10.3. 24.3. 7.4. Probenahme

Abb. 5

Die im Juli und August festgestellten Nitratmengen der Parzelle mit hoher N-Düngung (N₂) gingen von September bis November sehr stark zurück, erreichten etwa Mitte Dezember das Niveau der Kontrolle und stiegen ab Mitte März gegenüber der Kontrolle wieder deutlich an (7. April letzter Probenahme-

NO₃-N in verschiedenen Bodentiefen nach W.Weizen (1974 / 75)

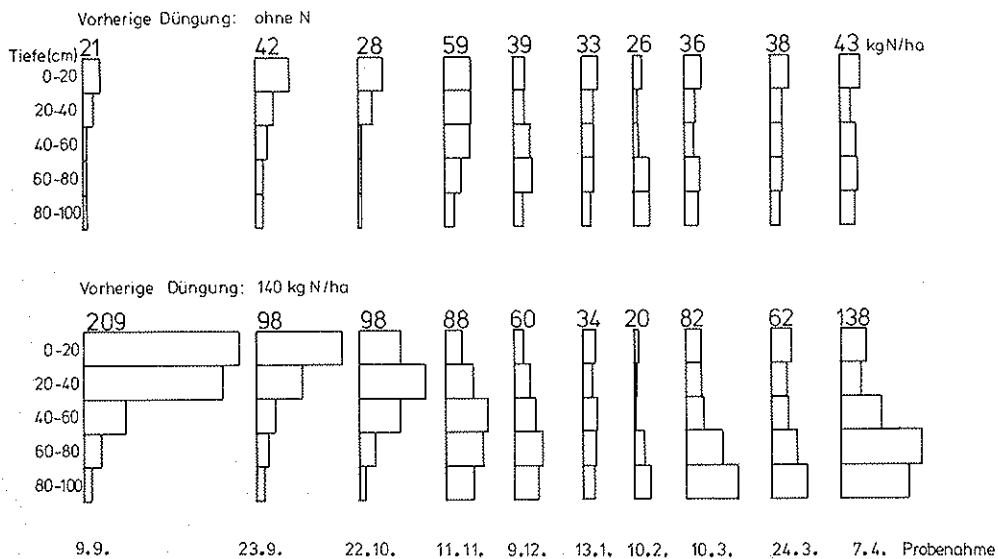


Abb. 6

termin, da anschließend Maisanbau mit N-Düngung folgte). Die Hauptursache für den starken Rückgang der NO_3 -Mengen im Spätherbst auf der Parzelle N_2 liegt in den überdurchschnittlich hohen Niederschlägen dieser Jahreszeit (Tab. 4) und der damit verbundenen Einwaschung von NO_3 in tiefere Bodenschichten (Abb. 6).

Der im Herbst bereits erwähnte leichte NO_3 -Anstieg in der Kontrollparzelle war lediglich auf die Krumschicht begrenzt. Im September und Oktober lagen die Bodentemperaturen zwischen 5 und 15° C; von Januar bis Mitte März war keine Mineralisierung von Bodennitrostoff nachweisbar infolge niedriger

Bodentemperatur (0–3,3° C). Der Anstieg des Nitrates im Frühjahr auf dem hoch gedüngten Teilstück war vorwiegend in der Schicht 80–100 cm Tiefe lokalisiert und dürfte auf einen kapillaren Wiederaufstieg des im Spätherbst über einen Meter Tiefe hinaus eingewaschenen Nitrates zurückzuführen sein. Voraussetzung dafür war ein extrem trockener Februar 1975 (Tab. 4). Die Anreicherung mit Nitrat aus tieferen Bodenschichten hielt bis Juni 1975 weiter an. Die NO_3 -Gehalte der Schichten 60–80 und 80–100 cm schwankten stark (Tab. 5); möglicherweise sind neben Niederschlägen bzw. Wasserbewegung im Boden auch Denitrifikations-

