

Mitteilungen Agrarwissenschaften Bd. 22, 2012  
Landwirtschaft und Agrarwissenschaften im ökonomischen und ökologischen Spannungsfeld  
Hrsg.: W. Merbach, F. Herbst, S. Müller  
Verlag Dr. Köster, Berlin, S. 6-53

## **Die Entwicklung des $N_{an}$ -Verfahrens in Mitteldeutschland im Vergleich zur $N_{min}$ -Methode**

Friedhelm HERBST und Siegfried MÜLLER

### **Einleitung**

In der agrochemischen Bodenuntersuchung wurden seit ihrem Beginn vor ca. 150 Jahren zahlreiche Methoden entwickelt, die vor allem dazu dienen, die Düngemittel effizienter einzusetzen. Die Untersuchung auf anorganischen bzw. mineralischen Stickstoff ( $N_{an}$  bzw.  $N_{min}$ ) gehört zu den jüngsten Methoden, welche aber eine sehr breite Anwendung in der landwirtschaftlichen Praxis gefunden hat. Sie wurde zu Beginn der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts an mehreren Orten Deutschlands aufgegriffen. In Halle/S. wurden die Grundlagen für das  $N_{an}$ -Verfahren erarbeitet. Die Entwicklung zu einem praxisanwendbaren Verfahren erfolgte unter Federführung des Institutes für Düngungsforschung Leipzig-Potsdam der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR durch zahlreiche Institutionen und insbesondere den Bereich Agrochemische Untersuchung und Beratung (ACUB) des Institutes für Pflanzenernährung Jena der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR. Maßgeblich wurde diese Entwicklung durch die Wissenschaftler Joachim GARZ, Hermann STUMPE und Siegfried MÜLLER bestimmt. Nachfolgend werden die Entwicklung aufgezeigt und alle diejenigen benannt, die eng an der Erarbeitung des Verfahrens und deren Grundlagen mitgewirkt haben.

### **Ausgangspunkt**

Bereits Anfang des 19. Jahrhunderts wurde die Bedeutung von Fruchtfolgen erkannt, und es rückte die Wirkung der Vorfrucht ins Blickfeld des Acker- und Pflanzenbaues, z.B. durch THAER u.a. Erst mit dem zunehmenden Einsatz von Mineraldüngern ab Mitte des 20. Jahrhunderts ging man dann der Frage nach, wie die Vorfruchtunterschiede durch die Anwendung von Düngemitteln ausgeglichen werden können. Die Untersuchungen zeigten, dass der Stickstoff hierbei eine besondere Rolle spielt (ANSORGE, 1960, RÜTHER, 1960, MAAß, 1961, EHRENPFOEDT, 1964, MÜLLER, 1965). Dabei konnten Wirkungsunterschiede auch durch eine Bestimmung von anorganischem Stickstoff im Boden nachwiesen werden (SCHÖNBORN und BERTELJS-MENSCHOIJ, 1934, MAAß, 1955, NOMMIK, 1966, MERCIK, 1966), wobei diese Bodenanalyse anfänglich insbesondere in den Niederlanden angewendet wurde (HARMSSEN, 1959, VAN DER PAAUW, 1962, KOLENBRANDER, 1968, DIJK, 1972).

Die Bodenuntersuchung auf pflanzenverfügbare Nährstoffe ist bereits seit Mitte des 19. Jahrhunderts von wissenschaftlichem Interesse und fand auch bald danach vereinzelt eine praktische Anwendung (BERGMANN, 1990). In Ostdeutschland war sie ab 1952 für die Grund-

nährstoffe (P, K) und den Kalkversorgungszustand des Bodens (pH-Wert) gesetzlich vorgeschrieben. Die als „Systematische Bodenuntersuchung“ bezeichnete Analyse umfasste alle für die Düngung relevanten Makro- und Mikronährstoffe - außer dem Stickstoff. Es entstanden daher Bestrebungen, auch für den Stickstoff eine praxisrelevante Bodenuntersuchungsmethode zu entwickeln.

Auf dem Julius-Kühn-Versuchsfeld der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg bestanden seit 1949 7 Dauerdüngungsversuche (gegenwärtig noch 5), an denen unter Leitung von Karl SCHMALFUß umfangreiche Boden- und Pflanzenuntersuchungen vorgenommen wurden. Auch hier war eine Untersuchung auf pflanzenverfügbaren Stickstoff bis in die 1970er Jahre nicht eingeschlossen, aber überfällig.

