

Möglichkeiten der räumlich variablen N-Düngung - Erfahrungen aus dänischen Feldversuchen -

HANS SPELLING ØSTERGAARD und LEIF KNUDSEN

Beratungsstelle der Dänischen Landwirtschaft
Landesabteilung für Pflanzenbau

Bestimmung des Stickstoffbedarfs von Feldfrüchten

Die Landesabteilung für Pflanzenbau in Dänemark hat im Laufe der Jahre Richtnormen für den feldbezogenen Stickstoffbedarf der Feldfrüchte aufgestellt. Diese Normen bauen auf die Ergebnisse von den mehr als 100 Versuchen mit steigenden Stickstoffgaben für verschiedene Früchte auf, die wir in den letzten Jahren in Dänemark durchgeführt haben.

Bei der Aufstellung des räumlich variablen Stickstoffbedarfs wird prinzipiell dieselbe Methode wie bei der Aufstellung des Stickstoffbedarfs auf Feldebene benutzt.

1 Versuchsgrundlage und Berechnungsmethode

Die dänischen landwirtschaftlichen Vereine haben Versuche zu Getreide, Raps u.a. angelegt, wo den Kulturen 5-6 verschiedene Stickstoffgaben zugeführt werden. Für jeden einzelnen Versuch wird eine Ertragskurve in der Form eines Polynoms dritten Grades oder im Sonderfall eines Polynoms zweiten Grades berechnet. Auf Grund der Parameter dieser Ertragskurve ist es möglich, die optimale Stickstoffmenge in den Versuchen bei variablen Stickstoff- und Feldfruchtpreisen zu berechnen. In jeder Versuchsreihe wird die durchschnittliche optimale Stickstoffmenge als Durchschnitt des Optimums der einzelnen Versuche berechnet. Die Aufstellung der Normen baut normalerweise auf dem durchschnittlichen Versuchsergebnis der letzten 10 Jahre auf.

2 Modelle zur Bestimmung des Stickstoffbedarfs von Feldfrüchten

Die Landesabteilung für Pflanzenbau hat die N_{\min} -Methode und das Stickstoffmodul des dänischen Farm-Management-Systems (BEDRIFTSLØSNINGEN genannt) zur Berechnung des Stickstoffbedarfes eines gegebenen Feldes entwickelt.

Beide Modelle bauen auf die Annahme, daß die Stickstoffversorgung einer Feldfrucht aus folgenden Faktoren besteht:

- einer anorganischen Stickstoffmenge, die Anfang des Frühjahrs vorhanden ist (N_{\min}),
- einer mineralisierten Stickstoffmenge in der Wachstumsperiode (Mineralisierung) und
- der Zufuhr von anorganischem Stickstoff durch Handelsdünger und Stallmist.

Bedarf an Stickstoffzufuhr

Für fast sämtliche Feldfrüchte sind einige N-Zufuhrnormen aufgestellt, die den Stickstoffbedarf unter „durchschnittlichen“ Bodentyp- und Klimabedingungen und ohne Zufuhr von Stallmist angeben.

Für ein gegebenes Feld wird der Stickstoffbedarf wie folgt berechnet:

- Bedarf an Stickstoffzufuhr
- Korrektur für Ertragsabweichung
- geographische Korrektur (Bodentyp und Gemeinde)
- zusätzliche Mineralisierung
- jährliche Stickstoffvoraussage.

Die Korrekturen können sowohl positiv als negativ sein (mit Ausnahme der zusätzlichen Mineralisierung, die immer negativ ist).

Korrekturen

Korrektur für Ertragsabweichung: Für sämtliche Feldfrüchte ist ein Ertragskorrekturfaktor aufgestellt, der die Steigerung im Stickstoffbedarf für jede Dezitonne angibt, um die der Ertrag den Normertrag übersteigt.

Geographische Korrektur (Bodentyp und Gemeinde): Der Stickstoffbedarf wird für den Unterschied im anorganischen Stickstoffgehalt im Frühjahr korrigiert, und zwar bei verschiedenen Bodentypen und verschiedenen geographischen Positionen unter normalen Witterungsverhältnissen auf Feldern, wo kein Stallmist zugeführt worden ist.

Zusätzliche Mineralisierung: Die mineralisierte Stickstoffmenge außer derjenigen, die nach Getreide in einem Boden ohne Zufuhr von organischen Stoffen vorhanden ist.