Tabelle 4: Niederschläge und Temperaturen¹⁾ während der vegetationslosen Zeit 1974/75

	12. 8.	23. 9.	22. 10.	25. 11.	19. 12.	27. 1.	24. 2.	24. 3.							
	9. 9.	7. 10.	11. 11.	9. 12.	13. 1.	10. 2.	10. 3.	7. 4.							
Niederschläge (mm)	57	8	40	50	57	19	101	24	28	8	23	12	5	8	29
ϕ -Lufttemperatur (° C)	17,1	14,7	7,0	4,3	2,3	4,7	3,7	1,1	2,9	2,4	1,8	0,2	3,4	3,6	1,7
ϕ -Bodentemperatur 10 cm (° C)	20,0	16,8	9,4	5,7	3,1	3,1	3,3	2,9	1,8	1,8	1,6	0,4	3,0	4,6	2,3

Niederschläge (mm) 1974/75 und langjähriger Durchschnitt (ϕ)

	Oktober	November	Dezember	Januar	Februar	März	April
1974/75	111	70	92	45	13	39	44
ϕ	57	47	42	51	48	42	51

¹⁾ Agrarmeteorologische Forschungsstelle Weihenstephan.

Tabelle 5: NO_3 -N-Gehalte der Bodenschichten 60–100 cm — Parzelle $\text{N}_2 = 140 \text{ N}$ Frühjahr 1975

Probenahme	mg NO_3 -N/100 g Boden 60–80 cm	mg NO_3 -N/100 g Boden 80–100 cm	Niederschläge mm zwischen Probenahme	ϕ -Wassergehalt des Bodens ¹⁾ in % der Feldkapazität (0–60 cm Tiefe unter Gras)
24. 2. 75	0,10	0,12		
10. 3.	0,53	0,80	5	80
24. 3.	0,35	0,51	8	85
7. 4.	1,16	1,05	29	95
21. 4.	0,40	0,47	42	99
5. 5.	0,80	1,07	14	80
20. 5.	0,37	0,38	20	72
2. 6.	0,90	0,79	51	50

¹⁾ Agrarmeteorologische Forschungsstelle Weihenstephan.

vorgänge dafür verantwortlich. Ähnliche Ergebnisse (kapillarer Wiederanstieg), jedoch mit wesentlich höheren Stickstoffgehalten wurden in eigenen Untersuchungen an Hopfenböden im Frühjahr 1975 erhalten.

Diskussion

Sinn und Zweck dieser Untersuchung war es, einen Einblick in die N-Dynamik dieser Ackerbraunerde zu erhalten als Basis für eine sinnvolle mineralische N-Düngung. Ferner sollten Erfahrungen mit der N-Analytik in Mineralböden gewonnen werden. Ähnlich den Ergebnissen von SCHARPF und WEHRMANN (18) liegt der lösliche Stickstoff dieser Ackerbraunerde aus Löß nahezu ausschließlich als Nitrat vor; die während des Frühjahrs applizierte Ammoniumdüngung wird sehr schnell (4–6 Wochen) nitrifiziert (temperaturabhängiger Vorgang).

Die Nitratgehalte schwanken sowohl während der Vegetationszeit 1974 als auch in der vegetationslosen Zeit 1974/75 sehr stark als Folge der Düngung, der Pflanzenentzüge sowie der Einwaschung nach stärkeren Niederschlägen bzw. Freisetzung bodeneigenen Stickstoffs. Die NO_3 -Untersuchung läßt die Erschöpfung der Böden am verfügbaren N durch die Pflanze gut erkennen (140 N) und weist auf die Notwendigkeit von an Pflanzenentwicklung bzw. -entzug angepaßten Düngergaben hin. Die N-Spättdüngung zum Ährenschieben bewirkte 1974 einen unverhältnismäßig hohen Anstieg des löslichen Stickstoffs im Boden. Mögliche Ursachen könnten Düngungs- (z. B. Düngerverteilung, Menge) bzw. Probenahmefehler, eventuell auch eine Induzierung der Freisetzung von Boden-N sein. Dieses zum Teil überraschende und sicherlich nicht für andere Standorte zu verallgemeinernde Ergebnis weist auf die Möglichkeit hin, daß nach späten und insbesondere höheren Düngergaben zum Zeit-

