

Variabilität und Schätzgenauigkeit von N-Mineralisation, Ertrag und N-Bedarf - Methoden zur Bewertung der "Ist-Analyse"

GOETZ M. RICHTER

Institut für Geographie und Geoökologie der Technischen Universität Braunschweig

1 Einleitung

Die Düngung von Stickstoff ist wegen sinkender Erlöse und ökologischer Belastungen (z. B. Nitrataustrag) ein unvermindert aktuelles Thema. Die Vergrößerung von Ackerschlägen verbessert zwar die ökonomische Bilanz, geht aber mit einer häufig weniger differenzierten Bewirtschaftung einher: Die Düngung muß deshalb an die Bodeneigenschaften und jeweilige Ertragspotential angepaßt sein.

Der Landwirt weiß, wo seine Ackerflächen ein höheres (N-) Nachlieferungs- oder Ertragspotential haben, und düngt entsprechend. In der Praxis sollten dabei auch die unter ökologischen Gesichtspunkten richtigen Schlüsse gezogen werden: z. B. keine erhöhte Düngung auf marginalen Standorten oder Teilflächen, um ein niedriges Ertragspotential auszugleichen. Möglicherweise verfügt der Landwirt der Zukunft über digitalisierte Karten zu Bodenart, Humusgehalt, nutzbarer Feldkapazität und Ertragspotential. Seine moderne Ausrüstung in Form von elektronisch gesteuerter Applikationstechnik bietet ihm die Möglichkeit, den Einsatz von Betriebsmitteln zu optimieren. Die gleichzeitig umweltverträgliche und ökonomische Nutzung der landwirtschaftlichen Fläche erfordert darüber hinaus, die Dynamik der Prozesse zu berücksichtigen.

Quantitative Modelle können diese Lücke zwischen den einzelnen räumlich verteilten Informationen schließen. Das N-Haushaltsmodell nach Kersebaum und Richter (1991) ist z. B. ein solches Modell, das bereits zur Berechnung des N-Bedarfes im Getreidebau praktisch eingesetzt wird (Richter et al. 1996). Der Erfolg dieses Ansatzes hängt jedoch wesentlich davon ab, mit welcher Genauigkeit die entsprechenden Parameter und Eingangsgrößen zur Verfügung stehen. Prinzipiell ist ein solches Modell anderen, regressiven Verfahren deshalb überlegen, weil es zeitlich variable Produktionsfaktoren quantitativ umsetzt. Bei der Umsetzung statischer und dynamischer Verfahren stellen sich folgende grundlegenden Fragen:

1. Mit welcher Genauigkeit können Zielgrößen gemessen, Parameter aus statischen Kenngrößen geschätzt und Teilprozesse berechnet werden?
2. Welche ertragsbildenden Faktoren sind auch zeitlich variabel und wie wirken sie sich in der N-Bedarfsprognose aus?

2 Methodische Grundlagen

Trockenmasse- oder Kornertrag werden durch klimatische und bodeneigene Faktoren bestimmt. Erstere bestimmen Energie- (Strahlung, Temperatur) und Wasserzufuhr, letztere Nährstoffnachlieferung, Basensättigung und Wasserhaltevermögen. Diese Eigenschaften können ebenso wie der Ertrag kartographisch fest-

gehalten werden, spiegeln die ertragsbildenden Prozesse aber nur ungenau wider. Die "Ist-Analyse", wie z. B. die Ertragskartierung, in eine Handlungsempfehlung umzuwandeln, ist nicht unproblematisch. Dieses sei an einem Beispiel verdeutlicht (Abbildung 1).

Die Produktionsfaktoren werden maßgeblich durch die Lage der Fläche (Höhe, Exposition, etc.) beeinflusst. In einer mehr oder weniger hügeligen Agrarlandschaft werden tiefgründige Kolluvien und Plateaus neben erodierten Hängen und Kuppen liegen.