Jährliche Stickstoffvoraussage: Der Gehalt an anorganischem Stickstoff. Dessen Variation ist von Jahr zu Jahr auf variable klimatische Verhältnisse im Winter zurückzuführen.

3 Überprüfung der aufgestellten Normen

Der Bedarf an N-Gaben gemäß den obigen Richtlinien ist mit den aktuellen Versuchsergebnissen aus 197 Versuchen in der Periode 1987-95 verglichen worden, um zu überprüfen, ob einige der Korrekturfaktoren angepasst werden müssen. Für jeden einzelnen Versuchsstandort ist der N-Bedarf gemäß den obigen Richtlinien mit den dazugehörigen geographischen Korrekturen, der jährlichen N-Voraussage und der zusätzlichen Mineralisierung von Stallmist berechnet. Als Ergebnis ist der gemessene Ertrag der Versuche benutzt. Die Ergebnisse gehen aus der Tabelle 1 hervor.

Vorfrucht	Stallmist	1995			1987-1995		
		Versuchszahl	N-Optimum	Pflanzenbaubehörde	Versuchszahl	N-Optimum	Pflanzenbaubehörde
Getreide	Ohne	12	208	191	29	187	198
	Mit	12	181	181	27	180	180
Raps	Ohne	-	-	-	12	151	161
	Mit	9	168	164	21	157	159
Erbse	Ohne	7	184	183	25	172	166
	Mit	1	116	151	6	120	143
Mittel		41	185	180	197	163	166

Tabelle 1: Vergleich zwischen den gemeinsamen optimalen Stickstoffmengen in Winterweizen und den Normen der Pflanzenbaubehörde (Lehmböden, Angaben in kg/haN)

Generell gesehen gibt es eine gute Übereinstimmung zwischen den registrierten Versuchsoptima in der Periode 1987-1995 und dem berechneten N-Düngerbedarf. Es gibt keine einseitigen Abweichungen, was die Vorfrucht und die Korrektur der Stallmistzufuhr betrifft. Ein Vergleich des gemessenen Optimums und des berechneten N-Düngerbedarfs in den einzelnen Versuchen zeigt jedoch eine erhebliche Abweichung. Diese Abweichung ist teils auf die Unsicherheit bei der Bestimmung des Optimums im einzelnen Versuch, teils auf den Umstand zurückzuführen, daß das Optimum des einzelnen Versuches von anderen Faktoren beeinflusst wird als diejenigen, die die Berechnung des N-Gabenbedarfs berücksichtigt. Die Tabelle stellt auch dieselbe Bilanz der Winterweizenversuche im Jahre 1995 dar. 1995 wurde im Durchschnitt ein höheres Optimum in den Versuchen registriert als berechnet. Die Unterschiede waren jedoch klein und nur von geringer wirtschaftlicher Bedeutung.

4 Aufstellung des räumlich variablen N-Bedarfs

Auf Grund des berechneten N-Bedarfs auf Feldebene wird der räumlich variable N-Düngerbedarf berechnet. Diese Berechnungen basieren auf den im Programm BEDRIFTSLØSNINGEN vorhandenen Düngerplanungssystem.

Berechnung der N-Zufuhr im Programm BEDRIFTSLØSNINGEN

Das zugrundeliegende Prinzip für die Berechnung des N-Bedarfs ist die Schätzung der N-Menge, die von der Feldfrucht im einzelnen Feld genutzt werden kann. Wenn die optimale N-Versorgung der Frucht (= Summe von N-Optimum und N_{\min}) aus Versuchen bekannt ist, ist es möglich, die optimale N-Gabe als den Unterschied zwischen Versorgungsnorm und der ausnutzbaren N-Menge im Frühjahr zu berechnen.

Bei der Berechnung der N-Zufuhr wird u. a. die zu erwartende Nutzwirkung von eventuellen zusätzlichen N-Vorräten berücksichtigt, die vor dem Anfang des Erntejahres im Boden vorhanden sind. Diese zusätzlichen N-Vorräte bestehen aus Stickstoff in organischer Substanz, der zusätzlich zur normalen Hintergrund-

menge vorhanden ist, und zwar in Stoppeln, Ernterückständen und organischem Dünger, der dem Feld vor dem aktuellen Erntejahr zugeführt wurde. In einem Feld, wo nur Getreide ohne Stroh einbringung gebaut wird, und wo auch kein Stallmist in den vergangenen 4-5 Jahren ausgebracht ist, sind diese zusätzlichen N-Vorräte nicht vorhanden.

