

## Repräsentativität von $N_{\min}$ -Untersuchungen

Urs SCHMIDHALTER, Thomas ALFOELDI und Jakob J. OERTLI, Institut für Pflanzenwissenschaften, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich  
Stefan HENGGELE, Landwirtschaftliche Schule Strickhof, CH-8315 Lindau

### Zusammenfassung

Bodenuntersuchungen stellen räumliche und zeitliche Punktmessungen dar, die für den gewählten Standort repräsentativ sein müssen. Die räumliche Variabilität und die räumliche Abhängigkeit des Mineralstickstoffs wurden deshalb untersucht, und es wurde abgeklärt, wieviele Bodenproben bei  $N_{\min}$ -Untersuchungen genommen werden müssen.

In einem Rechteck von 50 auf 200 Meter wurden, netzartig in 10 Meter Abständen verteilt, je 100 Bodenproben in den Tiefen 0 bis 30, 30 bis 60 und 60 bis 100 cm genommen und auf mineralischen Stickstoff untersucht. Die  $N_{\min}$ -Variationskoeffizienten lagen zwischen 30 bis 47%. Bei 5, 10, 15 beziehungsweise 20 Probeentnahmen kann der  $N_{\min}$ -Mittelwert der Tiefe 0 bis 30 cm  $\pm 26\%$ ,  $19\%$ ,  $15\%$  beziehungsweise  $13\%$  genau geschätzt werden, derjenige der Tiefe 30 bis 60 cm  $\pm 37\%$ ,  $27\%$ ,  $22\%$  beziehungsweise  $19\%$  und etwas weniger genau als letztere ist die Schätzung des  $N_{\min}$ -Wertes der Tiefe 60 bis 100 cm. Repräsentative Probeentnahmen bedingen die Entnahme von 10 bis 15 Proben pro Parzelle. Eine Erhöhung der Probenzahl in den Tiefen 0 bis 30 cm und 30 bis 60 cm zulasten der Probenzahl der Tiefe 60 bis 100 cm erhöht nicht nur die Genauigkeit, sondern stellt auch eine arbeitstechnische Erleichterung dar.

Die Repräsentativität der Probeentnahme stellt nur einen Unsicherheitsfaktor bei der  $N_{\min}$ -Bestimmung dar. Schätzfehler bei der Festlegung der Raumdichte und des Skelettgehaltes sowie analytische Fehler werden diskutiert und Vorschläge zur Verbesserung gemacht.

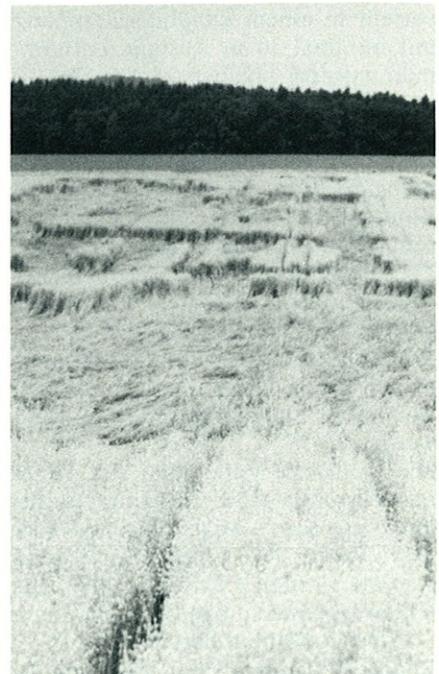


Abb. 1.  $N_{\min}$ -Untersuchungsparzelle.

### Einleitung und Problemstellung

Ertrag, Qualität und Umwelt werden durch zu tief oder zu hoch bemessene Stickstoffgaben nachhaltiger beeinflusst als durch die P- und K-Düngung. In einem frühen Vegetationszeitpunkt lässt sich der pflanzenverfügbare Stickstoff nur durch Messung bestimmen, während in späteren Entwicklungsstadien die Beobachtung der Pflanzenbestände, einfache Pflanzenanalysen oder Kulturmassnahmen

wie Düngungsfenster Prognosen ermöglichen. Stickstoffgaben in einem frühen Vegetationszeitpunkt werden aus dem geschätzten Bedarf der Pflanzen minus dem im Boden vorhandenen pflanzenverfügbaren Stickstoff ( $N_{\min}$ -Methode) ermittelt.

Fehler in der Bemessung ergeben sich aufgrund ungenügender Repräsentativität der Probenahme, bei der Probebehandlung, bei Abweichungen von der angenommenen Lagerungsdichte (MOLITOR 1982) sowie dem geschätzten Skelettgehalt des Bodens und auf-

grund analytischer Fehler (SCHARPF 1977).

In dieser Arbeit wird untersucht, wieviele Bodenproben bei  $N_{\min}$ -Untersuchungen genommen werden müssen, damit eine sinnvolle Genauigkeit erreicht werden kann. Dies ist besonders wichtig, da der zeitliche und organisatorische Aufwand viel höher ist als für andere Bodenuntersuchungen und die räumliche und zeitliche Variabilität von Mineralstickstoff hoch sein kann. Die empfohlenen Bodeneinstiche variieren zwischen fünf bis zwölf pro Par-

### Kleines Lexikon der Fachbegriffe

#### Median (Zentralwert)

Der Medianwert halbiert die der Grösse nach geordnete Reihe der Einzelwerte.

#### Dichtemittel

Maximalwert.