Problem 1: Lateraltransport von Boden, Wasser und Nährstoffen ist auch für den Zeitraum einer Vegetationsperiode, also die Ertragsbildung nicht auszuschließen. Die Exposition (Nord-/Südhang etc.) wird außerdem Geschwindigkeit und Niveau der Prozesse, z. B. Bodenerwärmung, N-Mineralisation, aber auch EvapoTranspiration prägen.

Problem 2: jährlicher Witterungsverlauf verursacht Abweichung vom langjährigen Mittel, je nach "Großwetterlage" (kalt-feucht / warm-trocken) wird die Ertragsbildung verändert. Ein nasses Frühjahr bremst den Nährstoffumsatz im Kolluvium, fördert dagegen das Wachstum am trockenheitsgefährdeten Hang. Für ein trockenes Frühjahr kehren sich die Verhältnisse um, etc..

Problem 3: Anpassungsfähigkeit der Kultur an die Variabilität der Wachstumsbedingungen ist arten- und sortenspezifisch verschieden, so daß der Kartieraufwand zunächst einmal erheblich sein dürfte.

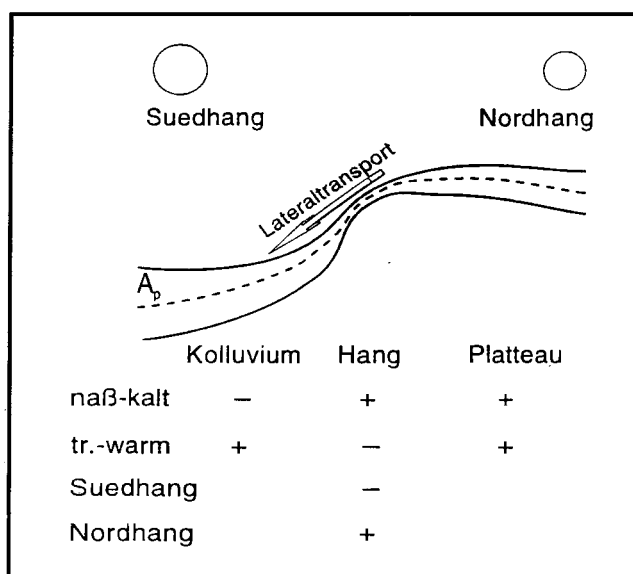


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Ertragsbildung in Abhängigkeit von Topographie und Witterung

Region	Fläche	Bewirtschaftung Dung - Vorfrucht	Mittelwert im Profil kgN ha ⁻¹ 0.9 m ⁻¹		Variationskoeffizient (%) Profil	
			Winter	Frühjahr	Winter	Frühjahr
Geest	A	Gülle - Kartoffel	81	38	37	32
		Gülle - Mais	106		47	
	B	Gülle - Zw.frucht	25	50	49	25
Börde	A	Mist - Z. Rüben	29	28		
	B	Mineral - Weizen	29	6	49	40
				18		10
Hügelland	A	Null - Z. Rüben	31		29	
	B	Mist - W. Gerste	189	279	74	28

Tabelle 1: Mittelwert des N_{min} -Gehaltes (kg N ha⁻¹) und Variationskoeffizient (%) für unterschiedlich bewirtschaftete Ackerflächen in den Regionen

Als Fazit für die Bewertungsregeln der Ertragskartierung dürfte daraus geschlossen werden, daß 1. die ursächlichen Prozesse komplex und teilweise gegenläufig, 2. zeitlich, d. h. von Jahr zu Jahr variabel und 3. je nach Sorte verschieden ausgeprägt sind. Damit sind Simulationsmodelle für die Interpretation räumlich und zeitlich aufgelöster Daten unverzichtbar, weil nur sie die Variabilität auf den verschiedenen Ebenen integrieren können. Die Komplexität des Modells muß an die jeweilige Situation angepaßt sein, die instationären Kenngrößen, wie Ertrag, N-Entzug, etc. müssen über mehrere Jahre erfaßt sein.

