



Schätzung der optimalen N-Düngung zu Wintergetreide?

Ulrich WALTHER, Peter WEISSKOPF und Friedrich JÄGGLI, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Reckenholz (FAL), CH-8046 Zürich

Die heutigen Verfahren zur Schätzung der optimalen N-Düngung enthalten nur qualitative oder grob geschätzte Angaben. Mit Hilfe von Standorteigenschaften und Angaben zur Bewirtschaftung von 822 Parzellen wurde versucht, einige Einflussfaktoren besser zu quantifizieren, um mit deren Hilfe die N-Düngung ohne Bodenuntersuchung annähernd zu optimieren. Der Erfolg des Vorhabens blieb jedoch leider grösstenteils aus. Die N_{min} -Methode bleibt vorderhand das zuverlässigste Hilfsmittel.

Stickstoff hat im Agroökosystem eine zentrale Stellung. Mineralischer Stickstoff ist einerseits der bekannte Motor des Pflanzenwachstums und andererseits kann er in Form von Nitrat das Grundwasser belasten. Organisch gebundener Stickstoff im Boden ist ein beträchtliches Reservoir für die Stickstoffmineralisierung durch Mikroorganismen. Standortfaktoren und die Bewirtschaftung sind entscheidend für dessen Mineralisierung. Der dadurch beeinflusste Mineralstickstoffgehalt des Bodens (N_{min}) kann zu bestimmten Zeitpunkten zur Optimierung der Stickstoffdüngung im Ackerbau verwendet werden (Scharpf und Wehrmann 1975). Im Verlaufe der letzten 15 Jahre wurde die N_{min} -Methode zu einem sicheren Hilfsmittel für eine optimale Stickstoffdüngung im Ackerbau entwickelt (Walther 1983a-d; Walther 1984a-b; Walther und Jäggli 1989; Walther 1990; Walther und Jäggli 1992; Walther und Weidmann 1992; Walther 1995a-c; Walther *et al.* 1996).

Der Arbeits- und Kostenaufwand für die analytische Bestimmung des Mineralstickstoffgehaltes von Böden ist jedoch beträchtlich. Es wird deshalb seit längerer Zeit versucht, mindestens einen Teil der Faktoren, die den N_{min} -Gehalt des Bodens direkt oder indirekt beeinflussen, quantitativ zu erfassen. Leider sind die leicht erfassbaren Parameter oft weit vom Ort des Geschehens entfernt (Abb. 1), die Mineralisierung direkt beeinflussende Faktoren sind dagegen oft kaum oder zu spät messbar.

822 Parzellen wurden untersucht

Zur Quantifizierung des Einflusses verschiedener Faktoren auf die optimale Stick-

stoffdüngung standen Angaben und Messungen von 357 Wintergerste- und 465 Winterweizenparzellen zur Verfügung. Diese wurden durch die örtliche Beratung in den Jahren 1993 bis 1995 in den Kantonen Aargau, Basel-Land, Bern, Luzern, St. Gallen, Schaffhausen, Solothurn, Thurgau, Zug und Zürich ausgewählt. Die meisten Parzellen (je über 200) lagen in den Kantonen Bern, Luzern und Zürich. Standorte mit einem Humusgehalt von über 10 % oder einem Grundwasserstand von mehr als 70 cm wurden von der Untersuchung ausgeschlossen. Auf einer homogenen Testfläche von 100 m² wurden folgende Parameter oder Gruppen von Einflussgrössen erhoben: Gründigkeit, Skelettgehalt, Humusgehalt, Körnung und Vernässung mittels schichtweiser Schätzung vor Ort an Bohrkernen; Humusgehalt, Körnung, pH-Wert, P-, K- und Mg-Test an einer Bodenprobe aus 0 bis 20 cm Tiefe; der N_{min} -Gehalt in den

Bodenschichten 0-30 cm, 30-60 cm und 60-100 cm im Zeitraum vom 15. Februar bis 10. März; Niederschläge und Bodentemperatur von der nächstgelegenen SMA-Station. Die Struktur des Betriebes und die Bewirtschaftung der ausgewählten Parzelle wurden mittels Fragebogen erhoben. Die Tabellen 1 und 2 enthalten einige Angaben über die Betriebe sowie verschiedene Bodeneigenschaften. In Tabelle 3 sind Angaben über die Häufigkeit einzelner Kulturen als Vorkulturen von Wintergerste und Winterweizen aufgeführt. Auf den 357 Wintergersteparzellen sind in den drei Vorjahren 87 verschiedene Kombinationen von drei Kulturen (Fruchtfolge) zu finden. Auf den 465 Winterweizenparzellen sind es deren 107. Die häufigsten Fruchtfolgen vor der Gerste beziehungsweise vor dem Weizen sind in Tabelle 4 aufgelistet.