#### Variationskoeffizient

Quotient von Standardabweichung und Mittelwert.

#### Variabilität

Unterschiedlichkeit.

zelle, praxisüblicher sind fünf. SCHARPF (1977) untersuchte den Einfluss steigender Stichprobenzahlen in einer Parzelle von 90×90 Metern. Die Mittelwerte der Mischproben aus 6, 8, 10, 12 und 16 Einstichen, die systematisch verteilt in einem quadratischen Netz mit minimal 30 m Abstand entnommen wurden, ergaben 75, 99, 106, 110 und 106 kg N<sub>min</sub>/ha. SCHARPF (1977) folgert daraus, dass von 10 Einstichen an keine Veränderung des Mittelwertes mehr zu erwarten ist, woraus er die Empfehlung ableitet, aus einem repräsentativen Teilstück einer Parzelle 12 Einstiche zu nehmen. Es gibt relativ viele Untersuchungen, in denen aufgrund (zu) kleiner Stichprobenzahlen, die klein- oder grossräumlich entnommen wurden, Empfehlungen der notwendigen Stichprobenzahl gemacht werden.

Die räumliche Variabilität von Mineralstickstoff ist trotz früher Erkenntnis ihrer grossen Variabilität (WAYNICK 1918; PRINCE 1923) nicht ausreichend studiert worden (MEISINGER 1984). Es fehlen Untersuchungen, die auf hohen Stichprobenzahlen beruhen.

Böden sind ihrer Natur nach heterogen. JENNY (1941) beobachtete, dass die gleichen Prozesse, die für die Bodenbildung verantwortlich sind, die Stickstoffverteilung bestimmen. Hohe Variationskoeffizienten (CV) von Nitrat- und Ammoniumstickstoff sind von verschiedenen Autoren berichtet worden. ROMERO (1944) gibt CV-Werte von 27 bis 80% für NO<sub>3</sub>-Stickstoff und von 11 bis 24% für NH<sub>4</sub>-Stickstoff an. REUSS *et al.* (1977) untersuchten im Frühjahr 1974 und 1975 die NO<sub>3</sub>-Gehalte in je 12 bewässerten Feldern. Um eine Präzision von ±20% des geometrischen Mittels zu erreichen, berechneten sie, dass 36 Einzelproben für eine repräsentative Mischprobe genommen wer-

den müssten. Der CV-Wert von NO<sub>3</sub>-Stickstoff bei 0 bis 60 cm betrug durchschnittlich 52%. MEISINGER (1984) gibt für vier weitere Untersuchungen einen CV-Wert von 45% (33-109%) an. Für gängige Probeentnahmen von 10 bis 20 Mischproben und einem Vertrauensintervall von 80% berechnete er, dass der Mittelwert mit ungefähr ±20% bei 75% der untersuchten Parzellen beziehungsweise mit ungefähr ±25% bei 90% der untersuchten Flächen richtig geschätzt würde. Um den Wert auf ±10% des Mittelwertes auf 75% der Fläche genau zu schätzen, wären 45 Proben erforderlich gewesen.

## Material und Methoden

Auf einer relativ ebenen Teilparzelle einer 2 Hektaren grossen Parzelle (Abb. 1) der landwirtschaftlichen Schule Strickhof (Lindau) wurden am 12. Dezember 1989 in einem Rechteck von 50 auf 200 Metern, netzartig in 10 Meter Abständen verteilt, je 100 Proben in den Tiefen 0 bis 30, 30 bis 60 und 60 bis 100 cm entnommen. Die Auswahl einer Teilparzelle erlaubte es, Randeinflüsse zu vernachlässigen. Die Parzelle war bei der Probeentnahme brach, die Vorfrucht war Silomais. Beim Boden handelt es sich um