Für die Beschreibung der Prozeß-Simulation im N-Haushaltsmodell mit seinen Modifikationen wird auf andere Quellen (Kersebaum 1989; Kersebaum und Richter 1991; Richter et al. 1996) verwiesen. Vielmehr wird hier auszugswise auf die Variabilität der Eingangsgrößen und Parameter (N_{min} ; potentiell mineralisierbares N) sowie Zielgrößen (N-Mineralisation, N-Entzug) eingegangen.

3 Variabilität ertragsbildender Faktoren

N_{min} -Gehalt des Bodens

Die Prognose des N_{min} -Gehaltes im Frühjahr ist eine wichtige Zielgröße in der Bestandesführung (Wehrmann und Scharpf 1986) und Simulation (Kersebaum 1989). Der residuale N_{min} -Gehalt, gemessen zum Zeitpunkt der Ernte, ist ein guter Indikator für die Effizienz der Düngung. Seine Kenntnis erhöht wesentlich die Prognosesicherheit von Simulationen (Otter-Nacke und Kuhlmann 1991; Richter et al. 1992).

Die Variabilität beider Kenngrößen wurde für typische Ackerflächen in den für Niedersachsen charakteristischen Landschaftstypen in einer Rasterbeprobung gemessen (Richter et al., 1996). Die Ergebnisse (Tabelle 1) zeigen eine Staffelung der residualen N_{min} -Gehalte vor dem Winter (W) nach Region (Geest Hügelland > Börde), Vorfrucht (Hackfrucht > Getreide) und Düngungstyp (organisch > mineralisch). Meist nehmen die Gehalte und Variabilität, gemessen am Variationskoeffizienten (VK), zum Frühjahr (F) hin ab. An den Beispielen höherer

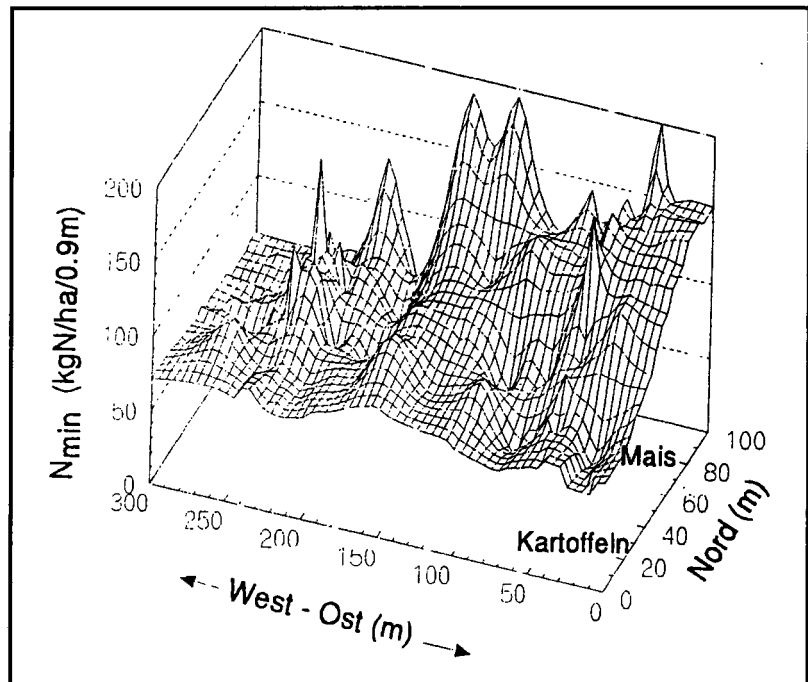


Abbildung 2: Variabilität der N_{min} -Gehalte im Profil (0-90 cm) unter Reihenkultur auf Pseudogley-Esch - Podsol (hohe Geest; Sulingen-Kirchdorf)

Variabilität ließ sich der geogene Einfluß in Wechselwirkung mit der Bewirtschaftung zeigen: Im Hügelland wurden erodierte Kuppen mit der doppelten Menge Festmist gedüngt, um die Bodenfruchtbarkeit anzugleichen. Durch lateralen Transport verringerte sich der Variationskoeffizient bis zum Frühjahr von ursprünglich > 70 auf weniger als 30 Prozent.