Faktoren, die die optimale N-Düngung beeinflussen

Aufgrund des N_{min} -Gehaltes des Bodens wurde für jede Parzelle die optimale N-Düngung (Walther *et al.* 1994) berechnet. Hohe N_{min} -Werte beeinflussen nebst der ersten auch die zweite N-Gabe. Daher

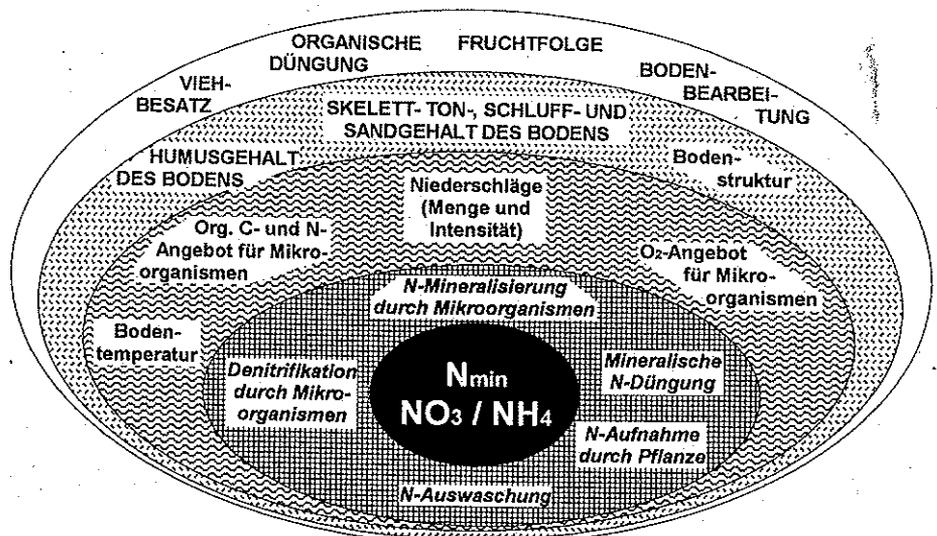


Abb. 1. Direkt (kursiv) und indirekt den N_{min} -Gehalt des Bodens und die Stickstoffdüngung beeinflussende Faktoren. Grossbuchstaben = sicher erfassbare Faktoren (Aufwand/Kosten teilweise erhöht), Gross-/Kleinbuchstaben = schwierig/kaum erfassbare beziehungsweise sich laufend verändernde Faktoren.

Tab. 1. Angaben zu den 215 Betrieben mit den 822 untersuchten Parzellen

| Eigenschaft des Betriebs | Durchschnitt | Minimum | Maximum |
|--|--------------|---------|---------|
| Landwirtschaftliche Nutzfläche (LN), ha | 24,8 | 5 | 105 |
| Fruchtfolgefläche, % der LN | 68,8 | 6 | 100 |
| Getreideanteil auf Fruchtfolgefläche, % | 37,1 | 8 | 67 |
| Hackfruchtanteil auf Fruchtfolgefläche, % | 34,9 | 4 | 77 |
| Maisanteil auf Fruchtfolgefläche, % | 18,0 | 0 | 65 |
| Kunstpflanzenanteil auf Fruchtfolgefläche, % | 25,7 | 0 | 77 |
| Viehbesatz (DGVE/ha LN) | 1,68 | 0 | 5,7 |
| Rindvieh (GVE/ha LN) | 1,12 | 0 | 2,3 |
| Milchkühe (Anzahl pro ha LN) | 0,77 | 0 | 1,8 |
| Schweine (MSP/ha LN) | 2,9 | 0 | 24 |

GVE: Grossvieheinheiten; DGVE: Dünger-Grossvieheinheiten; MSP: Mastschweineplätze