Informationen zur Berechnung der N-Zufuhr

Bei der Berechnung der N-Zufuhr werden folgende Informationen verwendet:

- Vorvorfrucht
- Vorfrucht
- Kultur und erwarteter Ertrag
- organische N-Vorratsgrößen vor der Vorfrucht oder der Vorvorfrucht
- Rückstände von Vorfrucht oder Vorvorfrucht
- Stallmist, der der Vorfrucht oder der Vorvorfrucht zugeführt worden ist
- Bodentyp und Durchwurzelungstiefe
- Standort
- klimatische Parameter (Bodentemperatur, Niederschläge, potentielle Verdunstung)
- Normalwerte für den N_{\min} -Gehalt im Boden
- Schätzwert für N-Mineralisation
- N-Messung.

Verlauf der Modellberechnung

- Im aktuellen Erntejahr fangen die Berechnungen in dem Monat an, wo die N-Aufnahme der Vorfrucht aufhört. Zu diesem Zeitpunkt sind die abweichenden NH_4 - und NO_3 -Mengen in der Wurzelzone auf Null gestellt.
- Für jeden Monat werden dann die N-Umsetzungen in der Wurzelzone berechnet: Organische N-Vorräte in der Bodenschicht 0-25 cm werden mit einer eventuellen Zufuhr von organischem Stickstoff aus Stallmist und Ernterückständen des betreffenden Monats aktualisiert. Die Mineralisierung von organischem Stickstoff zu NH_4 -N wird auf Grund von zwei

JB	Rel. Faktor
1	0,5
2	0,8
3	0,6
4	0,9
5	0,9
6	1,0
7	1,2
8	1,0
9	1,0
10	1,0
11	0,9
12	1,0

Tabelle 2: Relativer Ertrag bei verschiedenen Bodentypen (JB 1-12 sind dänische Klassifizierungsattribute)

organischen stickstoffhaltigen Vorräten im Pflughorizont simuliert. Die Mineralisierungsgeschwindigkeit hängt von der Bodentemperatur, dem relativen Wassergehalt des Bodens und dem Bodentyp ab. Die Nitrifikation von NH_4 zu NO_3 hängt von einem Wasser- und Temperaturkorrekturfaktor ab. NO_3 , das von der Kultur nicht genutzt wird, mag zu tieferliegenden Schichten ausgewaschen werden (die Wurzelzone 0-100 cm ist in 4 Schichten von je 25 cm aufgeteilt) als eine Funktion von Bodentyp, Wassergehalt, Nitratmenge und Netto-Niederschlag. NO_3 in der obersten Bodenschicht, das weder aufgenommen noch ausgewaschen ist, kann denitrifiziert werden, was ebenfalls mit einem Wasser- und Temperaturkorrekturfaktor berücksichtigt wird.

Berechnete, zusätzliche organische N-Vorräte und NH_4 -Vorräte in Schicht 1 sowie abweichende NO_3 -Vorräte in Schicht 1-4 werden dem folgenden Monat zugeschlagen. Die abweichende N_{\min} -Menge, die von der Kultur aufgenommen ist, wird bis einschließlich März akkumuliert und vom N-Bedarf abgezogen.

Das Ergebnis der Berechnungen ist die zusätzliche N_{\min} -Menge in der Wurzelzone Ende März, die von der Umsetzung der zugeführten organischen Substanz herrührt. Die zusätzliche N_{\min} -Menge in der Wurzelzone wird bei der Berechnung des Stickstoffbedarfs abgezogen.

Einteilung des Feldes (Bodentypen und Erträge)

Bei der Berechnung der räumlich variablen N-Zufuhr werden die einzelnen Teile des Feldes differenziert. Der Bodentyp und der erwartete Ertrag sind entscheidend für die Berechnung der N-Zufuhr in verschiedenen Teilen des Feldes. Die räumlich variablen Bodentypen werden durch Analyse oder Schätzung bestimmt. Die räumlich variablen Erträge können von Ertragskarten, direkten Eingaben von Auskulturen oder Systemberechnungen auf Grund von Bodentypen herrühren. Ohne externe Angaben berechnet das System Default-Werte für die räumlich variablen Erträge auf Grund des Bodentyps (Tabelle 2).