Auch in der hohen Geest lassen sich schlagspezifisch geogen begründete Strukturen für die residualen N_{\min} -Gehalte feststellen (Abbildung 2): Von der Kuppe (ca. 15° ost) bis zum nordöstlich gelegenen Hangfuß werden nach Mais deutlich höhere N_{\min} -Gehalte als im Bereich des Pseudogley-Esch gemessen. Dieses Phänomen läßt sich nicht auf eine einzelne Ursache zurückführen. Vielmehr ist es die Summe verschiedener Prozesse infolge räumlich variabler Humusgehalte (N-Mineralisation), nutzbarer Feldkapazitäten (Pflanzenwachstum, N-Aufnahme) und ungleichmäßiger Verteilung organischer Dünger zu erklären. Die Wechselwirkung zwischen Wasserverfügbarkeit und N-Aufnahme wird durch eine negative Korrelation gestützt und die geostatistische Analyse zeigt für die Kenngrößen N_{\min} - und Wassergehalt ähnliche räumliche Strukturen (Richter et al. 1996). Die räumliche Abhängigkeit der Variabilität von Bodeneigenschaften und Pflanzenwachstum ist auch für andere Kulturen bekannt (Samra et al. 1990).

Lokale und regionale Variabilität des Mineralisationspotentials

Die schlagspezifische Variabilität potentieller N-Mineralisation wächst mit der Größe des Schlags und Anzahl der Bodentypen. Der von uns für die Parametrisierung des Modells untersuchte Ackerschlag variierte vom schwach humosen (h2) Pseudogley bis stark humosen (h4/5) Gley. Bei entsprechender Unterteilung sinkt die flächenspezifische Variabilität (VK) der Humusgehalte von 50 auf weniger als 20 Prozent, auch für das Mineralisationspotential halbierte sich die Variabilität (Richter 1995). Dabei sind die Übergänge zwischen den Klassen fließend.

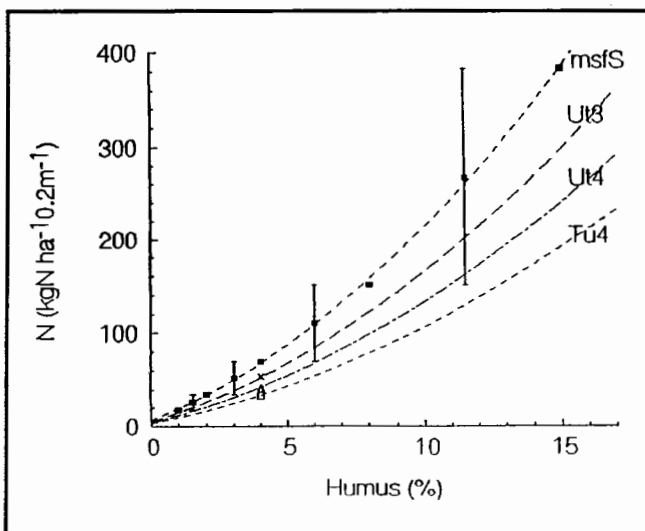


Abbildung 3: Jährliche N-Mineralisation ($\text{kgN ha}^{-1} \text{a}^{-1}$), simuliert für A_p -Horizonte (0-20 cm) unterschiedlicher Humusgehalte und Bodenart

Der Einsatz quantitativer Modelle in der Praxis erfordert eine praktikable Methode zur Abschätzung der Mineralisationsparameter von Stickstoff. Die Einstufung anhand des N_t -Gehaltes des A_p -Horizonts ist eine gängige Praxis für Versuchsstandorte (z. B. Kersebaum 1989). Da dieser aber nicht aus der Bodenkarte hervorgeht, werden Pedotransferfunktionen für die potentielle N-Mineralisation K_p vorgeschlagen (Richter 1995). Danach läßt sich die N-Mineralisation mit großer Sicherheit aus dem C_{org} -Gehalt ($R^2 = 0.74$) oder aus C_{org} - und Ton-Gehalt ($R^2 = 0.80$) abschätzen. Für praktische Zwecke ist es wichtig hervorzuheben, daß die Mineralisationsrate innerhalb einer Humusklasse um ca. 30 Prozent streuen kann.