Tab. 2. Eigenschaften der Böden der untersuchten Parzellen, Hofdüngereinsatz und Winterniederschläge

| Eigenschaft des Bodens, Hofdüngereinsatz, Winterniederschläge | Durchschnitt | Minimum | Maximum |
|---|--------------|---------|---------|
| Humusgehalt (0-20 cm), % | 3,4 | 0,9 | 8,3 |
| Tongehalt (0-20 cm), % | 22 | 8 | 68 |
| Schluffgehalt (0-20 cm), % | 30 | 5 | 65 |
| pH _{H₂O} -Wert (0-20 cm) | 7,0 | 5,5 | 8,6 |
| Skelettgehalt 0-30 cm (Code ¹) | 1,2 | 1 | 2 |
| Skelettgehalt 30-60 cm (Code ¹) | 1,4 | 1 | 3 |
| Skelettgehalt 60-100 cm (Code ¹) | 1,6 | 1 | 3 |
| Summe Skelettgehaltcode 0-100 cm | 4,2 | 3 | 8 |
| Anzahl Jahre mit Mistgabe ² | 6 | 0 | 20 |
| Anzahl Jahre mit Güllegaben ² | 12 | 0 | 20 |
| Niederschläge Nov.-Feb. (mm) | 356 | 101 | 683 |

¹Geschätzte Codes: 1 = 0-5 Volumen-%; 2 = 5-30 Volumen-%; 3 = 30-50 Volumen-%

²Während der letzten 20 Jahre

Tab. 3. Vorkulturen auf den untersuchten Parzellen

| Kultur | Vorkulturen | Anteile in % als | | |
|--------------|-------------------|------------------|---------------|-------------------|
| | | Vorkultur | Vor-Vorkultur | Vor-Vor-Vorkultur |
| Wintergerste | Getreide | 55,2 | 29,7 | 38,1 |
| | Mais | 17,4 | 25,2 | 21,6 |
| | Kartoffeln | 10,9 | 9,0 | 5,3 |
| | Raps | 9,0 | 9,0 | 2,8 |
| | Wiese | 2,5 | 13,2 | 21,3 |
| | Körnerleguminosen | 2,2 | 1,1 | 0,3 |
| | Rüben | 1,1 | 11,5 | 7,8 |
| Winterweizen | Mais | 35,9 | 12,5 | 15,9 |
| | Kartoffeln | 16,8 | 6,6 | 7,5 |
| | Wiese | 16,3 | 32,0 | 33,8 |
| | Rüben | 14,8 | 3,7 | 6,7 |
| | Raps | 9,0 | 2,8 | 4,5 |
| | Getreide | 2,5 | 40,2 | 28,6 |
| | Körnerleguminosen | 2,2 | 1,5 | 0,2 |

wurde die Summe der 1. und 2. N-Gabe berücksichtigt. Für mehrere Gruppen von Parzellen mit einer gemeinsamen Eigenschaft wurden die durchschnittlichen optimalen N-Gaben berechnet und mit der durchschnittlichen optimalen N-Gabe aller Parzellen (Jahresnorm) verglichen. Die Abweichungen von der Jahresnorm sind meistens gleich gerichtet, das Ausmass ist jedoch von Jahr zu Jahr unterschiedlich (Tab. 5).

Jahresspezifische Korrektur der Norm

Mit Hilfe der Summe der durchschnittlichen, durch wichtige Einflussfaktoren verursachten Abweichungen (Tab. 5) wurde

versucht, die in den «Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau, GRUDAF» (Walther *et al.* 1994) enthaltenen Stickstoffdüngungsnormen (GRUDAF-Norm) den Eigenschaften der einzelnen Parzellen anzupassen. Das jeweilige Ergebnis wurde mit der optimalen N-Gabe nach dem N_{min}-Gehalt des Bodens verglichen. Die Unterschiede zwischen den zwei Ergebnissen waren oft grösser als erwartet. Die N-Düngung kann mit Hilfe durchschnittlicher Abweichungen und der GRUDAF-Norm kaum optimiert werden.