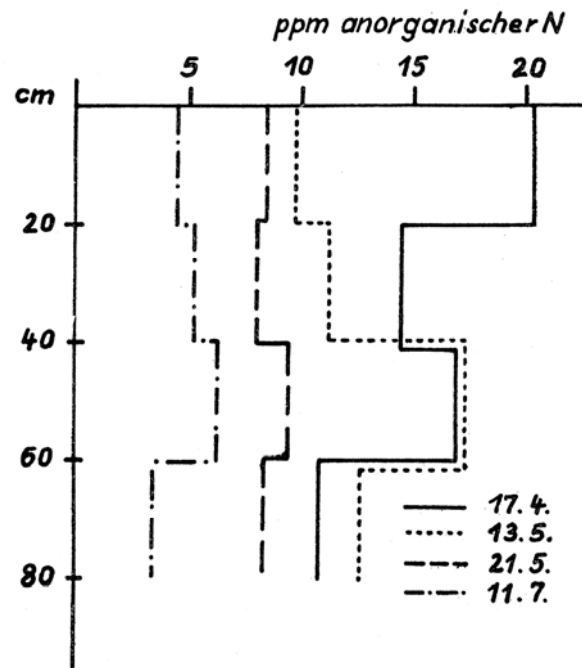
Im Schnittpunkt der Bemühungen, den Vorfruchtwert der Ackerfrüchte zu erfassen, die N-Düngung im Frühjahr zu teilen und auch für den pflanzenaufnehmbaren Stickstoff eine praktikable Methode zu entwickeln, begannen Ende der 1960er Jahre an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg entsprechende Untersuchungen. Die Zielstellung bestand darin, den im Boden vorhandenen pflanzenverfügbaren Stickstoff direkt durch eine Bodenuntersuchung zu bestimmen und daraus Rückschlüsse für die Bemessung der mineralischen N-Düngung zu ziehen. Von ausschlaggebender Bedeutung für den späteren Erfolg erwies sich, dass die Bodenuntersuchungen von Beginn an bis in tiefere Bodenschichten vorgenommen wurden.

Die Entwicklung des  $N_{an}$ -Verfahrens wurde entscheidend dadurch bestimmt, dass Ende der 1960er Jahre in einer umfangreichen Gemeinschaftsarbeit verschiedener wissenschaftlicher Institutionen Ostdeutschlands unter Leitung von Hermann ANSORGE ein ökonomisch-mathematisches Rechner-Modell für optimierte Düngungsempfehlungen entwickelt wurde (ANSORGE u.a., 1971). Die Berechnung des Mineraldüngerbedarfes erfolgte für den Stickstoff mit Hilfe der nichtlinearen Optimierung über Produktionsfunktionen (GÖRLITZ u.a., 1970). Alle weiteren Entwicklungen hinsichtlich der Düngungsberatung mussten mit diesem System passfähig sein und eine Erweiterung war nur durch Zusatzmodelle möglich. Die Entstehung des  $N_{an}$ -Verfahrens erfolgte daher in enger Abstimmung mit der Schaffung der rechnergestützten Düngungssysteme (DS 69 über DS 73, DS 79 bis DS 87).

Diese Abhängigkeit machte Kompromisse erforderlich. Bei der Entwicklung des Verfahrens konnte daher nicht den theoretischen Überlegungen gefolgt werden, die notwendige Düngern-Menge direkt aus der Differenz zwischen dem N-Bedarf der Pflanzen und der N-Bereitstellung aus dem Boden abzuleiten (KOLBE u.a., 1972). Diesen Weg wählten später SCHARPF und WEHRMANN (1975) in Westdeutschland, welche keine Nebenbedingungen zu berücksichtigen hatten. Damit etablierten sie etwas zeitversetzt die  $N_{min}$ -Methode.