Auf der Basis dieser Pedotransferfunktion lassen sich nach Humusgehalt und Bodenart differenzierte *in situ*-Netto-N-Mineralisationsraten für eine Vegetationsperiode simulieren (Abbildung 3). Aus dieser Szenario-Simulation geht hervor, daß die Nachlieferung von Stickstoff in Sandböden am intensivsten abläuft und proportional zum Tongehalt bis auf etwa 50 % sinkt. Diese niedrigen *in situ*-Mineralisationsraten bestätigen für Tonböden deren hohe Mineralisationspotentiale. Des weiteren läßt sich anhand dieser Graphik feststellen, daß infolge der variablen Klasseneinteilung des Humusgehalts die relative Ungenauigkeit mit dem Humusgehalt zunimmt. In praktischer Hinsicht variiert die geschätzte N-Mineralisation nur in den unteren Humusklassen (h1-3) um weniger als $\pm 20 \text{ kgN/ha/a}$. Für stark humose Böden müßte die Klassifikation hinsichtlich engerer Klassengrenzen für die Simulation überarbeitet werden, um diese Genauigkeit für Messung und Simulation einhalten zu können.

Zeitliche Variabilität der Netto-N-Mineralisation

Die bisher gezeigten Untersuchungen gehen davon aus, daß der Humusgehalt mehr oder weniger stabil ist. Bei historisch begründeter Dynamik des Humushaushaltes, z. B. durch Tiefpflügen von Mooren (Sandmischkultur), Krumenvertiefung mit Strohdüngung oder Grünlandumbruch unterliegt die Netto-N-Mineralisation einer Veränderung. Bis zum Erreichen des Gleichgewichts sind verminderte oder auch bis zu 150 Prozent erhöhte Mineralisationsraten zu erwarten (Richter et al. 1989; Richter 1995). Gerade für Lehmböden sind diese Prozesse über Jahrzehnte in Rechnung zu stellen.

4 Dynamik der Ertragsbildung - das Beispiel N-Aufnahme

Einleitend wurde die zeitliche Variabilität der N-Nachlieferung aus dem Bodenvorrat infolge bodeninterner Prozesse (Erwärmung, etc.) dargestellt. Die Berechnung des stadienspezifischen Düngebedarfes macht eine Synchronisation von Mineralisation und pflanzenspezifischem N-Bedarf notwendig. Dieser ergibt sich im Modell durch Simulation der Trockenmasseproduktion in Verbindung mit einer N-Gehaltsfunktion. Abbildung 4 zeigt schematisch die Unterschiede der für die Ertragsbildung kritischen N-Gehalte in der Trockenmasse von Winterweizen (Gl. 4) und Winterroggen (Gl. 5) in der Zeit von der Bestockung ($T-\Sigma_{\min} = \text{EC } 25$) bis zur Ernte ($T-\Sigma_{\max} = \text{EC } 89$). Daraus wird deutlich, wie sehr die