In einem zweiten Schritt wurde anstelle der GRUDAF-Norm eine jahresspezifische N-Düngungsnorm (Tab. 5, Jahresnorm) verwendet. Der Anteil optimal gedüngter Wintergerste-Parzellen wird bei

Tab. 4. Häufigste Kombinationen der Vorkulturen

| Fruchtfolge | Häufigkeit in % |
|---------------------------------------|-----------------|
| Getreide - Mais - Getreide - WG | 10,1 |
| Getreide - Raps - Getreide - WG | 6,7 |
| Getreide - Rüben - Getreide - WG | 4,5 |
| Getreide - Kartoffeln - Getreide - WG | 3,6 |
| Wiese - Wiese - Wiese - WW | 6,9 |
| Mais - Wiese - Wiese - WW | 6,7 |
| Wiese - Wiese - Getreide - WW | 6,2 |
| Kartoffeln - Wiese - Wiese - WW | 5,8 |
| Mais - Getreide - Mais - WW | 4,3 |
| Rüben - Getreide - Mais - WW | 3,0 |

WG: Wintergerste

WW: Winterweizen

diesem Ansatz um lediglich 5 bis 14 % verbessert und der Anteil optimal gedüngter Parzellen erreicht nur etwa 50 bis 60 % (Tab. 6). Beim Winterweizen nimmt der Anteil optimal gedüngter Parzellen etwas mehr zu (14 - 19 %), der Anteil optimal gedüngter Parzellen erreicht jedoch trotz der parzellenspezifischen Korrekturen lediglich etwa 50 %. Werden anstelle der Jahresnorm mehrjährig (1993 - 1995) berechnete Normen und Korrekturen verwendet, ist die Trefferwahrscheinlichkeit der optimalen N-Düngung kleiner als bei Verwendung jährlicher Daten. Zudem ist zu beachten, dass zur Ermittlung des Einflusses der Bodenart analytisch bestimmte Humus- und Tongehalte erforderlich sind.

Gleichzeitiger Einfluss mehrerer Faktoren

In den oben beschriebenen Berechnungen wurde stets die Summe der durchschnittlichen Abweichungen aller berücksichtigten Faktoren verwendet. In Tabelle 7 sind beispielhaft die Summen der durchschnittlichen Abweichungen von drei Faktoren mit den durchschnittlichen Abweichungen von denjenigen Parzellen verglichen, welche alle drei Eigenschaften gleichzeitig aufweisen. Die Unterschiede zwischen den zwei Berechnungsarten sind zum Teil beträchtlich. Sie zeigen deutlich, dass eine einfache Addition der durchschnittlichen Einflüsse mehrerer Faktoren kaum zuverlässig ist. Sowohl bei der Wintergerste als auch beim Winterweizen führte die Summe der drei düngungserhöhenden Faktoren oft zu einer zu starken Korrektur, bei den düngungsmindernden Faktoren ist die Korrektur oft zu gering. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass die Stickstoffdynamik des Bodens und der N_{min}-Gehalt bei Vegetationsbe-

Tab. 5. Durchschnittliche Abweichungen von der durchschnittlich optimalen N-Gabe bei Wintergerste und Winterweizen in einzelnen Jahren und während mehreren Jahren, verursacht durch unterschiedliche Ausprägungen wichtiger Einflussfaktoren