Berechnung der räumlich variablen N-Zufuhr

Input:

Ertrag_Ø: Erwarteter Ertrag auf Feldebene (z. B. berechnet vom Programm BEDRIFTSLØSNINGEN).

Ertrag_{räuml}: Erwarteter, räumlich variabler Ertrag. Der Default-Wert wird auf Grund von Ertrag_Ø, Bodentyp und den in Tabelle 2 genannten Faktoren berechnet.

N-Bedarf_Ø: Der berechnete N-Bedarf auf Feldebene (z. B. vom Programm BEDRIFTSLØSNINGEN berechnet).

N_{\min} Korr.: Eine N_{\min} -Korrektur in der Wurzelzone verschiedener Bodentypen (Tabelle 3).

N_{\min} , Grobsand, unbewachsen				N_{\min} , Grobsand, Wintergetreide				N_{\min} , Grobsand, Winterraps			
Gebiet	0-50 cm	0-75 cm	0-100 cm	Gebiet	0-50 cm	0-75 cm	0-100 cm	Gebiet	0-50 cm	0-75 cm	0-100 cm
1	9	12	15	1	3	10	15	1	-3	-3	5
2	9	12	15	2	3	10	15	2	-3	-3	5
3	9	12	15	3	3	10	15	3	-3	-3	5
N_{\min} , Feinsand, unbewachsen				N_{\min} , Feinsand, Wintergetreide				N_{\min} , Feinsand, Winterraps			
Gebiet	0-50 cm	0-75 cm	0-100 cm	Gebiet	0-50 cm	0-75 cm	0-100 cm	Gebiet	0-50 cm	0-75 cm	0-100 cm
1	-2	-3	-4	1	-3	-5	-4	1	-1	-3	1
2	2	2	1	2	1	0	1	2	-1	-3	1
3	7	7	6	3	6	5	6	3	-1	-3	1
N_{\min} , Lehm, unbewachsen				N_{\min} , Lehm, Wintergetreide				N_{\min} , Lehm, Winterraps			
Gebiet	0-50 cm	0-75 cm	0-100 cm	Gebiet	0-50 cm	0-75 cm	0-100 cm	Gebiet	0-50 cm	0-75 cm	0-100 cm
1	-4	-6	-5	1	-5	-5	-5	1	-3	-5	0
2	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0
3	7	7	5	3	6	5	5	3	1	2	0

Tabelle 3: Korrektur des Stickstoffbedarfs bei verschiedenen Bodentypen, Bodentiefen und Niederschlagsgebieten

Frucht	Korrekturfaktor	Einheit
Sommergerste	1,0	kg N/hkg
Hafer	1,0	kg N/hkg
Sommerweizen	1,7	kg N/hkg
Winterweizen	1,3	kg N/hkg
Brotweizen	0,4	kg N/hkg
Winterroggen	1,2	kg N/hkg
Wintergerste	1,2	kg N/hkg
Wintertriticale	1,3	kg N/hkg

Tabelle 4: Korrekturfaktor der Stickstoffzufuhr

Output:

$N\text{-Bedarf}_{\text{räuml}} = N\text{-Bedarf}_{\phi} + (\text{Ertrag}_{\text{räuml}} - \text{Ertrag}_{\phi}) * \text{Ertragskorrekt.} + N_{\text{min}}\text{-Korr. (Tabelle 5)}$

Ertragskorrekt.: für jede Frucht gibt es einen Korrekturfaktor (Tabelle 4).

Praktische Erfahrungen der räumlich variablen Düngung

Die Ergebnisse der Jahre 1993 und 1994 deuten darauf hin, daß der wirtschaftliche Gewinn einer variablen Stickstoffdüngung für die meisten landwirtschaftlichen Kulturen auf Mineralböden bei 25-30 DM/ha liegt. Tabelle 5 stellt die Ergebnisse des Jahres 1995 dar, wo zwischen 5 und 8 Versuche in jedem der 3 Felder durchgeführt wurden. Die Tabelle vergleicht auch den wirtschaftlichen Gewinn einer optimalen Düngung und den wirtschaftlichen Gewinn einer Stickstoffzufuhr, die der N_{min} -Methode bzw. den von der staatlichen dänischen Pflanzenbaubehörde aufgestellten Normen folgt. Im Versuchsbericht wird vorausgesetzt, daß jeder Versuch ein Teilfeld vertritt, und daß sämtliche Teilfelder dieselbe Größe haben. Der wirtschaftliche Gewinn der optimalen Düngung spiegelt die ideale Situation wider, d. h. unterstellt, daß es möglich ist, die korrekte Stickstoffmenge zu berechnen.