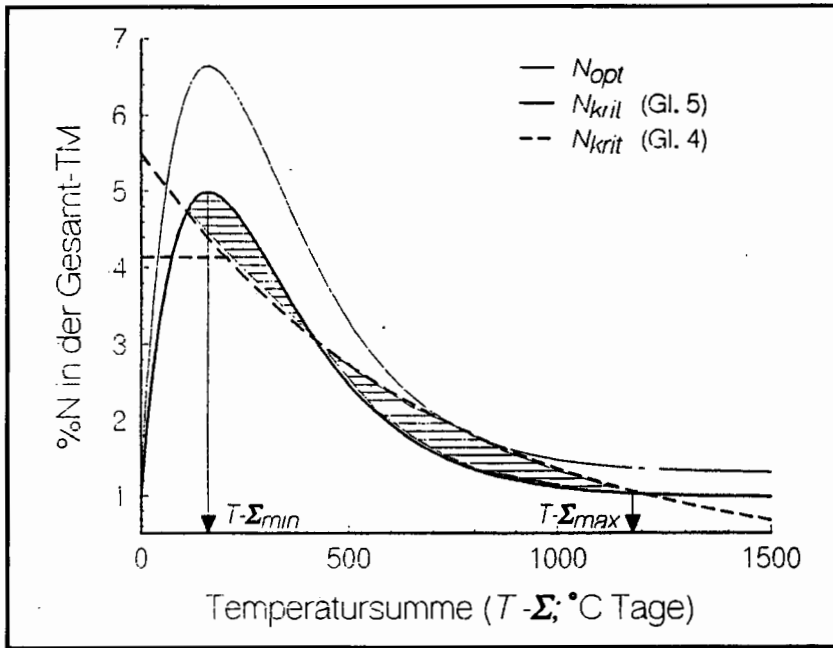


Abbildung 4: N-Gehaltsfunktion für die gesamte Trockenmasse von Wintergetreide - Winterweizen und Winterroggen (Gl. 4 bzw. Gl. 5; Richter 1995)

Ertragsbildung bei Winterroggen von der Düngung im Frühjahr abhängt: Unterschreitet der N-Gehalt in der Gesamt-Pflanze N_{krit} , so wird die Bestockung und das Ertragspotential reduziert.

Das Prinzip der simulationsgestützten N-Bedarfsprognose liegt in der Kopplung von standortspezifischem Ertragspotential, der N-Gehaltsfunktion und N-Nachlieferung aus dem Boden. Die

tolerierbaren Abweichung ($\pm 20 \text{ kgN ha}^{-1}$). Für die simulationsgestützte N-Bedarfsprognose stellt van Keulen (1993) fest, daß unter niederländischen Bedingungen die Variabilität der Witterung bis zur Spätdüngung von Winterweizen eine Unsicherheit von $\pm 40 \text{ kgN ha}^{-1}$ verursacht.

Damit erhebt sich die grundsätzliche Frage, inwieweit wir über-

Identifikation des Ertragspotentials und seiner Realisation liegt der Schlüssel zur erfolgreichen N-Düngung. Eine flächenscharfe mehrjährige Ertragskarte ist die erste Voraussetzung. Die zweite Voraussetzung liegt darin, mit welcher Sicherheit man den Ertrag als Funktion der unkontrollierbaren Ertragsfaktoren (Witterung!) voraussagen kann.

Auch hier kann der Einsatz von Simulationsmodellen eine wichtige Hilfestellung leisten: Am Beispiel von Winterroggen simulierte Richter (1995) für einen Zeitraum von 10 Jahren Eintrittstermine phänologischer Stadien und Erträge. Das kritische Stadium "Beginn der Blüte" (EC 61) wurde für den Zeitraum vom 27.5. bis 4.6. prognostiziert. Bei einem mittleren Ertragsniveau von 55 dt ha^{-1} variierten die Erträge und auch die N-Entzüge um weniger als 10 Prozent ($\pm 4 \text{ dt ha}^{-1}$ bzw. $\pm 10 \text{ kgN ha}^{-1}$). Analog wäre für Winterweizen eine Variation von $\pm 7-8 \text{ dt ha}^{-1}$ zu erwarten. Bei höheren N-Gehalten im Korn, z. B. bei A9-Weizen, führt das u. U. zu einem deutlichen Überschreiten der für N_{min}

Kenngrößen für die N-Bedarfsprognose		VK/CV; R^2 %	Streuung ha^{-1} kgN oder dt
Gemessene Daten			
N_{min} ($\text{kgN ha}^{-1} \cdot 9\text{m}^{-1}$)	mineral. Dgg.	20-30	± 20
	organ. Dgg.	40-70	> 50
Dünger- N_{min} -Ap ($\text{kgN ha}^{-1} \cdot 3\text{m}^{-1}$)	organ. Dgg.	-100	
Erträge (dt ha^{-1})	Winterroggen		38-62
	Winterweizen		62-82
Geschätzte und simulierte Daten			
N_{min} -Prognose ($\pm 20 \text{ kgN ha}$)	alle	60	
	ungedüngt	80	
N-Mineralisation	Pedotransferfunktion	> 70	
	h1-3		≤ 20
	h4-5		-100
N-Bedarf - 10jähriges Mittel			
Ertrag (dt ha^{-1})	Roggen	< 10	± 4
N-Entzug (kgN ha^{-1})	Roggen	< 10	10-25