| Einflussfaktor | Durchschnittliche Abweichung (kg N/ha) | | | | | | | | |
|---|--|------|------|---------|--------------|------|------|---------|-----|
| | Wintergerste | | | | Winterweizen | | | | |
| | 1993 | 1994 | 1995 | 1993-95 | 1993 | 1994 | 1995 | 1993-95 | |
| Viehbesatz (DGVE/ha) | <1 | +9 | +5 | +3 | +8 | +10 | +10 | +10 | +10 |
| | 1-2 | +4 | -2 | +1 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| | >2 | -9 | +2 | -2 | -4 | -8 | -1 | -4 | -3 |
| Humusgehalt (0-20 cm)* | <3% | +9 | +6 | +11 | +9 | +11 | +14 | +12 | +13 |
| | 3-8% | -7 | -5 | -8 | -7 | -9 | -11 | -10 | -10 |
| Skelettgehalt (0-100 cm)* | <10 Vol.-% | -7 | -4 | -5 | -6 | -8 | -7 | -6 | -7 |
| | >10 Vol.-% | +13 | +8 | +5 | +10 | +10 | +18 | +7 | +12 |
| Tongehalt (0-20 cm)* | <20% | +3 | +5 | +7 | +6 | +7 | +11 | +5 | +10 |
| | 20-30% | -2 | 0 | -7 | -4 | -8 | -4 | -12 | -9 |
| | >30% | -5 | -27 | -7 | -13 | 0 | -12 | +2 | -7 |
| Vorfrucht | Rüben | - | +19 | - | -3 | +12 | +17 | +4 | +11 |
| | Getreide | +7 | +3 | 0 | +4 | -11 | +13 | - | -1 |
| | Mais | -5 | -5 | -4 | -6 | +9 | +8 | +3 | +9 |
| | Kartoffeln | -9 | -9 | 0 | -3 | +2 | 0 | +2 | 0 |
| | Wiese | -26 | -57 | -31 | -36 | -37 | -25 | -28 | -32 |
| Winterniederschläge (Nov. bis Februar) | <300 mm | -2 | -7 | - | -6 | -1 | +2 | - | -6 |
| | 300-350 mm | -1 | -1 | -5 | -4 | -2 | -10 | -7 | -9 |
| | >350 mm | +3 | +6 | +1 | +6 | +5 | +10 | +1 | +11 |
| Durchschnittliche optimale N-Gabe* aller Parzellen («Jahresnorm», «Mehrjahresnorm») | | 61 | 62 | 77 | 66 | 80 | 84 | 106 | 88 |
| Durchschnittlicher N _{min} -Gehalt aller Parzellen | | 45 | 44 | 29 | 40 | 63 | 58 | 38 | 54 |

*Probenahmetiefe; Humus- und Tongehalt des Bodens wurden im Labor bestimmt. Der Skelettgehalt des Bodens wurde auf dem Feld geschätzt.

**Die Bemessung der N-Gaben aufgrund des N_{min}-Gehaltes des Bodens wurde als optimal angenommen.

Tab. 6. Trefferwahrscheinlichkeit (= Anteil Parzellen in %) der optimalen N-Gabe (Summe 1. und 2. Gabe) bei Wintergerste und Winterweizen bei Bemessung der N-Düngung nach der jahresspezifisch optimalen N-Gabe («Jahresnorm», alle Parzellen werden gleich gedüngt) beziehungsweise nach einer «korrigierten Jahres- beziehungsweise Mehrjahresnorm» (die Jahres- beziehungsweise Mehrjahresnorm wird für jede Parzelle gemäss ihren Eigenschaften um die in Tab. 5 aufgeführten Werte korrigiert)

| Parzellenspezifische Differenz* zwischen N-Gabe nach «Jahresnorm» bzw. «Korrigierter Jahresnorm» und optimaler N-Gabe** | Anteil Parzellen in % | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------------|----|----|-------|-------------------------------------|----|----|-------|------------------------|----|----|-------|-------------------------------------|----|----|-------|
| | Wintergerste | | | | | | | | Winterweizen | | | | | | | |
| | N-Gabe nach Jahresnorm | | | | N-Gabe nach korrigierter Jahresnorm | | | | N-Gabe nach Jahresnorm | | | | N-Gabe nach korrigierter Jahresnorm | | | |
| | 93 | 94 | 95 | 93-95 | 93 | 94 | 95 | 93-95 | 93 | 94 | 95 | 93-95 | 93 | 94 | 95 | 93-95 |
| über -60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -45 bis -60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 4 | 0 | 4 | 1 | 2 | 0 | 1 |
| -30 bis -45 | 11 | 6 | 0 | 7 | 7 | 4 | 4 | 8 | 14 | 13 | 8 | 14 | 8 | 10 | 8 | 12 |
| -15 bis -30 | 26 | 23 | 24 | 27 | 19 | 21 | 17 | 20 | 25 | 24 | 30 | 21 | 15 | 17 | 23 | 16 |
| -15 bis +15 | 35 | 52 | 54 | 42 | 49 | 57 | 64 | 51 | 33 | 31 | 40 | 33 | 51 | 50 | 54 | 45 |
| +15 bis +30 | 15 | 6 | 13 | 10 | 15 | 9 | 9 | 11 | 9 | 10 | 7 | 10 | 12 | 6 | 5 | 10 |
| +30 bis +45 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 3 | 3 | 4 | 4 | 9 | 6 | 7 | 4 | 6 | 4 | 5 |
| +45 bis +60 | 7 | 8 | 3 | 7 | 3 | 4 | 2 | 4 | 6 | 2 | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| über +60 | 4 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 9 | 7 | 6 | 7 | 3 | 3 | 2 | 3 |
| Durchschnittliche Abweichung von der optimalen N-Gabe (kg N/ha) | 22 | 19 | 16 | 21 | 18 | 16 | 14 | 18 | 27 | 24 | 22 | 27 | 20 | 19 | 18 | 22 |