### **Arbeiten in Halle/S. (ab 1967)**

Die ersten gezielten Untersuchungen, die dem später entstandenen  $N_{an}$ -Verfahren zu Grunde lagen, führte Hermann STUMPE 1967/68 durch. Dabei wurden im Herbst 1967 und im Frühjahr 1968 auf 3 Ackerschlägen der LPG Nauendorf (Saalkreis) mit verschiedenen Vorfrüchten Bodenproben bis 80 cm Tiefe entnommen und auf den Gehalt an löslichem bzw. leichtaufnehmbarem Stickstoff ( $NO_3^-$  und  $NH_4^+$ ) untersucht. Die im Herbst im Oberboden festgestellten Unterschiede in den N-Mengen zwischen den Schlägen waren im Frühjahr weitgehend verschwunden, wobei eine Verlagerung dieses Stickstoffs in den Unterboden eingetreten war. Veröffentlicht wurden diese Ergebnisse erstmals von KOLBE u.a. (1972), wozu auch die Abb.1 zählt.



Gehalte an anorganischem N im Boden während der Vegetationszeit im Frühjahr 1968  
Standort: LPG Nauendorf, Lößschwarzerde

Abb. 1: Erste Ergebnisse zum anorganischen Stickstoff ( $N_{an}$ ) von KOLBE u.a. (1972)

Nachfolgend wurden im Versuchsjahr 1968/69 Untersuchungen an 10 Standorten des Bezirkes Halle auf jeweils 2 Winterweizenschlägen mit verschiedenen Vorfrüchten bis 100 cm Tiefe vorgenommen und in Parzellenversuchen auch der Einfluss einer steigenden N-Düngung der Vorfrüchte geprüft (STUMPE und GARZ 1974, GARZ, 1975). Eine zusammengefasste Auswertung der in den Anfangsjahren durchgeführten Untersuchungen hat STUMPE (1977a) in seiner Dissertation B (Habilitationsschrift) vorgenommen. Die Untersuchungen ergaben eine enge Korrelation der gefundenen  $N_{an}$ -Mengen mit den N-Entzügen des nicht mit Stickstoff gedüngten Getreides sowie mit der Höhe der optimalen N-Düngung. Während sich bei der Bodenprobenahme im Herbst vorfruchtbedingte Unterschiede im  $N_{an}$ -Gehalt auf die Schicht 0-40 cm beschränkten, erstreckten sie sich im Frühjahr als Folge der über Winter eingetretenen Abwärtsverlagerung auch auf die darunterliegenden Schichten (Tab. 1).

Diese Untersuchungen haben den Nachweis erbracht, dass die verschiedenen Vorfrüchte und deren differenzierte N-Düngung unterschiedliche Mengen an anorganischem Stickstoff im Boden zurücklassen. Damit wurde die Notwendigkeit für ein Bodenuntersuchungsverfahren zum pflanzenaufnehmbaren Stickstoff belegt. Diese Analyse stellte daher eine aussichtsreiche Ergänzung zu den EDV-gestützten Düngungsempfehlungen, vorerst zu Getreide, dar.

Die Durchführung der Versuche in den Anfangsjahren in einer Vielzahl von Praxisbetrieben lässt darüber hinaus auch erkennen, dass es sich hierbei nicht nur um Grundlagenuntersuchungen handelte. Vielmehr sollten mit diesen Untersuchungen unmittelbar in den Betrieben auch eine höhere Effektivität der N-Düngung erreicht sowie Wege zur Verminderung von N-Verlusten und Umweltbelastungen aufgezeigt werden.

Neben diesen sehr praxisnahen Untersuchungen erfolgten während dieser Zeit auch zahlreiche Modelluntersuchungen, welche anfangs noch unter der Leitung von Karl SCHMALFUß und nach seiner Emeritierung (1969) unter der Leitung von Joachim GARZ standen. Diese Untersuchungen betrafen vor allem die Methodik der Bodenanalyse, die Dynamik des Boden-N sowie den Stickstoff, der den Pflanzen aus dem organischen Pool des Bodens zur Verfügung steht. Dazu zählen die Untersuchungen von LENZ (1968), SPITZL (1970), GARZ u.a.

(1969), GARZ und SPITZL (1970), MAIBAUM (1971), SPITZL und GARZ (1974). Hervorzuheben sind auch die ersten Untersuchungen zur Strohdüngung (SCHMALFUß und KOLBE, 1959, GARZ, 1967, KOLBE und STUMPE, 1968). Alle diese Untersuchungen haben wesentlich dazu beitragen, das Verständnis für die Veränderungen des anorganischen Stickstoffs im Boden zu verbessern und waren eine Grundlage für die Entstehung des  $N_{an}$ -Verfahrens.

