

Zusammenfassender Bericht über den Workshop: N_{\min} -Bestimmungen und deren Anwendung in der Praxis am 23. März 1988 in Graz

K.-W. BECKER

Mehr als 100 Interessierte folgten am 21.03.1998 einer Einladung der Österreichischen Arbeitsgruppe Lysimeter zu einem Workshop über das Thema N_{\min} nach Graz. Der fachliche Rahmen wurde durch 9 Übersichtsreferate eingegrenzt.

B. DELLER und H. PFLEIDERER berichteten für Baden-Württemberg, U. HEGE für Bayern und U. WALTHER für die Schweiz über den Stand und die Erfahrungen mit dem Einsatz der Methode zur Ermittlung der zweckmäßigen N-Düngerhöhe zu landwirtschaftlichen Kulturen. B. SCHEFFER und K.-W. BECKER gaben für Norddeutschland einen Erfahrungsbericht über den Einsatz der N_{\min} -Methode zur Steuerung des Nitratreintrags in das Grundwasser, besonders in Wassereinzugsgebieten. A. DEUTSCH, A. BAUMGARTEN und C. GSCHIEL stellten ihre Erkenntnisse aus der N_{\min} -Methode zur N-Düngerbemessung in Österreich vor. Sie konzentrierten sich auf mehrjährige Feldversuche mit den Fruchtarten Mais und Gemüse, Fruchtarten also, die unter dem Aspekt der Nitratbelastung des Grundwassers als problematisch bekannt sind. Schließlich erläuterte O.H. DANNEBERG die 4. Auflage der „Richtlinien für sachgerechte Düngung“ vom Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz beim Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, die besonders hinsichtlich der Empfehlungen zur Stickstoffdüngung überarbeitet worden ist.

Die Vorträge konnten nur einen Überblick vermitteln, ein wesentlicher Teil der Problematik wurde in der angeregten Diskussion behandelt und häufig, aber keineswegs immer, geklärt. Es liegt in der Natur der N_{\min} -Methode, daß nach 21 Jahren Erfahrung mit ihr noch zahlreiche Fragen offen sind. Ich versuche nun, die wichtigsten Aspekte zur Thematik und zum Stand der Diskussion auf der Veranstaltung wiederzugeben.

Was versteht man unter N_{\min} ?

Der Begriff N_{\min} geht auf SCHARPF und WEHRMANN (1977) aus Hannover zurück, die darunter die Menge an NH_4^+ und NO_3^- in kg N/ha im Boden (in 3 gleichen Tiefenabschnitten der oberen 90 cm eines Bodens) verstehen, die mit 1 m NaCl- + 0,1 m $CaCl_2$ -Lösung extrahierbar ist. Nach umfangreichen Prüfungen empfehlen diese Autoren eine aufwendige Probennahme mit 16 Bohrungen auf einem 1 ha großen repräsentativen Teilareal für die Mischprobe eines Schlages, eine geschlossene Kühlkette für Transport und Weiterverarbeitung sowie eine rasche und wenig fehlerträchtige Extraktion und Analyse der Proben. Sie belegen, daß dieser N_{\min} bei der Bemessung der N-Versorgung von Kulturpflanzen mineralischem Dünger-N gleichzusetzen ist.

Die Referenten waren sich einig über die herausragende Bedeutung einer sorgfältigen Probennahme und Analytik. Diese strengen Anforderungen dürfen nicht aus Kosten- oder anderen Gründen aufgegeben werden, da mit ihnen der erfolgreiche Einsatz der Methode steht und fällt. Die häufig beklagte Knochenarbeit der Probennahme kann heute durch verschiedene Techniken erheblich erleichtert werden. Es werden für eine fünfstellige Euro-Summe vollautomatisch arbeitende Geräte, aber auch diverse Teilautomatisierungen und -hilfen angeboten. Ferner gibt es Bohrgeräte, die wegen ihres geringen Durchmessers häufig per Hand in den Boden gedrückt werden können.