*Bei negativen Werten würden die N-Gaben nach der «Jahres-Norm» beziehungsweise nach der «korrigierten Jahres-Norm» zu gering, bei positiven Werten zu hoch bemessen im Vergleich zur Empfehlung nach dem N_{min}-Gehalt des Bodens.

**Die Bemessung der N-Gaben aufgrund des N_{min}-Gehaltes des Bodens wurde als optimal angenommen.

ginn (düngungserhöhende Faktoren reduzieren den N_{min}-Wert und umgekehrt) unter gleichzeitigem Einfluss mehrerer N_{min} erhöhender Faktoren synergistische Effekte zeigt. Bei N_{min}-mindernden Faktoren sind die Abweichungen vom Durchschnittswert geringer als die Summe der Wirkung der Einzelfaktoren. Die Einflüs-

se einzelner Faktoren können demnach nicht einfach zusammengezählt werden. Diese nicht additive Wirkung einzelner Faktoren erklärt teilweise, weshalb das oben beschriebene Verfahren untauglich ist. Ferner sind die einzelnen Faktoren sehr variabel und deren Kombinationsmöglichkeiten sind praktisch unbegrenzt.

Um eine Mehrzahl der Kombinationsmöglichkeiten zu prüfen, müssten mehrere Tausend Beobachtungen über einen längeren Zeitraum zur Verfügung stehen.

Andere Schätzverfahren?

Die mittels der *linearen Regressionsrechnung* geschätzte Abweichung der optimalen N-Gabe von der GRUDAF-Norm ergab gesicherte und plausible Ergebnisse (Tab. 8). Die Trefferwahrscheinlichkeit für eine optimale N-Düngung erreicht aber auch bei diesem Vorgehen höchstens 60 % (Tab. 9) und ist als ungenügend einzustufen. Mit verschiedenen *Stickstoffsimulationsmodellen* kann zurzeit der Verlauf der N_{min}-Gehalte des Bodens mehr oder weniger zuverlässig abgeschätzt werden. Dazu wird meistens ein Anfangswert (zum Beispiel im Herbst) benötigt. Für die Optimierung der Stickstoffdüngung dürfte es daher sinnvoller und zuverlässiger sein, den N_{min}-Gehalt des Bodens zum agronomisch richtigen Termin direkt zu bestimmen.

Bewährtes und zurzeit Ungeeignetes

Die analytische Bestimmung des mineralischen Stickstoffgehaltes des Bodens bei Vegetationsbeginn ist zurzeit das weitestreichsicherste Verfahren, um die Stickstoffdüngung im Getreidebau zu optimieren. Nachteilig sind der Arbeitsaufwand bei der Probenahme und die Kosten.

Die «Schätzmethode» in den «Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau», welche in erster Linie unter den klimatischen Bedingungen der Westschweiz entwickelt wurde, eignet sich unter den Bedingungen der Deutschschweiz weder für Wintergerste noch für Winterweizen zur Optimierung der Stickstoffdüngung.

Weder jahresspezifisch noch mehrjährig berechnete «Stickstoff-Normen» und aufgrund der Standortverhältnisse und Bewirtschaftung ermittelte Korrekturen vermögen die Stickstoffdüngung zu Wintergerste und Winterweizen mit ausreichender Genauigkeit zu optimieren.

Die regressionsanalytische Schätzung der parzellenspezifischen Abweichungen von der Norm verbesserte die Treffsicherheit der optimalen N-Düngung nur ungenügend.

Stickstoffsimulationsprogramme sind zurzeit nicht in der Lage, den Verlauf des N_{min}-Gehaltes des Bodens generell mit ausreichender Genauigkeit zu schätzen.