Tab. 1: Ergebnisse von STUMPE und GARZ (1974) zur  $N_{an}$ -Wirkung

Jahresmittelwerte der  $N_m$ - und  $N_a$ -Mengen des Bodens sowie der Erträge und N-Entzüge des nicht mit N gedüngten Winterweizens (im Mittel der 5 Varianten)

Jahr	$N_m$ 0...60 cm (kg/ha)	$N_a$ 0...100 cm (kg/ha)	Summe $N_a + N_m$	Winterweizen ohne N-Düngung	
				Kornertrag (dt/ha)	N-Entzug (kg/ha)
1969	73	90	163	53,5	102
1970	94	109	203	49,5	77
1971	157	83	240	35,0	70
1972	79	178	257	61,2	124

Aus diesen Untersuchungen heraus wurde auch frühzeitig (ab 1969) geprüft, den mineralisierbaren Boden-N ( $N_m$ , 14-tägige Bebrütung bei 30 °C) mit in die Düngungsberatung einzu beziehen (STUMPE, 1977 a, b). Die  $N_m$ -Mengen wiesen aber in keinem Versuchsjahr signifikante Unterschiede in Abhängigkeit von den Vorfrüchten auf. Deutliche Unterschiede lagen allerdings zwischen den Jahren vor (Tab. 2). Im Gegensatz zum  $N_a$  bestanden zwischen dem  $N_m$  und dem Ertrag sowie N-Entzug von Winterweizen keine Beziehungen. Die Berücksichtigung des mineralisierbaren Stickstoffs wurde deshalb bei der Entwicklung des  $N_{an}$ -Verfahrens nicht weiter verfolgt. Trotzdem wurden danach noch sehr umfangreiche Untersuchungen zu dieser N-Fraktion vorgenommen.

Tab. 2: Ergebnisse von STUMPE (1977b) zum mineralisierbaren ( $N_m$ ) und anorganischen ( $N_a$ ) Stickstoff

Jahresmittelwerte der  $N_m$ - und  $N_a$ -Mengen des Bodens sowie der Erträge und N-Entzüge des nicht mit N gedüngten Winterweizens (im Mittel der 5 Varianten)

Jahr	$N_m$ 0...60 cm (kg/ha)	$N_a$ 0...100 cm (kg/ha)	Summe $N_a + N_m$	Winterweizen ohne N-Düngung	
				Kornertrag (dt/ha)	N-Entzug (kg/ha)
1969	73	90	163	53,5	102
1970	94	109	203	49,5	77
1971	157	83	240	35,0	70
1972	79	178	257	61,2	124

Für den anorganischen und mineralisierbaren Stickstoff im Boden wurden von allen Wissenschaftlern – abgestimmt im Forschungskollektiv *Düngungssysteme* – anfangs die Abkürzun-

gen  $N_a$  und  $N_m$  benutzt. Da es beim  $N_a$  häufig zu Verwechslungen mit Na (Natrium) kam, wurde ab 1978 für den anorganischen Stickstoff das Symbol  $N_{an}$  verwendet. Der mineralisierbare Stickstoff wurde seitdem mit dem Symbol  $N_{pot}$  (für potentiell verfügbar) abgekürzt.

Die Untersuchungen in Halle/S. blieben nicht nur auf den Boden beschränkt. Unter der Leitung von Joachim GARZ wurden ab 1967 ebenfalls intensive Untersuchungen zur Pflanzenanalyse auf Stickstoff durchgeführt. Auch diese hatten das Ziel, die Grundlagen für eine praxisangewandte Methode zu entwickeln. Die Ergebnisse wurden in der Dissertation von MÜLLER (1972) sowie MÜLLER und GARZ 1975 niedergelegt und gingen in das vom Institut für Pflanzenernährung Jena entwickelte Pflanzenanalysenverfahren ein (VIELEMEYER u. a., 1972).

Die in Halle/S. an der Entstehung des  $N_{an}$ -Verfahrens maßgeblich beteiligten Wissenschaftler waren anfangs am Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde und nach der Hochschulreform 1969 am Lehrstuhl *Ackerbau (Düngung)* tätig. Im Jahre 1974 erfolgte die Bildung des Lehrkollektivs *Düngung* unter Leitung von Joachim GARZ, an dem die Forschungen zum anorganischen Boden-N vorrangig erfolgten.