Dennoch wird die N_{\min} -Methode immer noch nicht im wünschenswerten Ausmaß genutzt und eine Ausweitung ihrer Anwendung durch den hohen Arbeits- und damit Kostenaufwand begrenzt. Eine rege Nachfrage erfährt sie immer dann, wenn die Kosten vollständig oder zumindest teilweise bezuschußt werden, z.B.

durch Wasserwerke, staatliche Einrichtungen mit dem Ziel des Grundwasserschutzes, Anbauverbände für Zuckerrüben und andere Kulturen, etwa Gemüse. Es hat inzwischen zahlreiche - regional durchaus unterschiedliche - methodische Entwicklungen und Vereinfachungen der Probennahme und der Analytik gegeben. Für das Ergebnis der Messungen wurde regelmäßig der Begriff N_{\min} beibehalten, auch dann, wenn die methodischen Veränderungen erhebliche Auswirkungen auf die Höhe des N_{\min} -Wertes haben.

Die wichtigste Änderung betrifft den Anteil des Ammoniums im N_{\min} -Wert, der ja die pflanzenverfügbare Menge angeben soll. Chemisch gesehen handelt es sich um die austauschbar gebundene NH_4^+ -Fraktion des Bodens, die nach BREMNER durch eine 2 m KCl-Lösung extrahiert werden kann. Schon die 1 m NaCl-Lösung der Original- N_{\min} -Methode erfaßt nach unseren Erfahrungen nur 80 bis 90 % des mit 2 m KCl extrahierbaren NH_4^+ . Die meisten Untersuchungseinrichtungen extrahieren den Boden heute mit einer 0,01 m $CaCl_2$ -Lösung und erfassen damit das austauschbar gebundene Ammonium nur zu 10 bis 35 %, abhängig vom Humus- und Tongehalt sowie der Tonmineralart. Die möglichen Fehler dadurch sind häufig gering, insbesondere bei Unterbodenproben mit ohnehin überwiegend sehr geringen Ammoniumgehalten. Gravierende Minderbestimmungen können in der Ackerkrume auftreten. Das ist regelmäßig der Fall, wenn zwischen der letzten Zufuhr ammoniumhaltiger Düngemittel, besonders Gülle, Jauche, Stallmist und der Probennahme erst kurze Zeit verstrichen ist. Je nach Witterung ist ein Zeitraum von bis zu 2 Monaten nach der Ammoniumzufuhr anzusetzen, in dem die Analytik zu niedrige NH_4^+ -Werte ausweist. Das Nitrat dagegen wird mit der 0,01 m $CaCl_2$ -Lösung vollständig erfaßt.

Autor: Dr. Klaus-Wenzel BECKER, Institut für Bodenwissenschaft, Von Siebold-Straße 4, D-37075 GÖTTINGEN

In Baden-Württemberg verzichtet man mittlerweile vollständig auf die Messung des Ammoniums. Das hat erhebliche organisatorische Vorteile. Bei Beachtung eines vorgegebenen Ablaufes kann man die Proben ohne wesentliche Verfälschung des Nitratgehaltes trocknen, was den weiteren Analysenablauf erleichtert. Es werden z.B. spätere Kontrollmessungen möglich.

Betriebe, die regelmäßig mit Gülle, Stallmist oder Jauche düngen, sollten unbedingt auf einer korrekten Erfassung des Ammoniums ihrer Ackerkrumen-Proben bestehen. Ein Meßwert, der gelegentlich unerkannt und in variabler Größenordnung zu niedrig ausfallen kann, ist seinen Preis nicht wert, auch nicht einen Sonderpreis wegen vereinfachter Analytik.

Eine weitere praktizierte Vereinfachung ist die Beschränkung der Probennahme und Untersuchung auf 2 Bodentiefen und die Berechnung des N_{\min} -Gehaltes der Bodenschicht 60-90 cm. Der Verlust an Genauigkeit bleibt meist in vertretbaren Grenzen, wenn ausreichend Informationen über die regional typische Tiefenverteilung des N_{\min} in einem betrachteten Zeitabschnitt vorliegen. In Bayern und in Baden-Württemberg geht man diesen Weg erfolgreich, indem man durch umfangreiche Untersuchungen die Basis für den Rechenweg schafft. Die Grenzen der Vereinfachung werden durch die Repräsentanz der Testflächen und ihrer Übertragbarkeit auf den Einzelschlag gelegt. Über die Testflächen wird das Ausmaß der Nitratverlagerung als Folge der Jahreswitterung z.B. gut erfaßt, nicht aber schlagspezifische Besonderheiten wie eine intensive Denitrifikation im unteren Teil des Wurzelraums. Ferner kann jede besondere Bewirtschaftungsmaßnahme zu einer mehr oder weniger großen Abweichung des Schätzwertes vom tatsächlichen N_{\min} -Wert führen.