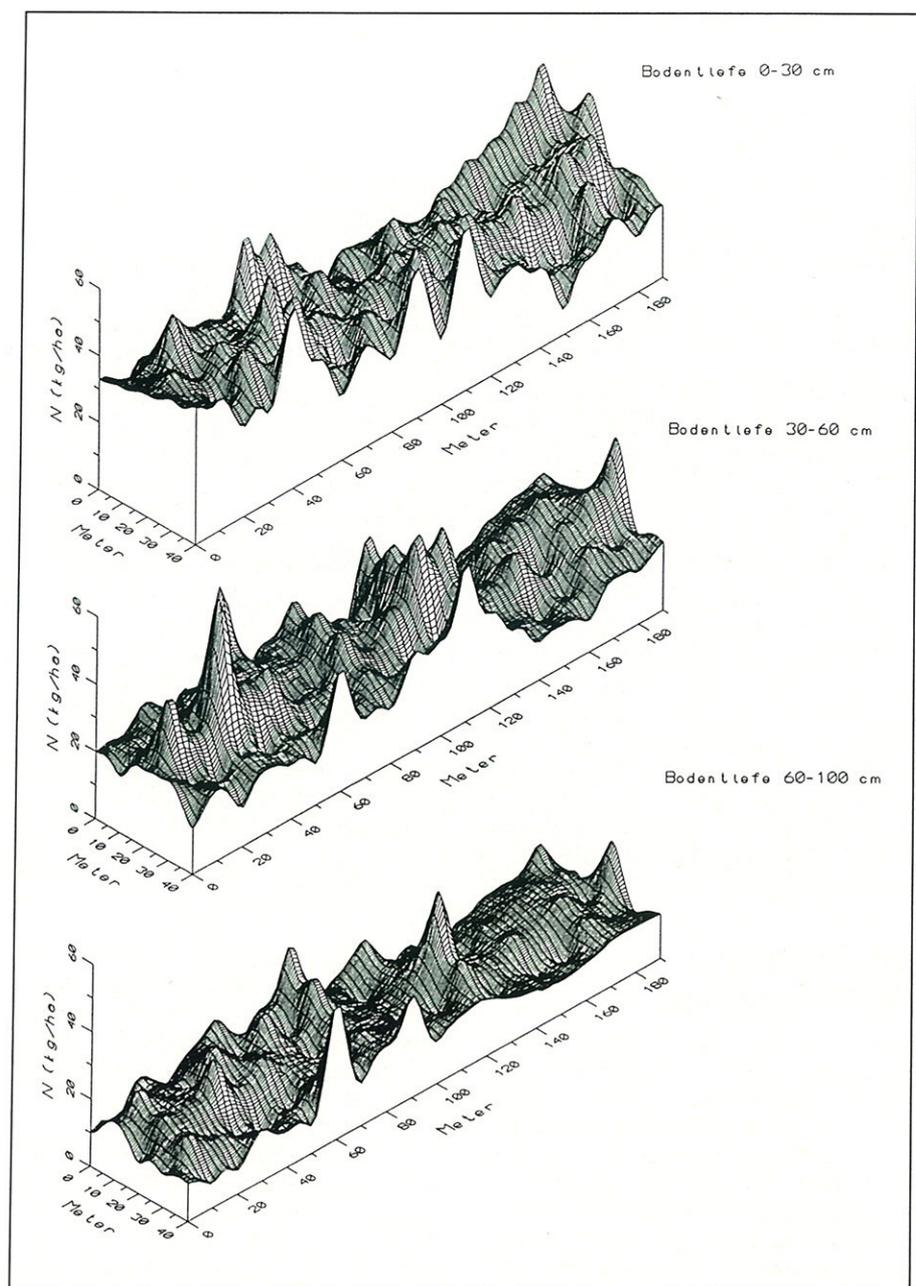


Abb. 2. N<sub>min</sub>-Werte in den Bodentiefen 0 bis 30 cm, 30 bis 60 cm und 60 bis 100 cm.

eine tiefgründige, basenreiche Braunerde. Die Dichte wurde einheitlich mit 1,2 g/cm<sup>3</sup> angenommen. Der Skelettgehalt in den Tiefen 0 bis 30 cm und 30 bis 60 cm wurde auf 5 % geschätzt. Für die Tiefe 60 bis 100 cm wurden 20 % Skelettanteil geschätzt.

Die Proben wurden unmittelbar nach der Entnahme tiefgefroren und erst kurz vor der Analyse aufgetaut und mit einem Sieb von 8 mm Maschenweite zusätzlich homogenisiert. Mit einer bei 105 °C während 48 Stunden getrockneten Teilprobe wurde der Wassergehalt bestimmt. Für die Analyse wurden 100 g feldfeuchter Boden mit 150 ml 0,05 M CaCl<sub>2</sub> versetzt und während einer Stunde geschüttelt und abfiltriert.

NO<sub>3</sub>-N wurde bei 30 °C mit Dewardas' Legierung zu NH<sub>4</sub>-Stickstoff reduziert. Die Analyse erfolgte mit einer NH<sub>3</sub>-Elektrode (Orion Modell 95-12, Orion Research Inc.). Mit dem gewählten Messprinzip (SIEGEL 1979) können NO<sub>3</sub> und NH<sub>4</sub> gemessen werden. Stichproben zeigten, dass der NH<sub>4</sub>-Stickstoff in allen Fällen < 2 % des NO<sub>3</sub>-Stickstoffs war.

## Ergebnisse und Diskussion

Die in den drei Tiefen 0 bis 30, 30 bis 60 und 60 bis 100 cm sowie in der Gesamttiefe 0 bis 100 cm gefundenen N<sub>min</sub>-Werte sind in den Abbildungen 2 und 3 dargestellt.

Bodeneigenschaften sind nicht immer normal verteilt. Die N<sub>min</sub>-Werte der Tiefe 0 bis 30 cm waren normalverteilt. Der berechnete Mittelwert unterscheidet sich nicht wesentlich vom Medianwert und dem Dichtemittel (Tab. 1). Die N<sub>min</sub>-Werte der Tiefe 30 bis 60 cm und 60 bis 100 cm waren lognormal verteilt. Tabelle 1 zeigt die für diese Tiefen, basierend auf einer lognormalen Verteilung, berechneten Mittelwerte, Medianwerte und Dichtemittel. Die Annahme einer Normalverteilung führte in diesen Fällen jedoch nur zu unwesentlich verschiedenen Werten. Für die drei untersuchten Tiefen können bei Probeentnahmeständen > 10 m die N<sub>min</sub>-Werte als räumlich unabhängig betrachtet werden (SCHMIDHALTER *et al.* 1991). Dadurch vereinfacht sich das Problem, die Probenanzahl zu bestimmen, um den Mittelwert mit einer vorgegebenen Genauigkeit zu schätzen.