Tabelle 2: Variationskoeffizienten (VK/CV), Bestimmtheitsmaße (R^2) und Streubreite gemessener und simulierter Kenngrößen der Bestandesführung und N-Bedarfsprognose von Getreide

haupt einen Ertrag und N-Bedarf sicher genug voraussagen können. Ein direkter Vergleich von simulierten mit den über diesen 10jährigen Zeitraum gemessenen Erträgen fehlt für Winterroggen. Aus der Befragung der Landwirte geht aber hervor, daß für Winterroggen auf Sand Ertragsschwankungen zwischen 40 und 60 dt ha⁻¹, für Winterweizen auf Löß von 62 bis 82 dt ha⁻¹ auftreten (Richter et al. 1996). Diese Streuungen gelten für klimatisch relativ homogene Räume.

Für Gebiete unterschiedlichen Kleinklimas, z. B. infolge verschiedener Grundwasserstände, lassen sich für mehrere Jahre signifikant unterschiedliche Erträge nachweisen. Für grundwasserferne Standorte liegt das Ertragsniveau etwa 10 dt ha⁻¹ höher als für Böden mit hohem Grundwasserstand. Die Analyse der Bestandesentwicklung zeigt für den kalt-feuchten, weil grundwasser-nahen Standort (Krusenhausener Bruch) eine bis in den späten April verzögerte und bis zur Ernte geringere Trockenmassebildung (Richter et al. 1996). Eine standortbezogene Klassifizierung des Ertragspotentials ist deshalb mit Blick auf den N-Bedarf sehr sinnvoll. Bei großen Ackerschlägen und inhomogenen Gebieten können die Begriffe "Standort" und "Teilschlag" identisch sein.

5 Zusammenfassung und Schlußfolgerung

Im Hinblick auf die N-Düngung wurde die schlag-, standortspezifische und regionale Variabilität für verschiedene ertragsbildende Faktoren untersucht. Für Messungen und Simulationen läßt sich die Variation in Relation zum Mittelwert (VK) und in Streuung zusammenfassen (Tabelle 2). Danach kann der Ertrag und N-Entzug mit der größten Sicherheit berechnet werden. Meist bleibt die Variation der Kenngrößen unterhalb der aus in situ-Messungen abgeleiteten Güte von ± 20 kgN ha⁻¹. Nur wenn N-reiche organische Düngemittel in hängigem Gelände zugeführt werden, sind höhere Variationskoeffizienten für den N_{min}-Gehalt zu beobachten (40 bis 79 %). Im Extrem werden dabei schichtspezifische VK von >100 Prozent ermittelt. In humusreichen Böden übersteigt die Streubreite der anhand der Humusklasse geschätzten N-Mineralisation jedes für die N-Düngung relevante Maß.

Der von uns praktizierte Ansatz zur Optimierung der N-Düngung geht von einer teilflächenbezogenen Berücksichtigung der räumlich variablen Standortfaktoren aus. Die Kopplung mit dem quantitativen und dynamischen Simulationsmodell erfolgt über eine Parameterwahl anhand kartographisch erfaßter Bodeneigenschaften. Dadurch ist, z. B. über Wasserangebot (nFKwe) und Nachlieferung von Boden-N, bereits eine erste Klassifizierung des Ertragspotentials erfolgt. Ein Abgleich mit Ertragskarten sollte erfolgen.