Tab. 7. Vergleich der Summe der durchschnittlichen Abweichungen von der Jahresnorm, verursacht durch einzelne Faktoren mit der durchschnittlichen Abweichung aller Parzellen, welche alle drei Eigenschaften aufweisen

| Korrekturfaktor | Abweichung von der durchschnittlichen optimalen N-Gabe (kg N/ha) | | | | | | | |
|--|--|------------|------------|------------|--------------|------------|------------|------------|
| | Wintergerste | | | | Winterweizen | | | |
| | 1993 | 1994 | 1995 | 93-95 | 1993 | 1994 | 1995 | 93-95 |
| A. Tierbesatz < 1 DGVE/ha | +9 | +5 | +3 | +8 | +10 | +10 | +10 | +10 |
| B. Humusgehalt (0-20 cm) < 3% | +9 | +6 | +11 | +9 | +11 | +14 | +12 | +13 |
| C. Skelettgehalt (0-100 cm) >10% | +13 | +8 | +5 | +10 | +10 | +18 | +7 | +12 |
| Summe der Korrekturen A, B und C | +31 | +19 | +19 | +27 | +31 | +42 | +29 | +35 |
| A, B und C gleichzeitig erfüllt | +14 | * | +22 | +15 | +33 | +37 | +20 | +31 |
| A. Tierbesatz > 2 DGVE/ha | -9 | +2 | -2 | -4 | -8 | -1 | -4 | -3 |
| B. Humusgehalt (0-20 cm) > 3% | -7 | -5 | -8 | -7 | -9 | -11 | -10 | -10 |
| C. Skelettgehalt (0-100 cm) <10% | -7 | -4 | -5 | -6 | -8 | -7 | -6 | -7 |
| Summe der Korrekturen A, B und C | -23 | -7 | -15 | -17 | -25 | -19 | -14 | -20 |
| A, B und C gleichzeitig erfüllt | -34 | -12 | -15 | -23 | -23 | -37 | -17 | -20 |

* Weniger als fünf Beobachtungen

Tab. 8. Mit Hilfe multipler, linearer Regressionsrechnung ermittelte Korrekturen der GRUDAF-Norm-Düngung bei Wintergerste und Winterweizen. GRUDAF: «Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau» (Walther et al. 1994)

| Korrekturfaktor | Korrektur der GRUDAF-Norm (kg N/ha) | |
|---|-------------------------------------|--------------|
| | Wintergerste | Winterweizen |
| Grundkorrektur | -4,5 | -13,9 |
| Niederschläge Nov.-Febr., kg pro 100 mm | +6,1 | +10,0 |
| Viehbesatz, kg pro DGVE/ha | -2,5 | -3,3 |
| Skelettgehalt des Bodens (Code, 0-100cm), kg pro Codepunkt* | +4,1 | +4,3 |
| Humusgehalt des Bodens (0-20 cm), kg pro % Humus | -11,0 | -14,4 |
| Tongehalt des Bodens (0-20 cm), kg pro 10 % Ton | +3,2 | |
| Schluffgehalt des Bodens (0-20 cm), kg pro 10 % Schluff | -3,6 | |
| Vorkultur Getreide | +10,0 | +12,9 |
| Vorkultur Mais | +3,6 | +10,3 |
| Vorkultur Rüben | | +12,4 |
| Vorkultur Raps | +8,8 | |
| Vorkultur Wiese | -23,0 | -27,2 |
| Vorkultur Gemüse | | -18,9 |

* Skala 3-9: 3 = <5 Volumen-%, 9 = >30 Volumen-%.

Tab. 9. Trefferwahrscheinlichkeit (= Anteil Parzellen in %) der optimalen N-Gabe (Summe 1., 2. und 3. Gabe) bei N-Düngung nach der GRUDAF-Norm (alle Parzellen erhalten die Normdüngung) sowie nach der gemäss Tabelle 8 korrigierten GRUDAF-Norm bei Wintergerste und Winterweizen. GRUDAF: «Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau» (Walther et al. 1994).