Was drückt der N_{\min} -Wert aus?

N_{\min} -Messungen zu Vegetationsbeginn von Winterkulturen

Ursprünglich entwickelt wurde die N_{\min} -Methode mit einer Probennahme zu Vegetationsbeginn, meist Februar bis Anfang März, zur Abschätzung der Höhe der 1. N-Gabe zu Wintergetreide. Nach wie vor wird dieser Einsatzbereich am

wenigsten infrage gestellt. Der N_{\min} -Wert ist Ausdruck für eine Vielzahl von Bewirtschaftungsmaßnahmen, Prozessen und Eigenheiten eines Schlages. Dazu zählen Einflüsse von Art, Düngung, Ertrag und Erntezeit der Vorfrucht, die mögliche N-Düngung und pflanzliche N-Aufnahme vor Winter, der witterungsabhängige Umsatz von Stickstoff wie Mineralisation, Immobilisierung, Denitrifikation sowie das boden- und witterungsabhängige Verlagerungsgeschehen des Bodenwassers. Damit beinhaltet der N_{\min} -Wert neben einem sicher einkalkulierbaren pflanzenverfügbaren Stickstoffbetrag auch eine gewisse Information über das Mineralisationsverhalten eines Bodens. Regelmäßig unerwartet hohe oder sehr niedrige N_{\min} -Werte finden so ihre Erklärung. Der Einsatz der N_{\min} -Methode vor Vegetationsbeginn zu Winterkulturen ist weit verbreitet und wenig problematisch. Allgemein üblich ist die Auffüllung des N_{\min} -Wertes durch Düngung auf einen regional- und kulturspezifischen Sollwert.

Ungeeignet ist die N_{\min} -Methode überall dort, wo die Böden so wenig Wasser speichern können, daß in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge regelmäßig mit einer vollständigen Durchwaschung des Wurzelraumes während der Wintermonate zu rechnen ist. Das sind leichte sowie geringmächtige Böden. Mittelfristig hat das Verfahren zu einer Nivellierung des N_{\min} geführt, extreme Werte sind spürbar seltener geworden. Aber es treten immer noch so viele Überraschungen auf, daß eine Einschränkung des Untersuchungsaufwandes über die genannten Vereinfachungen hinaus nicht ratsam erscheint.

N_{\min} -Messungen zu Sommerkulturen

Im wesentlichen geht es um die Düngerbemessung von Zuckerrüben, Mais, Kartoffeln und Sommergetreide. Der Unterschied zu den Winterkulturen besteht darin, daß die N-Aufnahme der Sommerkulturen in eine Zeit fällt, in der die natürliche Mineralisation von Boden-N bereits wieder abklingt. Für den Probenahmezeitpunkt haben sich daraus 2 unterschiedliche Ansätze entwickelt.

In Deutschland wählt man häufig einen Termin vor der Aussaat und Düngung der Kulturen (z.B. Mitte März) und erhält ein sicheres Ergebnis mit gleichem

Aussagewert wie bei den Winterkulturen. Man verzichtet auf die Möglichkeit, die Mineralisation oder zumindest ihren größeren Teil abzuwarten und im Meßwert zu erfassen. Die für die Bemessung der Gesamtmenge an Dünger-N so wichtige Abschätzung der Mineralisation bleibt weiterhin der Erfahrung und Beobachtungsgabe des Bewirtschafters überlassen.