punkt der Ernte noch hohe NO_3 -Gehalte im Boden vorliegen können, deren Einwaschung in tiefere Schichten (Niederschläge) durch zusätzliche Maßnahmen wie Strohdüngung oder insbesondere Gründüngung verhindert werden kann (im Frühjahr 1975 standen unsere Getreidebestände nämlich nach vorausgehender Gründüngung z. B. bedeutend besser und brachten Mehrerträge um 10–20%). In der vegetationsfreien Zeit 1974 war die Einwaschung von NO_3 (hoher N-Vorrat zum Erntezeitpunkt in der Parzelle $\text{N}_2 = 140 \text{ N}$) infolge extrem hoher Niederschläge im Spätherbst sehr beachtlich. Im Gegensatz zu flachgründigen Böden mit und ohne Grundwasseranschluß kann das verlagerte Nitrat auf dieser tiefgründigen Braunerde offensichtlich durch kapillaren Wasseranstieg im Frühjahr zum Teil in den Wurzelbereich zurücktransportiert werden und ist damit wieder pflanzenverfügbar.

HARMSSEN (5, 6, 7) sowie HARMSSEN und KOLENBRANDER (8) weisen auf die mögliche schnelle Auf- und Abwärtsbewegung von Nitrat im Bodenprofil hin; die daran beteiligten N-Mengen überstiegen bei weitem die im Boden mineralisierten N-Mengen. Die NO_3 -Anreicherung im Einmeterprofil aus tieferen Schichten setzte bereits Mitte März 1975 ein; die NO_3 -Gehalte der Schichten 60–100 schwankten jedoch in den Folgemonaten sehr stark. Am 24. Februar wurden in 0–100 cm Tiefe nur 27 kg, 14 Tage später jedoch bereits 82 kg NO_3 -N/ha nachgewiesen.

Diese Tatsache macht die große Problematik dieser Bodenuntersuchungen (N) im Frühjahr hinsichtlich der Bemessung der Frühjahrsdüngung deutlich. Nach holländischen Erfahrungen ist Wintergetreide im Frühjahr optimal mit Stickstoff versorgt, wenn die Menge an löslichem N in einem Meter Tiefe durch die Mineraldüngung auf insgesamt ca. 180–200 kg N/ha ergänzt wird (1). Aus den Erfahrungen im Versuchsjahr 1974 schien eine Düngung

von 60 kg N/ha für Wintergetreide auf dem tiefgründigen Lößlehm Boden im zeitigen Frühjahr optimal zu sein für einen zu erwartenden Ertrag von 60 bis 64 dz Körner. Am 13. März 1974 wurden im Boden 125 kg $\text{NO}_3\text{-N}$ /ha ermittelt, so daß dem Winterweizen zum Düngungszeitpunkt insgesamt 185 kg N/ha angeboten wurden. Im Frühjahr 1975 enthielt der Boden nur ca. 80 kg N/ha (10. 3. 1975); analog den holländischen Erfahrungen hätten demnach für diesen Standort die mineralische Frühjahrsgaben auf ca. 100 bis 120 kg N/ha angehoben werden müssen. Damit dürfte das Optimum jedoch etwas überschritten worden sein (Gaben über 80 kg N sollten unter unseren Klimabedingungen in mehreren Teilgaben appliziert werden). Erschwerend für diese rechnerische Ermittlung des Düngeroptimums wirkten sich die unter unseren Standortvoraussetzungen bereits erwähnten Schwankungen der N-Gehalte im Frühjahr aus.