Abbildung 4 zeigt, wie genau der N<sub>min</sub>-Wert in Prozent des Mittelwertes bei einer bestimmten Probenzahl bestimmt werden kann. In der gleichen Abbildung sind diese Angaben für den

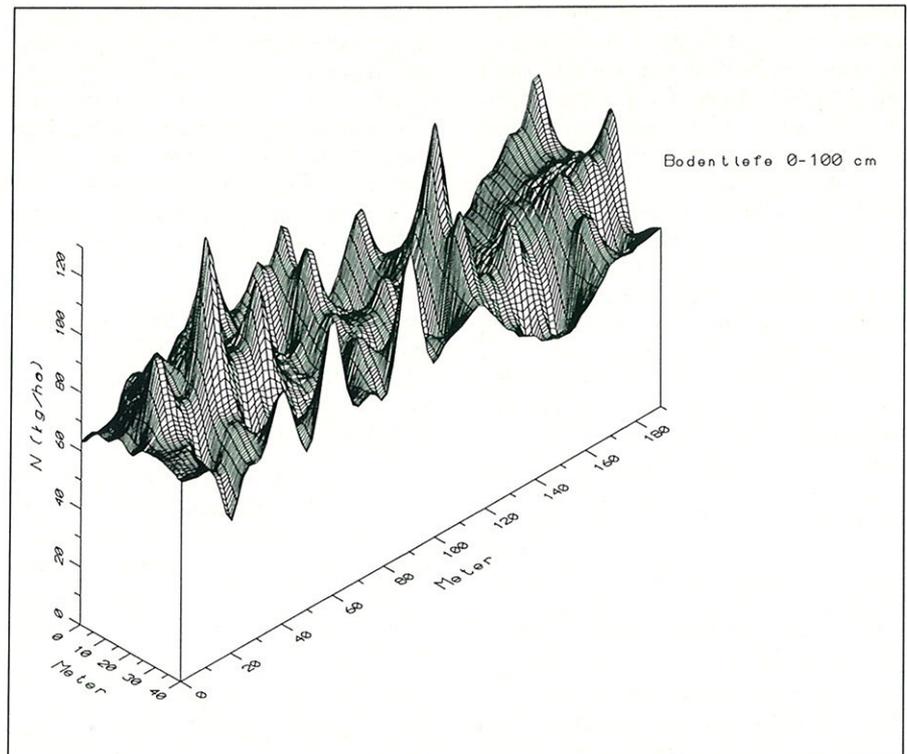


Abb. 3. N<sub>min</sub>-Werte in der Bodentiefe 0 bis 100 cm.

Tab. 1. Mittelwert, Median, Dichtemittel und Variationskoeffizient der N<sub>min</sub>-Werte der Bodentiefen 0 bis 30, 30 bis 60 und 60 bis 100 cm

		Bodentiefe (cm)		
		0-30	30-60	60-100
Mittelwert	(kg/ha)	31,1	23,3	15,1
Median	(kg/ha)	31,0	21,4	13,5
Dichtemittel	(kg/ha)	30,8	18,0	10,7
Variationskoeffizient	(%)	30,1	42,8	47,4

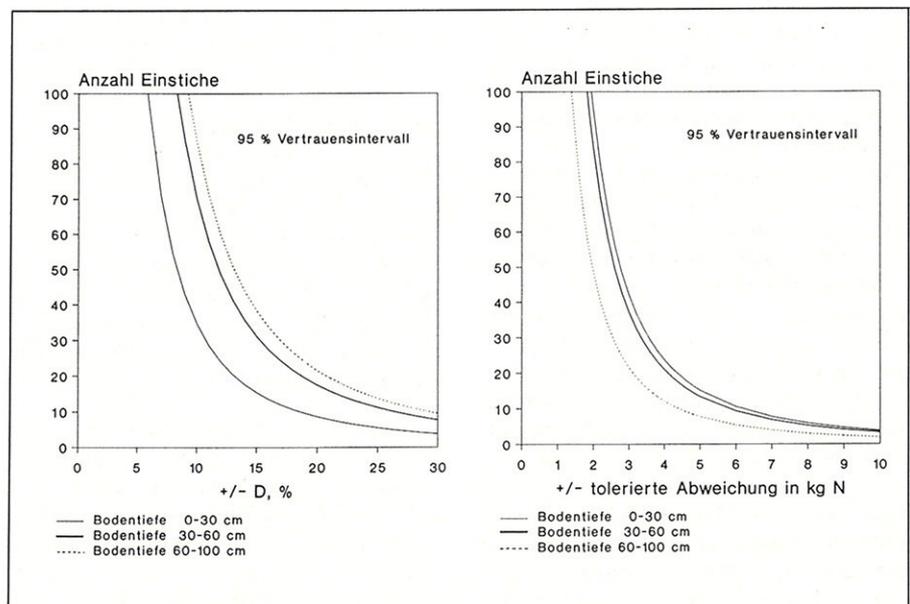


Abb. 4. Beziehung zwischen der Anzahl Proben und der zu erwartenden Genauigkeit ausgedrückt in Prozent des Mittelwertes des untersuchten Standortes (linke Darstellung) bzw. in kg N (rechte Darstellung).