In Österreich und in der Schweiz wählt man einen möglichst spät liegenden Probenahmetermin, z. B. im 4-6-Blattstadium von Rüben oder Mais, der folglich einen hohen Anteil der Mineralisation erfaßt. Dieser prinzipielle Vorteil gegenüber dem früheren Termin muß leider durch eine Reihe von Nachteilen erkaufte werden:

- Die Probennahme fällt in eine Zeit, in der täglich zwischen 2 und bis zu 10 kg Stickstoff je ha mineralisiert und nitrifiziert werden. Eine Verschiebung der Probennahme um wenige Tage kann das Ergebnis spürbar beeinflussen. Im Versuchsmaßstab mag dieser Einfluß noch kalkulierbar sein, in der Praxis sind jedoch größere Unsicherheiten zu erwarten.
- Der Zeitraum zwischen der Probennahme und einer N-Düngung, die auf dem Analyseergebnis aufbaut, ist auf wenige Tage begrenzt.
- Der zeitliche Ablauf der Mineralisation verschiebt sich in den einzelnen Jahren in Abhängigkeit vom Jahresklima und der klimatischen Situation des einzelnen Schlages. Es ist schwer erkennbar, ob ein N_{\min} -Wert aus der zweiten Maihälfte nur 50 oder bereits 80 % der Frühsommer-Mineralisation enthält.
- Ein wesentlicher Teil der N-Düngung, z.B. Unterfuß-Düngung, Gülle, Jauche, Stallmist, wird praxisüblich bereits vor oder bei der Saat ausgebracht. Eine N_{\min} -Messung zum Zeitpunkt der Jugendentwicklung der Pflanzen kann nur noch Einfluß auf die Höhe der möglicherweise ohnehin geringen Spätdüngung haben.
- N_{\min} -Werte parallel entnommener Bodenproben streuen während der Mineralisation stärker, da mikrobielle Prozesse nicht besonders homogen ablaufen. Einflüsse von Fahrspuren oder inhomogener Beimengung von Ernterückständen wirken sich stärker aus, als beim frühen Probenahmetermin.

- Auch die N-Düngergaben vor der Saat erhöhen die Heterogenität der Nitratverteilung im Boden. Ich erinnere hier an den bisher nicht befriedigend geklärten Priming Effekt.

Zusammenfassend stelle ich fest, daß die Frage der zweckmäßigeren N_{\min} -Messung für Sommerungen im März oder im Mai für mich noch nicht abschließend geklärt ist. Deshalb sollten zumindest im Versuchsmaßstab beide Termine weiterhin geprüft werden. Möglicherweise gibt es auch regional klimatisch bedingte Vorzüge für den frühen oder den späteren Termin.

N_{\min} -Messungen zur Beurteilung des Austrags von Nitrat aus Böden

In den vergangenen Jahren hat es zahlreiche Versuche gegeben, die Verlagerung von Nitrat aus landwirtschaftlich genutzten Böden mit Hilfe der N_{\min} -Methode zu quantifizieren. Diese Möglichkeit besteht nur, wenn einige Voraussetzungen erfüllt sind. Der Boden muß tiefgründig aus feinkörnigem Lockermaterial bestehen, in dem das Wasser homogen und nicht in präferenziellen Bahnen abwärts fließt. Diese Bedingung ist regelmäßig auf mächtigen Lößdecken mit tief liegendem Grundwasserspiegel erfüllt. Flachgründige Böden, Tone, Kiese und häufig auch Sandböden eignen sich dagegen nicht. Ferner muß die Wasserbilanz und damit die jährliche Sickerwassermenge für einen Boden für einige Jahre rückwirkend bekannt sein. Allerdings genügen relativ grobe Vorstellungen zur jährlichen Sickerwasserrate.

Die Grundvorstellung bei diesem Vorgehen ist die, daß ein Boden unterhalb der Wurzelzone das ganze Jahr über einen Wassergehalt nahe Feldkapazität aufweist und daß das vorhandene Bodenwasser samt darin gelösten Inhaltsstoffen durch den Betrag der jährlichen Grundwasserneubildung abwärts verdrängt wird. Die jährliche Abwärtsverdrängung in dm errechnet sich aus der Jahresrate der Grundwasserneubildung in mm, dividiert durch den Wassergehalt des Bodens bei Feldkapazität in Vol-%. Beispiel: jährliche Grundwasserneubildung 300 mm, Feldkapazität des Bodens = 30 Vol-%, Verlagerungsstrecke des Sickerwassers = 10 dm bzw. 1 m.