In diesem Zeitraum begannen auch an den fruchtartsspezifischen Lehrkollektiven der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg untereinander abgestimmte Untersuchungen zum  $N_{an}$ . Hervorzuheben sind dabei die frühzeitigen Forschungen am Lehrkollektiv *Getreidebau* zu Braugerste unter Leitung von Hans-Joachim WICKE (AWAADORSH u.a., 1978, GARZ und WICKE, 1980). Danach wurden ebenso an den anderen Lehrkollektiven Untersuchungen vorgenommen und die Ergebnisse auch in Dissertationen zusammengefasst (AWAADORSH, 1977, HARTMANN, 1984, STIEBERITZ, 1984, FRIEBLEBEN, 1985, HARTMANN, 1986, ALTZSCHNER, 1987, HINZ, 1987). Anfang der 1980er Jahre erfolgte an der Sektion Pflanzenproduktion die Bildung eines Jugendobjektes zum anorganischen Boden-N, welches anfangs unter der Leitung von Wilfried SCHLIEPHAKE und später von Carola MÄTJE stand. Aus den in Halle/S. und in Instituten der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR entstandenen Ergebnissen wurden unter Leitung des Instituts für Düngungsforschung Leipzig-Potsdam Empfehlungen für den Anbau von Kartoffeln (STIEBERITZ u.a., 1986), Zuckerrüben und Ackerfutter (SCHÖBERLEIN u.a., 1995, DELLING, u.a., 1997) erarbeitet.

Ein besonderes Augenmerk wurde in Halle/S. von Beginn an auf die Methodik der Untersuchungen gelegt. Eine herausragende Bedeutung für die verwendete Methode spielten dabei die Untersuchungen von BREMNER (BREMNER 1965, BREMNER und KEENEY, 1966), wonach für die Extraktion des Bodens eine 2 N KCl-Lösung (10 ml/g Boden) empfohlen wird. Mit dieser Extraktionsmittellösung wurden deshalb in Halle/S. von Beginn an die Untersuchungen vorgenommen. Die Anfang der 1970er Jahre entwickelte Analysenmethode setzte sich aus folgenden Verfahrensschritten zusammen, welche später teilweise Veränderungen erfahren haben:

1. Einwaage von 10 g getrocknetem und auf 2 mm gesiebttem Boden
2. Extraktion des Bodens mit 100 ml 2 N KCl-Lösung für 1 Stunde
3. Filtration der Bodenaufschlammung
4. Destillation von 20 ml Bodenlösung unter Verwendung von MgO-Pulver zur Alkalisierung und Devarda-Legierung zur Nitratreduktion für eine getrennte Analyse von Ammonium- und Nitrat-N
5. Titration des Destillates mit 0,005 N  $H_2SO_4$ .

Bis sich diese Methodik endgültig durchgesetzt hatte, wurden umfangreiche Untersuchungen zu verschiedenen Einflussfaktoren durchgeführt. Dabei wurden u.a. das Extraktionsverhältnis, das Unterlassen der Filtration der Bodenaufschlammung und die Möglichkeiten der Alkalisierung der Bodenlösung geprüft. Eine zusammenfassende Betrachtung von methodischen Fra-

gen, insbesondere auch zur Probenvorbereitung und -lagerung hat RICHTER (1980) in seiner Dissertation vorgenommen.

Die unter der Anleitung von GARZ und STUMPE angefertigten Dissertationen zeigen im besonderen Maße die jeweiligen Forschungsschwerpunkte und -fortschritte auf. Seit der Bildung des Lehrkollektivs *Düngung* im Jahre 1974 wurden dort bis zu seiner Auflösung im Jahre 1991 von folgenden Mitarbeitern Dissertationen (A) angefertigt, welche alle mehr oder weniger den anorganischen Stickstoff zum Gegenstand hatten: REICHE (1974), HERBST (1976), HECHT (1977), QUAN (1978), BOESE (1978), SPÖRL (1980), RICHTER (1980), ROSSBACH (1982), AZIZ (1983), SCHLIEPHAKE (1984), SCHUSTER (1987), CHAANIN (1988), PANAJOTOV (1988), ABDALLAH (1988), WRANKMORE (1990), RENELT (1993) und VINGRAS (1994).