untersuchten Standort in kg N/ha umgerechnet worden. Bei 5, 10, 15 beziehungsweise 20 Probeentnahmen kann der Mittelwert der Tiefe 0 bis 30 cm  $\pm 26\%$ ,  $19\%$ ,  $15\%$  beziehungsweise  $13\%$  genau geschätzt werden. Dies entspricht umgerechnet  $\pm 8,2$ ,  $5,6$ ,  $4,7$  beziehungsweise  $4,1$  kg N/ha für diesen Standort. Bei der Bodentiefe 30 bis 60 cm betragen die entsprechenden Werte  $\pm 37\%$ ,  $27\%$ ,  $22\%$  beziehungsweise  $19\%$ , und umgerechnet  $\pm 8,7$ ,  $6,1$ ,  $5$  beziehungsweise  $4,4$  kg N/ha und Schicht. Für die Bodentiefe 60 bis 100 cm betragen die entsprechenden Werte  $\pm 42\%$ ,  $29\%$ ,  $24\%$  beziehungsweise  $21\%$ , dies entspricht  $6,3$ ,  $4,4$ ,  $3,3$  und  $3,1$  kg N/ha. Für die untersuchte Parzelle kann der Mittelwert von  $69,5$  kg  $N_{\min}$  somit bei 5 Einstichen mit  $\pm 23,2$  kg beziehungsweise bei 15 Einstichen mit  $\pm 11,6$  kg genau bestimmt werden. Bei diesen Probegrößen wird der Mittelwert mit  $\pm 33\%$  beziehungsweise  $\pm 17\%$  genau bestimmt. Bei  $N_{\min}$ -Empfehlungen von beispielsweise  $120$  kg N/ha bei Winterweizen beziehungsweise  $220$  kg N/ha bei Mais, sind Abweichungen oberhalb dieser Richtwerte ( $\geq 120$  resp.  $220$  kg N) beziehungsweise bei einem sehr tiefen Versorgungsniveau ( $\leq 20$  kg N) nicht relevant. Genauere Aussagen sind nur im Zwischenbereich erforderlich.

**Welche Genauigkeit ist anstrebenswert?** Die Repräsentativität der Proben stellt nur einen Faktor bei der Festlegung der N-Düngung dar. In die  $N_{\min}$ -Bestimmung fließen weitere Unsicherheitsfaktoren ein. Für die Umrechnung der analysierten Werte muss die Raumdichte des Bodens und der Skelettgehalt des Bodens geschätzt werden. Wie verhalten sich die Unsicherheiten dieser Größen im Vergleich mit derjenigen der Probenanzahl und der **analytischen Messungsgenauigkeit?**

Von verschiedenen Autoren (RICHTER *et al.* 1984) werden die eigentlichen Messfehler als klein eingeschätzt. Der Variationskoeffizient der  $N_{\min}$ -Analyse ist mit  $5\%$  klein im Verhältnis zum räumlichen  $N_{\min}$ -Variationskoeffizienten, der in dieser Arbeit 30 bis  $47\%$  betrug. Eine bessere Aussage resultiert nicht aus einer geringfügigen analytischen Verbesserung, sondern aus einer repräsentativeren Probe, die auf einer höheren Stichprobenzahl beruht. Die Unsicherheiten, die bei der **Schätzung der Raumdichte beziehungsweise des Skelettgehaltes des Bodens** resultieren, sind ebenfalls deutlich höher als analytisch bedingte Fehler. Die Raumdichten landwirtschaftlicher Böden liegen zwischen  $0,8$ - $1,7$  g/cm<sup>3</sup>.

Diese Größe kann auch durch erfahrene Leute höchstens auf  $\pm 0,1$  g/cm<sup>3</sup> genau geschätzt werden. Bei einer Abweichung in dieser Größenordnung ergibt sich bei einer durchschnittlichen Raumdichte von  $1,2$  g/cm<sup>3</sup> ein Fehler von  $\pm 8\%$ . Die Abweichungen sind bei kleineren Raumdichten grösser als bei hohen. Zwischen  $1$ - $1,5$  g/cm<sup>3</sup> betragen sie  $10$ - $7\%$ .

Bei höheren Anteilen Skelett im Boden ist es äusserst schwierig, diese Größe richtig zu schätzen. Ein Fehler von  $\pm 5$ - $10\%$  ist im oberen Bereich der erreichbaren Genauigkeit.

Fehler in der Schätzung der erwähnten Größen können sich aufheben. Mit welchen Fehlern im ungünstigeren Fall jedoch, bei einer relativ bescheidenen Abweichung von den wahren Werten, zu rechnen ist, wird nachfolgend veranschaulicht. Die Raumdichte eines Bodens betrage durchschnittlich  $1,3$  g/cm<sup>3</sup>, der Skelettgehalt  $10\%$ . Wird die Raumdichte auf  $1,2$  g/cm<sup>3</sup> und der Skelettgehalt auf  $15\%$  eingeschätzt, wird der  $N_{\min}$ -Wert ca.  $13\%$  zu tief bestimmt, was eine entsprechende Mehrdüngung zur Folge hätte. Nimmt man als obere Fehlergrenze beim gleichen Beispiel eine Unterschätzung der Raumdichte um  $0,2$  g/cm<sup>3</sup> und eine Überschätzung des Skelettgehaltes um  $10\%$  an, so verdoppelt sich der Fehler auf  $26\%$ .