Das geschilderte Verfahren hat den Vorzug, daß bei Vorliegen der genannten Voraussetzungen mit einer Momentaufnahme der N_{\min} -Tiefenverteilung das Verlagerungsgeschehen eines Bodens für mehrere zurückliegende Jahre rekonstruiert werden kann. N_{\min} -Werte oberhalb der Wurzelzone sollten dabei unberücksichtigt bleiben, da noch Veränderungen durch pflanzliche Aufnahme und Umsätze im Oberboden zu erwarten sind. Da die Verteilung des Nitrats im Boden mit zunehmender Bodentiefe homogener wird, benötigt man nur wenige Parallelbohrungen für eine zuverlässige Aussage.

Das alternative Verfahren zur Messung der Nitratkonzentration unterhalb der Wurzelzone, die Gewinnung von Bodenlösung über Saugkerzen, hat nur auf flachgründigen Böden Vorteile gegenüber der N_{\min} -Messung. Es liefert prinzipiell ähnliche Ergebnisse. Aussagen zum längerfristigen Austragsverhalten einer bestimmten Wirtschaftsweise sind aber erst nach mehrjährigen Messungen möglich.

N_{\min} -Messungen zur Beurteilung der N-Dünge-Intensität

Ausgehend von den Wasserschutzgebiets-Regelungen in Baden-Württemberg wird die N_{\min} -Methode zunehmend eingesetzt, um im nachhinein Auskünfte über die Intensität der Düngung einzelner Flächen zu erhalten. Dabei geht es um verschiedene Fragen:

- Nachweis der Einhaltung der Regeln einer ordnungsgemäßen Landbewirtschaftung bzw. der guten fachlichen Praxis,
- Nachweis für das Einhalten oder Nicht-Einhalten von Bewirtschaftungsaufgaben, z. B. aufgrund freiwilliger Vereinbarungen oder spezieller Pachtverträge,
- Erfolgskontrolle von Maßnahmen zur Grundwasser-schonenden Flächenbewirtschaftung.

Die Idee bei diesen Fragestellungen besteht darin, daß den Kulturpflanzen nur soviel Stickstoff aus Düngung und Mineralisation zur Verfügung stehen soll, daß sie mit der Ernte einen Boden zurücklassen, der keine nennenswerten Mengen an mineralischem N mehr enthält. Folglich wählt man einen Untersu-

chungstermin nach der Ernte oder nach Abschluß der Haupt-Wachstumszeit, vor Einsetzen der Sickerperiode. Man spricht auch von „Herbst- N_{\min} “, „Nach-ernte- N_{\min} “ oder „vor Winter- N_{\min} “.

Um es vorwegzunehmen: Die Möglichkeiten einer rechtswirksamen Kontrolle der N-Dünger-Wirtschaft von Einzelschlägen im Sinne einer Überwachung wurden skeptisch gesehen. Es gibt zu viele Unabwägbarkeiten, um den lückenlosen Nachweis für eine bestimmte Düngegewohnheit führen zu können. Selbst ein extrem hoher N_{\min} -Wert kann nicht nur das Ergebnis einer unzulässig hohen N-Düngung der Vorfrucht sondern auch das Ergebnis eines in der Vergangenheit stark mit organischen Düngern versorgten Bodens sein, der noch für einige Jahre erhöhte Mineralisationsbeträge aufweist.