In dem Feld bei Nr. Sjøby, wo 1995 Sommergerste angebaut wurde, war der wirtschaftliche Minderertrag bei einer Düngung entsprechend den von der Pflanzenbaubehörde aufgestellten Normen 70 DM/ha. Die Stickstoffnorm der Pflanzenbaubehörde ist 125 kg N/ha. Umgekehrt bedeutet es, daß der wirtschaftliche Gewinn einer variablen Stickstoffdüngung (d. h. jeder Versuch hat genau die richtige Stickstoffmenge bekommen) 70 DM pro ha war, vorausgesetzt, daß jeder Versuch ein Fünftel der Fläche vertritt. Bei einer Düngergabe gleich dem Durchschnitt der gemessenen Optima betrug der wirtschaftliche Gewinn durchschnittlich 50 DM/ha. Der Einsatz der N_{min} -Methode in den einzelnen Versuchen hat den wirtschaftlichen Minderertrag auf durchschnittlich 15 DM/ha reduziert.

Was Risø betrifft, wo Wintergerste angebaut wurde, betrug der wirtschaftliche Gewinn einer variablen Stickstoffdüngung etwa 50 DM/ha, d. h. wesentlich niedriger als in dem Versuch in Nr. Sjøby. Dies ist darauf zurückzuführen, daß der Mehrertrag bei einer Stickstoffzufuhr in Risø wesentlich niedriger lag.

In Egholm, wo Winterweizen angebaut wurde, betrug der wirtschaftliche Gewinn einer variablen Düngung ca. 50 DM/ha. Die N_{min} -Methode verhielt sich hier sehr schlecht, besonders in 2 Versuchen, wo der wirtschaftliche Minderertrag dieser Methode zwischen 100 und knapp 175 DM/ha lag.

Die Ergebnisse des Jahres 1995 bestätigen die Ergebnisse der vorhergehenden Jahre, die zeigen, daß der direkte wirtschaftliche Gewinn einer variablen Stickstoffdüngung zwischen 25 und 50 DM/ha liegt. Dieser Gewinn wird jedoch nur erzielt, wenn man im voraus den Stickstoffbedarf des ganzen Feldes kennt. Es ist daher wichtig zu klären, wie der Stickstoffbedarf der Teilfelder auf Grund der verfügbaren Informationen am besten bestimmt werden kann. Tabelle 5 zeigt, daß der wirtschaftliche Mehrertrag der N_{min} -Methode oft wesentlich niedriger als der potentielle wirtschaftliche Mehrertrag liegt. Der Gesamtgewinn des variablen Einsatzes von Nährstoffen und Kalk wird auf uneinheitlichen Böden wahrscheinlich 50 - 75 DM/ha betragen. Hierzu kommt der Gewinn einer variablen Unkrautbekämpfung (geschätzt 50 DM/ha) so daß der Gesamtgewinn 65-90 DM/ha betragen wird. Der Effekt mag jedoch noch größer sein, falls einzelne Teile eines Feldes eine verschiedenartige Anbaugeschichte haben.

Umwelt

Für sämtliche Hilfsstoffe einschließlich Pflanzenschutzmittel gilt, daß es von einem umwelt- und ressourcenschonenden Gesichtspunkt her zu gewährleisten ist, daß die Zufuhr den Bedarf nirgends im Feld übersteigt. Eine korrekte Dosierung überall im Feld kann einen niedrigeren Austrag gewährleisten, und in vielen Fällen kann der Verbrauch von Hilfsstoffen reduziert werden.