Die Operationalisierung im Betrieb selbst kann über Schlagkarteien und Bodenkarten erfolgen, stellt aber einen erheblichen Arbeitsaufwand dar und ist deshalb aus dem Betrieb auszugliedern (Beratungsbüro, Landwirtschaftskammer, etc.). Auch ist der finanzielle Aufwand (Investition, Arbeit) nicht zu unterschätzen. Es entsteht deshalb die Frage, ob bei der gezeigten Prognoseunsicherheit der Aufwand ökonomisch gerechtfertigt ist. Ökologisch steckt in dem Modellansatz jedes gewünschte Ziel, ob Intensivierung, Ertragsoptimierung oder Grundwasserschutz.

Variability and Estimation Certainty of Nitrogen Mineralization, Yield and Nitrogen Demand - Problems and Solutions

Several factors and parameters determining the N fertilizer demand are discussed with respect to site specific and regional variability, such as mineral N in spring and after harvest, N mineralization potential and yield. Measured mineral N contents show a clear hierarchy for the coefficient of variation according to fertilizer (organic > mineral), crops (row > grain) and soil heterogeneity related to landscape (hilly > flat). Prediction certainty for mineral N content within ± 20 kgN ha⁻¹ by quantitative modeling ranges between 50 and 80 % (unfertilized). The regionally variable mineralization potential can be estimated from basic properties (C_{org}, clay; R² \geq 0.74). The range of the simulated annual mineralization rate within one soil class remains within this range of uncertainty for most arable soils (organic matter < 5%). It is stressed, however, that with higher organic matter content and after change of cultivation practices (grassland turnover) rates and variances will be much higher. The uncertainty of predicting yield and N uptake by simulation for a 10 year period of winter rye cropping on sandy soil was by far the lowest (< 10 percent), thus remaining within the range of ± 20 kgN ha⁻¹. This will be exceeded at higher yield and N uptake by winter wheat. The dynamic approach is proposed to utilize mapped information on soil and crop properties.

Literatur

- Kersebaum, K. Ch. (1989): Die Simulation der Stickstoff-Dynamik von Ackerböden. - Dissertation, Universität Hannover.
- Kersebaum K. Ch. und J. Richter (1991): Modelling nitrogen dynamics in a plant-soil system with a simple model for advisory purposes. - Fertilizer Research, 27, S. 273-281.
- Otter-Nacke, S. und H. Kuhlmann (1991): A comparison of the performance of N-simulation models in the prediction of N_{min} on farmers fields in the spring. - Fert. Res. 27, S. 341-347.
- Richter, G. M. (1995): Eignung eines Modells für den Stickstoffhaushalt als Instrument in der Regionalplanung und Beratung landwirtschaftlicher Betriebe - Felduntersuchungen und Simulationen. - Vorgelegte Habilitationsschrift, TU Braunschweig.
- Richter, G. M., A. Hoffmann, R. Nieder, J. Richter (1989b): Nitrogen mineralization in loamy arable soils after increasing the ploughing depth and ploughing grasslands. - Soil Use Management, 5: S. 169-173.
- Richter, J., G. M. Richter, R. Anlauf, F. Aschenbrenner, A. J. Beblík (1992a): Nitrataustrag aus Böden ins Grundwasser in unterschiedlich belasteten Trinkwassereinzugsgebieten Niedersachsens. - Abschlußbericht zum BMFT-Projekt 0339121 A,B.
- Richter, G. M., A. J. Beblík, J. Richter (1996): Nitrataustrag aus Ackerböden in unterschiedlich belasteten Trinkwassereinzugsgebieten Niedersachsens. - Abschlußbericht BMBF/BEO 0339121C, 235 S.

Samra, J. S., H. S. Gill, R. Anlauf, J. Richter (1990):
Spatial dependence of soil sodicity and tree growth in a Natric
Haplustalf. - Soil Sci. Soc. Am. J. 54, S. 1228-1233.

van Keulen (1993): persönliche Mitteilung.

Wehrmann J., und H. C. Scharpf (1986): The N_{min} -method
- an aid to integrating various objectives of nitrogen fertilization.

- Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 149, S. 428-440.

Verfasser: Richter, Goetz M., Dr. sc. agr., Institut für
Geographie und Geoökologie der Technischen Universität
Braunschweig, Abteilung Landschaftsökologie, Langer Kamp
19 c, 38106 Braunschweig.