Die ermittelten Werte an Bodenstickstoff können daher bestenfalls als grober Hinweis gewertet werden für die Entscheidung, ob gegenüber den langjährigen Erfahrungen etwas an Stickstoff eingespart oder zugelegt werden muß. Für die Frühjahrsdüngung 1975 wurde von uns Ende Februar die Empfehlung gegeben, auf Böden in gutem Kulturzustand die übliche erste N-Gabe zu Wintergetreide um 20–30% zu erhöhen (bis maximal 90 kg N/ha).

Aus den Ergebnissen dieser Arbeit geht hervor, daß es äußerst schwierig bzw. nahezu unmöglich ist, einen optimalen Zeitpunkt für die Stickstoffuntersuchung der Böden im Frühjahr festzulegen.

Einmalige N-Untersuchungen sind in Kenntnis dieser starken Gehaltsschwankungen wohl wenig sinnvoll. Mehrmalige, in der vegetationslosen Zeit durchgeführte Nitrat-Bestimmungen bis zu einem Meter Tiefe lassen unter Berücksichtigung der Klimadaten zwar eine recht gute Beurteilung des N-Vorrats sowie der N-Mobilität eines Stand-

ortes zu, scheiden jedoch infolge hohen Arbeits- und Kostenaufwandes aus.

Auch ist die Aufbereitung und Lagerung der Bodenproben problematisch, da die einzelnen N-Fractionen unter üblichen Bedingungen keinesfalls konstant bleiben.

Berücksichtigt man diese Einschränkungen, so dürfte die Bedeutung der N-Untersuchung im Boden in erster Linie darin bestehen, auf sogenannten repräsentativen Modellstandorten die Menge an pflanzenverfügbarem bzw. löslichem N im Boden während der Vegetationszeit und insbesondere während der vegetationsfreien Zeit zu studieren. Daraus läßt sich ein Bild für die Mobilität des verfügbaren N im Profil ableiten, das auf vergleichbare Standorte unter Berücksichtigung der betreffenden Anbau- und Düngungsverhältnisse (Vorfrucht, Gründüngung etc.) mit Vorsicht übertragen und für die praktische Düngung interpretiert werden kann. Aus derartigen standortspezifischen Untersuchungen läßt sich der gesamte verfügbare „N-Pool“ relativ gut erfassen und aufgliedern (z. B. hoher Reststickstoff aus der Düngung des Vorjahres und hohe Mineralisierung im Herbst bei gleichzeitiger geringer Einwaschung im Winter bzw. wenig löslicher Stickstoff als Folge eines geringen Düngerrestes aus den Vorjahren, geringer Mineralisierung im Herbst und starker Einwaschung bzw. Auswaschung im Winter usw.).

Literaturverzeichnis

1. Borst, N. P. und Mulder, C. (1971): Stickstoffgehalte, stikstofbemesting en opbrengst van winterarwe op zeezand-, klei- en zavelgronden in Noord-Holland. Bedrijfsontwikkeling, 2, Heft 3 (maart), edite Akkerbouw.
2. Braun, H. und Fischbeck, G. (1973): Ertragsvorausschätzung auf Grund der Nitratentwicklung des Bodens. Z. Acker- u. Pflanzenbau, 138, 319–330.