Der umweltmäßige Effekt einer variablen Stickstoffmenge gemäß dem Bedarf an mehreren Stellen im Feld wird dadurch dargestellt, daß der N_{min} -Gehalt zum Erntezeitpunkt nach variablen Stickstoffgaben in Versuchen mit steigenden Stickstoffmengen gemessen wird. Ein Anstieg des N_{min} -Gehaltes zu diesem Zeitpunkt wird unter sonst gleichen Umständen zu steigender Nitratwaschung führen. Hierzu sind die Ergebnisse des Risø-Versuchsfeldes in Abbildung 1 dargestellt. Sie zeigen, daß der N_{min} -Gehalt in fast allen Fällen mit ansteigender Stickstoffzufuhr zunimmt. Der Anstieg ist aber generell am größten, wenn die Stickstoffzufuhr die wirtschaftlich optimale Stickstoffmenge übersteigt.

Außer diesem direkten Effekt einer zu hohen Stickstoffdüngung gibt es auch einen indirekten Effekt, der darauf zurückzuführen ist, daß mehr Stickstoff in den Pflanzenrückständen hinterlassen wird. Dieser organisch gebundene Stickstoff wird allmählich als Nitrat freigesetzt, das dann mehr oder weniger der Auswaschung unterliegt.

Die Ergebnisse zeigen, daß eine korrekte Stickstoffdüngung im ganzen Feld die Nitratwaschung reduziert, besonders in stark abweichenden Gebieten mit einem niedrigen Stickstoffbedarf, vor allem aber auf Böden mit einem hohen Humusgehalt.

	Wirtschaftlicher Minderertrag						N-Zufuhr			
	N-Optimum	Mehrertrag bei Optimum	Ertrag bei 0 N	Bodenart 0-25 cm	Mittel Optimum	Pflanzenbau-behörde	N _{min} -methode	Mittel Optimum	Pflanzenbau-behörde	N _{min} -methode
Nr. Søby 1995										
Versuch 1	129	38	27	7	91	1	3	71	125	118
Versuch 2	36	45	4	11	37	146	32	71	125	68
Versuch 3	110	37	19	5	35	5	1	71	125	115
Versuch 4	81	53	18	5	4	62	1	71	125	84
Versuch 5	0	56	0	11	88	143	44	71	125	35
Mittel	71	46	14		51	71	16	71	125	84
Riss 1995										
Versuch 1	199	28	30	7	6	16	16	175	160	160
Versuch 2	135	24	31	7	20	9	13	175	160	167
Versuch 3	116	19	32	7	40	24	25	175	160	161
Versuch 4	205	30	25	7	11	22	27	175	160	155
Versuch 5	149	13	35	7	5	1	2	175	160	163
Versuch 6	180	18	41	7	2	4	3	175	160	166
Versuch 7	235	20	30	7	16	24	20	175	160	167
Versuch 8	182	16	31	7	0	2	2	175	160	162
Mittel	175	21	32		12	13	13	175	160	163
Egholm 1995										
Versuch 1	196	47	25	4	4	0	3	210	200	184
Versuch 2	97	41	35	7	157	173	175	210	200	190
Versuch 3	223	50	29	7	3	9	15	210	200	194
Versuch 4	251	51	25	5	24	37	50	210	200	192
Versuch 9	205	35	37	7	1	1	49	210	200	153
Versuch 10	300	47	24	5	153	93	104	210	200	194
Versuch 12	200	51	28	8	3	1	2	210	200	208
Mittel	210	46	29		49	45	57	210	200	188
Egholm 1994										
Versuch 1	234	57	38		19	10	24	193	200	190
Versuch 2	232	47	22		20	13	26	193	200	188
Versuch 3	178	38	29		1	5	0	193	200	189
Versuch 4	127	30	19		49	56	41	193	200	185
Mittel	193	43	27		22	21	23	193	200	188

Tabelle 5: Ergebnisse der Stickstoffversuche 1995. Die Tabelle zeigt die Stickstoffzufuhr und den wirtschaftlichen Minderertrag bei einer Stickstoffdüngung gemäß den Normen der Pflanzenbaubehörde, der N_{min}-Methode und als Mittel der gemessenen Optima

Schlußfolgerung

Mehrjährige Erfahrungen von 4 Versuchsfeldern und mit der angewandten Feld-Einteilung lassen schließen, daß der wirtschaftliche Gewinn einer variablen Stickstoffdüngung in den meisten Feldfrüchten auf Mineralböden bei 25-50 DM/ha liegen wird.