Der Gesamtfehler in der Schätzung der Raumdichte und des Skelettgehaltes dürfte etwa  $10$  bis  $20\%$  betragen. Diese Werte liegen in der Größenordnung der Fehler, die sich bei der Entnahme von  $10$  bis  $20$  Proben in  $0$  bis  $30$  cm Tiefe ergeben können. Werden weniger als  $10$  Proben pro Parzelle genommen, so sind die durch eine zu geringe Probenzahl bedingten Fehler höher als diejenigen, die sich durch eine fehlerhafte Einschätzung der Raumdichte und des Skelettgehaltes ergeben. Diese Aussage gilt im untersuchten Beispiel noch mehr für die tieferen Schichten von  $30$  bis  $60$  cm und  $60$  bis  $100$  cm. Diese Fehler wirken sich um so stärker aus, je höher der  $N_{\min}$ -Wert einer Schicht ist.

Je später  $N_{\min}$ -Proben im Verlauf der Vegetation genommen werden, um so wichtiger wird die oberste Schicht, in der die Mineralisierung am stärksten ist, so dass trotz einer tieferen Variabilität als in den unteren Schichten, infolge der höheren  $N_{\min}$ -Werte ein grösserer Fehler in der Bestimmung des verfügbaren Mineralstickstoffs resultiert. Die **zeitliche Variabilität** ist in

dieser Arbeit nicht berücksichtigt worden. WEHRMANN *et al.* (1988) geben für die Mineralisierung während der Vegetationsperiode Werte von  $32$  bis  $185$  kg N an. In Lössböden im südlichen Niedersachsen wurden vom April bis August durchschnittlich  $70$  bis  $100$  kg N mineralisiert. Je nach Standort müsste somit der zeitlichen Variabilität als fehlerbestimmendem Faktor am stärksten Rechnung getragen werden. Im Rahmen der  $N_{\min}$ -Methode ist die erste Zeit nach Vegetationsbeginn entscheidend. Im Gegensatz zur Mineralisierung, die auf dem gleichen Standort je nach Witterung sehr variabel sein kann, kann die Raumdichte des Bodens mit Ausnahme des Bearbeitungshorizontes als konstant angenommen werden. Dies gilt auch für den Skelettgehalt des Bodens. Der Variationskoeffizient für die Raumdichte ist tief. WARRICK und NIELSEN (1980) geben für drei Untersuchungen übereinstimmend einen Wert von  $7\%$  an, das heisst dass mit sehr wenigen Proben der Mittelwert genügend genau geschätzt werden kann. Unter mitteleuropäischen Bedingungen ist die Variabilität der Bodendichte wahrscheinlich höher als in den von WARRICK und NIELSEN erwähnten Untersuchungen aus den Vereinigten Staaten. Trotzdem sollte es möglich sein, basierend auf vorhandener Information beziehungsweise durch selektive Beprobung ausgewählter Bodentypen, mit einem vergleichsweise geringen Aufwand eine wesentliche Verbesserung bei der Ermittlung der  $N_{\min}$ -Werte zu erreichen. Analoges gilt für den Skelettgehalt der Böden.

Bei tiefgründigen Böden kann eine bedeutende Aufnahme von Stickstoff aus grösserer Tiefe erfolgen. Trotzdem steht fest, dass der grösste Teil aus den oberen Schichten aufgenommen wird, diese somit wichtiger sind als tieferliegende Schichten. Somit sollte die Beprobungsintensität vor allem in diesen Schichten hoch sein. Eine Erhöhung der Probenzahl der obersten zwei Schichten zulasten der Probenzahl der untersten Schicht erhöht nicht nur die Genauigkeit, sondern stellt auch eine wesentliche arbeitstechnische Erleichterung dar. Die bereits jetzt zur Verfügung stehenden Daten sollten es ermöglichen, einfache Zusammenhänge zwischen den  $N_{\min}$ -Werten in den tieferen Schichten und den oberen herzustellen beziehungsweise auch Bedingungen zu finden, unter denen diese nicht gelten. Bei der untersuchten Parzelle besteht ein sehr enger Zusammenhang zwischen dem

$N_{\min}$ -Wert der Tiefe 0 bis 60 cm und der Tiefe 0 bis 100 cm. Die Regressionsgleichung lautet

$$N_{\min 0-100} = 0,47 (2,22) + 1,27 (0,04) N_{\min 0-60}$$

$$(R^2 = 92,1)$$

Die Werte in Klammern geben die Standardabweichung an,  $R^2$  bezeichnet das Bestimmtheitsmass.

**Der Nutzen einer standortgerechteren N-Düngung, welcher mit der  $N_{\min}$ -Methode angestrebt wird, ist nicht in erster Linie bei den eigentlichen Aufwendungen für die N-Düngung zu sehen. Der ertragswirksame Effekt ist demgegenüber ein Vielfaches höher und stellt mit der angestrebten Minimierung der Belastung der Umwelt die eigentliche Zielgrösse dar.** Die  $N_{\min}$ -Methode ist in einem frühen Vegetationszeitpunkt momentan das beste Mittel zur Erreichung dieses Zieles. **Aufgrund dieser Arbeit zeigt sich, dass bei einer Erhöhung der Einstiche von 5 auf 15 der Mittelwert 15% genauer bestimmt werden kann.** Bei der untersuchten Parzelle, deren Mittelwert 69,5 kg  $N_{\min}$  beträgt, ergibt sich eine verbesserte Schätzung des Mittelwertes von 13 kg  $N_{\min}$ /ha. **Die Erhöhung der Probenzahl kann ohne Einbusse der Genauigkeit zulasten der Tiefe 60 bis 100 cm erfolgen.** Weitere Untersuchungen werden zeigen müssen, ob eventuell nicht sogar ganz, basierend auf genügend genauen Regressionsmodellen, eine Beschränkung auf die Untersuchungstiefe 0 bis 60 cm vorgenommen werden kann.