Die unter Feldbedingungen durchgeführten Versuche wurden auf zahlreichen Standorten Mitteldeutschlands sowohl auf Versuchstationen (u.a. in Halle, Schafstädt, Seehausen, Spröda, Noitzsch) als auch auf Praxisschlägen (u.a. in Nauendorf, Beetzendorf, Mehrin, Cobbelsdorf, Wörlitz, Blankenheim) vorgenommen. Dadurch wurde nicht nur ein breites Bodenartenspektrum erfasst, sondern sind auch frühzeitig sehr viele Mitarbeiter an diesen Standorten mit der neuartigen Bodenuntersuchung konfrontiert worden. Außerdem haben diese Mitarbeiter bei der aufwendigen Probenahme Unterstützung gegeben. Durch die Probenahme bis mindestens 1 m Tiefe wurden dabei oftmals auch neue Erkenntnisse über den Standort gewonnen, welche zuvor zwar bei der (Reichs-Bodenschätzung) ermittelt wurden, aber nicht bekannt waren.

Bei einer Vielzahl der Versuche wurde zur Simulation unterschiedlicher Düngerrestmengen mineralischer Stickstoff im Herbst verabreicht. An diesem Stickstoff wurden seine Verlagerung während der Wintermonate und seine Pflanzenaufnehmbarkeit aus dem Unterboden geprüft (Abb. 2, Abb. 3).

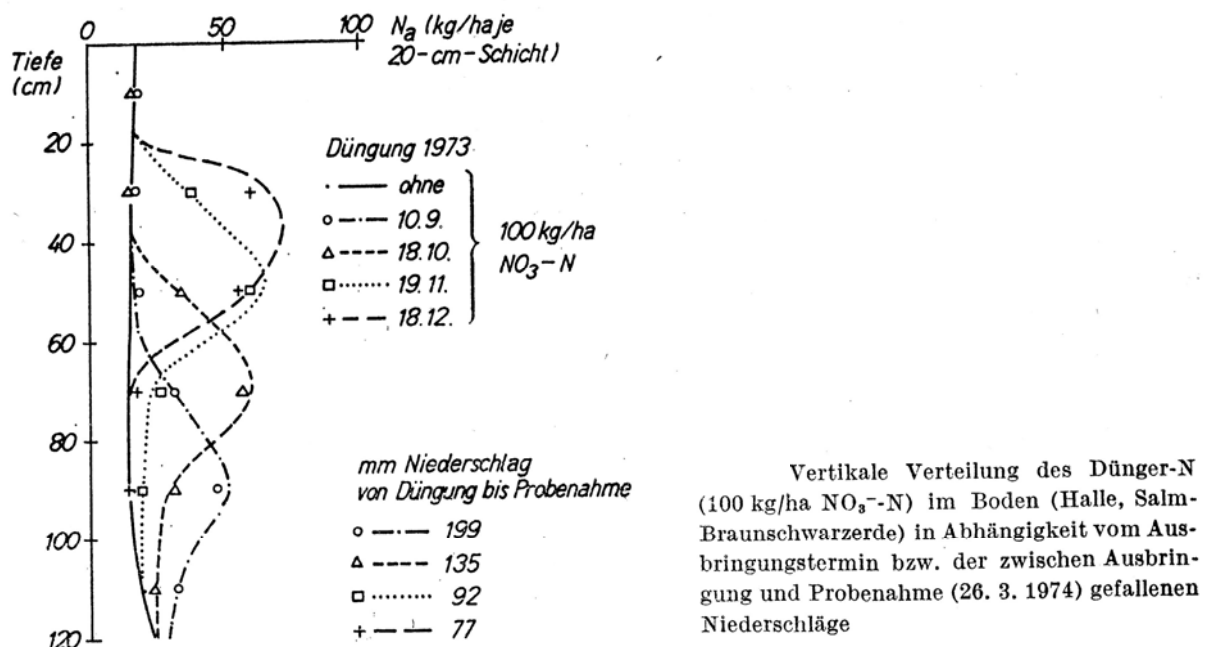


Abb. 2: Ergebnisse von GARZ und STUMPE (1977) zur N-Verlagerung

In den Feldversuchen wurde oftmals ebenfalls Chlorid als Modellsubstanz für die Nitratverlagerung zugeführt und analytisch bestimmt. Dadurch konnten die ermittelten Verlagerungskoeffizienten für das Nitrat exakter beschrieben werden, welche für die Veränderungen des  $N_{an}$