Der Gesamtgewinn eines variablen Einsatzes von Nährstoffen und Kalk wird wahrscheinlich bei 50-75 DM/ha liegen. Hierzu kommt der Gewinn einer variablen Unkrautbekämpfung von vielleicht 15 DM/ha, so daß der Gesamtgewinn 65-90 DM/ha beträgt. Der Effekt mag größer sein, falls die verschiedenen Teile des Feldes unterschiedliche Anbaugeschichten haben (z. B. die Zufuhr von Stallmist). Dieses Ergebnis basiert auf Erfahrungen von Feldern, die gezielt wegen großer Variation ausgewählt wurden. Felder mit einer kleineren Variation lassen einen entsprechend niedrigeren Gewinn erwarten.

In der Untersuchung ist eine Feldeinteilung verwendet worden, die auf Teilfeldern basiert, die auf Grund der Erfahrungen des Landwirts oder des Beraters sowie der Topographie der Felder bestimmt wurde. Es gibt andere Methoden, die in höherem Grad auf einer gezielten Bodenprobennahme zusammen mit einer statistischen Bearbeitung der Analyseergebnisse basieren. Mit die-

ser Methode wird eine größere Variabilität von Bodenmerkmalen erfaßt werden.

Zusammenfassung

Die Landesabteilung für Pflanzenbau in Dänemark hat Richtlinien für den feldbezogenen Stickstoffbedarf von Feldfrüchten aufgestellt. Bei der Aufstellung des räumlich variablen Stickstoffbedarfs wird prinzipiell dieselbe Methode wie bei der Aufstellung des Stickstoffbedarfs auf Feldebene benutzt. Die N_{min}-Methode und das Stickstoffmodul des dänischen Farm-Management-Systems berechnen den Stickstoffbedarf eines gegebenen Feldes. Der Bedarf an N gemäß den obigen Richtlinien wurde mit den aktuellen Ergebnissen aus 197 Versuchen in der Periode 1987-95 verglichen. Generell gesehen, gibt es eine gute Übereinstimmung zwischen den registrierten Versuchsoptima in der Periode 1987-1995 und dem berechneten N-Düngerbedarf.

Aufgrund des berechneten N-Bedarfs auf Feldebene wird der räumlich variable N-Düngerbedarf berechnet. Bei der Berechnung der räumlich variablen N-Zufuhr werden einzelne Teile des Feldes differenziert, dabei sind der Bodentyp und der erwartete Ertrag entscheidend für die Berechnung der N-Zufuhr.