Dennoch wird der Herbst- N_{\min} -Wert verbreitet genutzt, um die N-Dünge-Gewohnheiten zu steuern. Diese Praxis wurde vor gut 10 Jahren flächendeckend in den Wassereinzugsgebieten Baden-Württembergs eingeführt. Betriebe erhalten dort einen finanziellen Ausgleich, wenn sie die Bewirtschaftung ihrer Flächen so einrichten, daß ein Herbst- N_{\min} -Wert von 45 kg N/ha nicht überschritten wird. Mittlerweile gelten ähnliche Regelungen in vielen Ländern der Bundesrepublik Deutschland. Die Größen des Herbst- N_{\min} -Kontrollwertes und die der Entschädigung sind nicht einheitlich, sie variieren zwischen den Ländern und zwischen einzelnen Kulturen. Die Entschädigungen an die Flächenbewirtschafteter sowie die Organisation und Abwicklung der Untersuchungen werden in einigen Ländern aus einer Wasserentnahmegebühr, die alle Wasserversorgungsunternehmen bezahlen müssen, in anderen direkt von Wasserwerken mit Nitrat-Problemen im Rohwasser finanziert.

Der Herbst- N_{\min} -Wert wird durch eine Reihe von Einflußfaktoren bestimmt. Je nach Zeitpunkt der Probenahme können Prozesse der Mineralisation, der pflanzlichen Aufnahme oder der Verlagerung das Ergebnis dominieren. Es ist die Aufgabe der Geldgeber und damit der Interessierten an einem geringen Nitrat-austrag, den richtigen Termin für die Probenahme in Abhängigkeit von Kulturart, Bodenart und Witterung vorzugeben.

Die Flächenbewirtschaftler können das Untersuchungsergebnis über die Düngeintensität, den Erntetermin und die Kulturart gravierend prägen. Als Problemfrüchte gelten Raps, Mais, z.T. Kartoffeln und verschiedene Gemüsearten. Die sicherste Methode zur Einhaltung niedriger Nitratgehalte im Boden ist neben einer maßvollen N-Düngung der möglichst lückenlose Bewuchs der Flächen mit Pflanzen. Dem entsprechend zählen Untersaaten und Zwischenfrüchte zu den wichtigsten Maßnahmen der Senkung der Herbst-N_{min}-Werte.

Wegen der häufig langen Wanderungszeit des Wassers zwischen dem Wurzelraum der Pflanzen und der Ankunft im Wasserentnahmebrunnen ist es für einen Nachweis der Wirksamkeit der geschilderten Maßnahmen zur Senkung der Nitratgehalte noch sehr früh. Für einige Wasserwerke mit relativ kurzer Wanderungszeit des Wassers ist ein deutlicher

Rückgang der Nitratgehalte im geförderten Wasser belegt.

„Richtlinien für sachgerechte Düngung“ vom Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit u. Bodenschutz beim Bundesministerium für Land- u. Forstwirtschaft

Als wichtige Neuerung in diesen aktualisierten Richtlinien soll hier die Empfehlung einer Bebrütungsmethode zur Abschätzung der Höhe der N-Mineralisation und Nitrifikation eines Bodens erwähnt werden. Brutversuche für diese Zielsetzung sind keineswegs neu. Nein, seit Jahrzehnten experimentiert man an den verschiedensten Stellen der Erde mit ihnen. Das grundsätzliche Problem besteht darin, daß für jede Bebrütungsmethode vorab eine Vielzahl von Randbedingungen, nach Möglichkeit getrennt für verschiedene Bodenarten und Klima-

räume, geklärt werden müssen. Z.B. der optimale Probenahmezeitpunkt, die Art der Vorbehandlung und Lagerung der Proben, die Einzelheiten des Verfahrens wie Temperatur, Dauer der Bebrütung usw. Der dann ermittelte Meßwert muß in Feldversuchen aufwendig geeicht werden.

Mit einem Brutversuch unter anaeroben Bedingungen hat man für Österreich ein analytisch einfaches Verfahren gewählt. Unter anderen hat sich H.O. DANNEBERG verdient gemacht mit umfangreichen Grundlagenarbeiten, die Voraussetzung für eine praktische Anwendung des Brutverfahrens waren. Die derzeit mögliche Einstufung von Böden in 3 Klassen mit starker, mittlerer und schwacher Mineralisation ist zunächst als vorsichtiger Anfang zu betrachten. Mit etwas Glück wird eine breitere Anwendung in der Praxis die notwendige Erfahrung für eine feinere Differenzierung liefern.