### Dank

Für die Mithilfe bei der Probenentnahme danken wir M. EVÉQUOZ, D. TUOR, R. ANDREOLI sowie den Schülern der landwirtschaftlichen Schule Strickhof.

### Literatur

- JENNY H., 1941. Factors of soil formation. McGraw-Hill Book Company, New York and London.
- MEISINGER J. J., 1984. Evaluating plant-available nitrogen in soil-crop systems. In: Hauck R. D. (ed). Nitrogen in crop production. ASSA-CSSA-SSSA, Madison, WI, 391-416.

- MOLITOR H. D., 1982. Der Mineralstickstoffgehalt von Löss- und Geestböden in Niedersachsen – Faktoren und Bedeutung für die Ernährung der Pflanze, Diss., Hannover.
- PRINCE A. L., 1923. Variability of nitrates and total nitrogen in soils. *Soil Sci.* 15, 395-406.
- REUSS J. O., SOLTANPOUR P. N. and LUDWICK A. E., 1977. Sampling distribution of nitrates in irrigated fields. *Agr. J.* 69, 588-592.
- RICHTER J., NORDMEYER H. und KERSEBAUM K.-C., 1984. Zur Aussagesicherheit der  $N_{\min}$ -Methode. *Z. Acker- und Pflanzenbau* 153, 285-296.
- ROMERO S. A., 1944. A study of soil variability at Mount Pleasant. M. S. Thesis, Cornell Univ., Ithaca, New York.
- SCHARPF H. C., 1977. Der Mineralstickstoffgehalt des Bodens als Massstab für den Stickstoffdüngerbedarf. Dissertation, Hannover.
- SCHMIDHALTER U., ALFOELDI T., HENGGELER S. und OERTLI J. J., 1991. Räumliche Variabilität von Mineralstickstoff im Boden. *Bulletin Bodenkd. Gesellsch. Schweiz* 15, 16 S.
- SIEGEL R. S., 1979. Determination of nitrate and exchangeable ammonium in soil extracts by an ammonia electrode. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44, 943-947.

- WARRICK A. W. and NIELSEN D. R., 1980. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel D. (ed). Applications of soil physics, 319-376.
- WAYNICK D. D., 1918. Variability in soils and its significance to past and future soil investigations. I. A statistical study of nitrification in soils. Univ. Calif. Berkeley Publ. *Agr. Sci.* 4, 121-139.
- WEHRMANN J., SCHARPF H.-C. and KUHLMANN H., 1988. The  $N_{\min}$ -method – an aid to improve nitrogen efficiency in plant production. In: Jenkinson D. S. and Smith K. A. (eds). Nitrogen efficiency in agricultural soils. Elsevier Applied Science, London and New York, 38-45.

### Summary

#### Sampling requirements for residual soil nitrogen

Representativeness and precision of field sampling are major limiting factors in soil testing programs. Therefore, the spatial variability and spatial dependence of soil mineral nitrogen were investigated to determine the number of samples needed for a given precision. One hundred soil cores were sampled from a 50 × 200 m rectangular field plot of 1 ha size at 10 × 10 m grids from each of three depths (0-30, 30-60, 60-100 cm) and analyzed for residual nitrogen. The coefficient of variation of residual nitrogen ranged between 30-47%. By compositing 5, 10, 15 and 20 soil cores, a precision of ±26%, ±19%, ±15% and ±13%, respectively, of the mean was obtained for the 0-30 cm depth. The corresponding precision for the 30-60 cm depth was ±37%, ±27%, ±22% and ±19%, respectively, and the estimation of the mean soil residual nitrogen status was slightly less precise for the 60-100 cm soil depth. 10-15 soil cores should be composited to be assured of a true field representation. The determinations of the soil residual nitrogen status can be improved considerably by using better estimates for the soil bulk density and the content of coarse soil fragments.

**Key words:** nitrogen, sampling requirements, soil residual nitrogen, soil testing, spatial variability.

### Résumé

#### Représentativité des analyses de l'azote minéral du sol

Les analyses du sol sont des mesures ponctuelles, aussi bien dans l'espace que dans le temps. Elles doivent cependant rester représentatives du champ à tester. La dépendance et la variabilité spatiale de l'azote minéral dans le profil ont été étudiées afin de déterminer combien d'échantillons sont nécessaires pour qu'une précision donnée soit obtenue. Dans un rectangle d'un hectare (50 par 200 m), un échantillon du sol par are a été prélevé de chacune des trois profondeurs choisies (0-30, 30-60, 60-100 cm). Les coefficients de variation de l'azote minéral étaient compris entre 30 et 47%. A la profondeur 0 à 30 cm, 5 échantillons par hectare suffisent pour estimer la moyenne de l'azote minéral avec une précision de ±26%. Lorsque le nombre d'échantillons est de 10, de 15 et de 20, ces pourcentages d'erreur diminuent à respectivement ±19%, ±15% et ±13%. A la profondeur 30 à 60 cm, ces pourcentages d'erreur sont pour 5, 10, 15 et 20 échantillons de respectivement ±37%, ±27%, ±22%, et ±19%. Les pourcentages d'erreur sont à la profondeur 60 à 100 cm légèrement supérieurs à ceux observés à la profondeur 30 à 60 cm. Dix à 15 échantillons par hectare nous donnent une idée représentative du champ. Une précision supérieure ainsi qu'une réduction du temps de travail peuvent être obtenus en augmentant les prélèvements d'échantillons aux profondeurs 0 à 30 et 30 à 60 cm au détriment des prélèvements à la profondeur 60 à 100 cm. La précision de la mesure de l'azote minéral peut être considérablement améliorée en utilisant une meilleure estimation de la densité volumétrique et du squelette du sol.