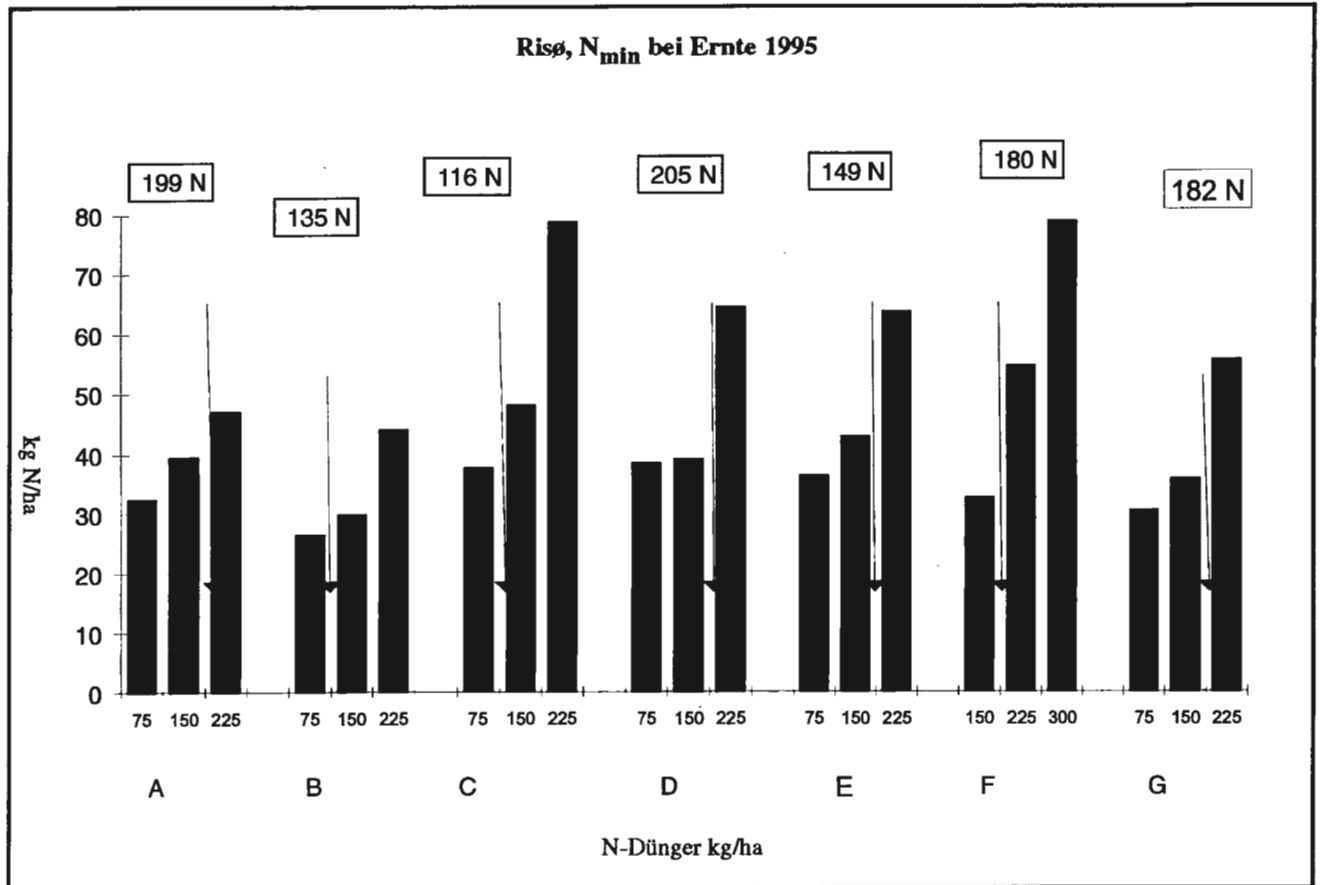


Abbildung 1: Die Ergebnisse der N_{min} -Messungen im Versuchsfeld von Risø zum Erntezeltpunkt. Die N_{min} -Messungen sind in 3 Versuchsgliedern im Bereich der wirtschaftlich optimalen Düngung, die in der Abbildung mit Pfeilen angegeben ist

Mehrjährige Erfahrungen von 4 Versuchsfeldern lassen erwarten, daß der wirtschaftliche Gewinn einer variablen Stickstoffdüngung in den meisten Feldfrüchten auf Mineralböden bei 50-75 DM/ha liegen wird. Es ist möglich, einen weiteren umwelt- und ressourcenmäßigen Gewinn zu erzielen, wenn man dieses System bei der Düngung, der Kalkung und der Pflanzenschutzarbeit einsetzt.

Varying application of nitrogen fertilizer according to local resources - experience from Danish field trials -

Throughout the years the Department of Plant Production in Denmark has calculated the nitrogen demand for different crops. When calculating the nitrogen demand in different parts of fields the same methods are used in principle. The N_{min} -method and the nitrogen module of the Danish Integrated Farm Management System are developed to calculate the nitrogen demand.

The calculated nitrogen demand was compared with the measured nitrogen demand in 197 fertilizer trials in the period 1987-1995. In general, there was good agreement between measured and calculated data.

The calculated nitrogen demand on a field scale is used as input when the nitrogen demand in different part of a field is. When dif-

ferentiating between different parts of the fields, soil type and expected yield are important parameters.

Experience over 3 years in 4 fields divided into subfields shows that the economic outcome by differentiating nitrogen fertilizer in winter wheat was between 25 and 50 DM. Furthermore, it turned out that it is possible to reduce the impact on the environment when the application of fertilizers, lime, herbicides etc. is differentiated between different parts of the field.

There is still a need to evaluate how fields are divided into subfields in the most appropriate and correct way.

Verfasser: Østergaard, Hans Spelling; Knudsen, Leif, Beratungsstelle der Dänischen Landwirtschaft, Landesabteilung für Pflanzenbau (Danish Agricultural Advisory Center), Udkaersvej 15, DK-8200 Skejby/Århus-N.