| Parzellenspezifische Differenz zwischen N-Gabe nach «GRUDAF-Norm» beziehungsweise korrigierter GRUDAF-Norm und optimaler N-Gabe* | Anteil Parzellen in % | | | |
|--|---|--------------|--|--------------|
| | N-Gabe nach GRUDAF-Norm, ohne Korrekturen | | N-Gabe nach GRUDAF-Norm mit Korrekturen gemäss Tabelle 8 | |
| | Wintergerste | Winterweizen | Wintergerste | Winterweizen |
| über -60 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -45 bis -60 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| -30 bis -45 | 3 | 6 | 4 | 6 |
| -15 bis -30 | 24 | 17 | 17 | 18 |
| -15 bis +15 | 41 | 37 | 59 | 52 |
| +15 bis +30 | 12 | 9 | 11 | 13 |
| +30 bis +45 | 7 | 8 | 5 | 5 |
| +45 bis +60 | 3 | 8 | 3 | 3 |
| über +60 | 10 | 15 | 1 | 2 |
| Durchschnittliche Abweichung von der optimalen N-Gabe (kg N/ha) | 25 | 32 | 16 | 18 |

* Bei negativen Werten würden die N-Gaben nach «GRUDAF-Norm» beziehungsweise nach «korrigierter GRUDAF-Norm» zu gering, bei positiven Werten zu hoch bemessen im Vergleich zur Empfehlung nach dem N_{min} -Gehalt des Bodens. Die Bemessung der N-Gaben aufgrund des N_{min} -Gehaltes des Bodens wurde als optimal angenommen.

Zudem verlangen sie stets einen analytisch gemessenen Anfangswert. Da dürfte es wohl sinnvoller sein, die Analyse direkt beim Düngetermin durchzuführen.

■ Aus einer grossen Anzahl von Beobachtungen ermittelte Durchschnittswerte lassen sich grundsätzlich nicht auf den Einzelfall anwenden.

LITERATUR

Ein vollständiges Literaturverzeichnis kann bei den Autoren bezogen werden.

Scharpf H.C. und Wehrmann J., 1975. Die Bedeutung des Mineralstickstoffvorrates des Bodens zu Vegetationsbeginn für die Bemessung der N-Düngung zu Winterweizen. *Landw. Forsch.*, Sonderh. 31/1, 100-114.

Walther U., 1983a. Einfluss des Mineralstickstoffgehaltes des Bodens und der N-Düngung auf den Ertrag und die Ertragsstruktur von Winterweizen. *Mitt. Schweiz. Landw.* 31, 4, 102-112.

Walther U., 1990. Ertrag und Qualität von Kartoffeln in Abhängigkeit des N_{min} -Gehaltes des Bodens sowie des Zeitpunktes und der Höhe der Stickstoffdüngung. I. N_{min} -Gehalte des Bodens und Ertrag. *Landw. Schweiz* 3 (6), 323-330. II. Qualität der Knollen. *Landw. Schweiz* 3 (10), 567-575.

Walther U., 1995c. Optimale Stickstoffdüngung zu Mais mit der N_{min} -Methode. *Agrarforschung* 2 (7), 273-275.

Walther U., Menzi H., Ryser J.P., Flisch R., Jeangros B., Kessler W., Maillard A., Siegenthaler A.F. und Vuilloud P.A., 1994. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau. *Agrarforschung* 1 (7), 1-40.

RÉSUMÉ

Influence des caractéristiques du sol, du mode d'exploitation et de la météorologie sur la fumure azotée optimale du blé et de l'orge d'automne

L'estimation de la fumure azotée optimale de blé et de l'orge d'automne a été testée de différentes manières à partir des données de 822 parcelles. Aucun procédé n'a permis d'estimer la valeur optimale avec une précision suffisante. La difficulté proviendrait du fait que l'influence des différents facteurs n'est pas cumulative et que les possibilités de combinaison de leurs influences indirectes et simultanées sont presque illimitées.

SUMMARY

Effect of soil characteristics, farming system and weather on optimum nitrogen application in winter barley and winter wheat

Data from 822 plots were used to test different methods of estimating the optimum nitrogen application in winter barley and winter wheat. No method could estimate with sufficient accuracy the optimum amount as determined with the N_{min} -method. Possible explanations are the non-additive effect of the different factors and the almost innumerable combination possibilities of the various factors influencing nitrogen in the soil.

KEY WORDS: fertilization, nitrogen, wheat, barley, N_{min} -method, soil characteristics, crop rotation, crop management, farming system, weather