**Mots clés:** Analyse du sol, azote minéral, nombre d'échantillons nécessaires, variabilité spatiale.

## Einige Ergebnisse der Landwirtschaftszählung 1990

Die Ergebnisse von Betriebs- und Landwirtschaftszählungen werden immer mit Spannung erwartet. So wurden auch die Ergebnisse der Zählung 1990 in der Fachpresse recht intensiv kommentiert. Eine differenzierte Analyse zeigt, dass der teilweise beklagte «verstärkte» Strukturwandel, wenn überhaupt, vor allem in der Gruppe der Betriebe mit weniger als einer Hektare erfolgte. Die Zahlen wurden vom Bundesamt für Statistik zur Verfügung gestellt (Bearbeitung: Herren Fracheboud und Bohnenblust).

### Definitionen

#### Der Landwirtschaftsbetrieb

Als Landwirtschaftsbetrieb wird bei den Zählungen eine Gesamtheit von Arbeitskräften, Betriebs- und Produktionsmitteln erfasst, die zusammen unter der unmittelbaren Leitung der gleichen Person regelmässig für die Erzeugung landwirtschaftlicher Güter eingesetzt werden. Die Umschreibung deckt sich mit der Definition des Landwirtschaftsbetriebes der Organisation für Ernährung und Landwirtschaft der Vereinten Nationen (FAO). Nicht zu den Landwirtschaftsbetrieben gehören reine Gartenbau-, Fischerei- und Waldwirtschaftsbetriebe. Auch die nicht ganzjährig bewirtschafteten Sömmerungsbetriebe werden nicht als selbständige Landwirtschaftsbetriebe gezählt.

Tab. 1. Abgrenzung der Landwirtschaftsbetriebe bei den Zählungen

Kriterium		Erfassungsschwelle	Grenze zwischen Kleinstbetrieb und Nebenerwerbsbetrieb
Kulturfläche (Landw. Nutzfläche und Wald)	ha	0,25	1,00
Spezialkulturen (Freilandgemüse, Tabak, Reben, Obstkulturen)	ha	0,10	0,30
Beeren, Rebschulen	ha	0,10	0,20
Gärtnerische Freilandkulturen	ha	0,10	0,10
Kühe oder Rinder über 1 Jahr	Stück	1	3
Rindvieh insgesamt	Stück	1	5
Mutterschweine	Stück	2	4
Andere Schweine	Stück	2	8
Schafe	Stück	2	30
Ziegen	Stück	2	10
Lege-, Zucht- und Junghennen	Stück	30	120
Mastpoulets	Stück	30	250
Gänse, Enten, Truthühner	Stück	30	200
Kaninchen	Stück	100	100
Bienen	Völker	30	50

#### Haupt- und Nebenerwerbsbetriebe

Im Haupterwerbsbetrieb widmet der Betriebsleiter den grössten Teil seiner jährlichen Arbeitszeit dem Landwirtschaftsbetrieb. Im Nebenerwerbsbetrieb ist es der kleinere Teil. Deshalb werden auch die Begriffe «Betriebe von hauptberuflichen Landwirten» und «Betriebe von nebenberuflichen Landwirten» verwendet.

Nach dieser Definition bezeichnen sich viele Besitzer kleiner Betriebe, die keine ausserlandwirtschaftliche Tätigkeit ausüben, beispielsweise Rentner, als hauptberufliche Landwirte. Sie werden zu den nebenberuflichen umgeteilt, wenn der mit Normen berechnete Arbeitsbedarf des Betriebes weniger als 1500 Stunden erreicht.

#### Kleinstbetriebe

Um ein vollständiges Bild zu erhalten, wird die Erfassungsschwelle bei den Zählungen sehr tief angesetzt. So gelten Einheiten mit 0,25 ha Kulturfläche (einschliesslich Wald) oder einem Stück Grossvieh bereits als «Betrieb». Das Bundesamt für Statistik scheidet deshalb aufgrund der in Tabelle 1 enthaltenen Kriterien jeweils auch eine Kategorie «Kleinstbetriebe» aus. Sie haben mit einem Landwirtschaftsbetrieb, auf dem eine Familie lebt und ganz oder teilweise auf den landwirtschaftlichen Erwerb angewiesen ist, wenig gemeinsam. Es handelt sich um Hobbybetriebe.

In den Publikationen des Bundesamtes für Statistik wie auch in den früheren Landwirtschaftsberichten waren

Tab. 2. Entwicklung der Zahl der Landwirtschaftsbetriebe

Jahr	Kleinstbetriebe Anzahl	Landwirtschaftsbetriebe ohne Kleinstbetriebe Anzahl	Veränderung Anzahl	Veränderung pro Jahr %
1975	19211	113915		
1980	19013	106261	-7654	-1,3
1985	19538	100193	-6068	-1,1
1990	14558 <sup>1</sup>	93738	-6455	-1,3

<sup>1</sup>1990 vermutlich etwas reduzierte Erfassung gegenüber den Vorjahren