3. Carter, J. N., Jensen, M. E. und Bosma, S. M. (1974): Determining nitrogen fertilizer needs for sugarbeets from residual soil nitrate and mineralizable nitrogen. *Agron. J.*, 66, 319—323.
4. Guiot, J. (1973): Die Wanderung des Stickstoffs im Boden. Vortrag: Semaine d'étude sol et fertilization, Gembloux, Belgien: „La migration de l'azote dans le sol“, 3.—7. Sept., 1973.
5. Harmsen, G. W. (1959): Was kann uns die Bestimmung des Gehaltes löslichen Stickstoffs im Boden lehren? *Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde*, 84, 98 bis 102.
6. — (1961): Einfluß von Witterung, Düngung und Vegetation auf den Stickstoffgehalt des Bodens. *Landw. Forsch., SH.* 15, 61—74.
7. — (1962): Agricultural and pedological problems concerning the nitrogen in soil. *Landbouwk. Tijdschr.*, 74, 505—519.
8. — und Kolenbrander, G. J. (1965): „Soil inorganic nitrogen“, 64—67, in Bartholomew, W. V. und Clark, F. E.: „Soil nitrogen“, Amer. Soc. of Agron. Madison, Wisc., USA, 1965.
9. Hoffmann, G. und Teicher, K. (1961): Ein kolorimetrisches Verfahren zur Bestimmung der Ureaseaktivität in Böden. *Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde*, 95, 55—63.
10. Judel, G. K. und Kürten, P. W. (1969): Ertrag, Stickstoffversorgung und Stickstoffentzüge von Sommergerste und Hafer in Abhängigkeit von Winter- und Frühjahrsniederschlägen. *Z. Acker- u. Pflanzenbau*, 130, 154—167.
11. Jung, J. und Dressel, J. (1974): Über das Auswaschungsverhalten verschiedener N-Formen im Lysimeterversuch. *Z. Acker- u. Pflanzenbau*, 140, 1—10.
12. Navone, R. (1964): Proposed method for nitrate in potable waters. *J. Amer. Water Works Ass.*, 56, 781—783.
13. Paauw van der (1962): Effect of winter rainfall on the amount of nitrogen available to crop. *Plant and soil*, 16, 361—380.
14. Pfaff, C. (1963): Das Verhalten des Stickstoffs im Boden nach langjährigen Lysimeterversuchen. *Z. Acker- u. Pflanzenbau*, 117, 77—99.
15. Quien, A., Olsen, A. R. S., Baerug, R. und Lyngstad, I. (1974): Studies on soil nitrogen. III. Effects of drying, deep freezing and storage of moist soil on nitrogen mineralization. *Acta agric. Skand.*, 24, 222—226.
16. Racz, G. J. (1973): Effect of nitrogen supply, water supply and temperature on the yield and protein content of cereal grains. Umdruck aus dem Dept. of Soil Science, Univ. of Manitoba, Canada.
17. Ris, J. (1974): Stikstofbemestingsadviezen voor bouwland. *Stikstof*, 7 (78), 168 bis 173.
18. Scharpf, H. C. und Wehrmann, J. (1975): Bedeutung des N-Vorrates des Bodens für die mineralische Ernährung von Winterweizen. Vortrag Kongreß VDLUFA, Mannheim, 8.—13. Sept. 1975.
19. Schrödter, H. und Tietjen, C. (1971): Statistische Betrachtungen zur Frage der Abhängigkeit der Nitrifikation von Bodentemperatur und Bodenfeuchtigkeit. *Agric. Meteorol.*, 9, 77—91.
20. Schweiger, P. (1973): Einfluß von Witterung, Bodeneigenschaften und pflanzenbaulichen Maßnahmen auf Wasser- versickerung und Mineralstoffauswaschung im Weihenstephaner Lysimeter. Diss. TU München-Weihenstephan.
21. Soper, R. J. und Huang, P. M. (1963): The effect of nitrate nitrogen in the soil profile on the response of barley to fertilizer nitrogen. *Canad. J. Soil Sci.*, 43, 350—358.
22. Soper, R. J., Racz, G. J. und Fehr, P. I. (1971): Nitrate nitrogen in the soil as a means of predicting the fertilizer nitrogen requirements of barley. *Canad. J. Soil Sci.*, 51, 45—49.
23. — (1971): Soil tests as a means of predicting response of rape to added N, P and K. *Agron. J.*, 63, 564—566.
24. Ward, R. C. (1971): NO₃-N soil test — approaches to use and interpretation. Umdruck der South Dakota State University.