

N-optagelse, N-balance og N-styring ved deling af kvælstofgødning til vandet byg

The effect of split nitrogen application on N-uptake, N-balance and N-management of irrigated barley

Karen Søegaard

Resumé

N-strategiens indvirkning på N-optagelse og N-omsætning i vandet vårbyg blev i 1982–1985 undersøgt på grovsandet jord. N-strategierne omfattede éngangstilførsel og delt-N med forskellig fordeling mellem 1. N-tilførsel ved fremspiring og 2. N-tilførsel ved afsluttende buskning (stadium 4, Feekes skala).

Tilførsel af kvælstof ved stadium 4 resulterede i hurtig stigning i N-procenten, så denne steg med stigende N-tilførsel. Forskellene mellem N-strategierne blev mindre i løbet af vækstperioden, men var stadig gældende ved høst. Stigningen var større i kerne end i halm. Den større N-procent var medvirkende årsag til, at der blev høstet mere kvælstof i både kerne og halm jo større en del af N-gødningen, der var tilført ved stadium 4.

Den hurtige stigning i N-procenten efter den 2. N-tilførsel blev fulgt af en kraftig stigning i nitratkoncentrationen og den aktuelle og potentielle aktivitet af nitratreduktase. Dette resulterede i en stigende N-optagelsesrate med stigende N-tilførsel ved stadium 4.

Uden N-tilførsel havde nettomineraliseringen et kontinuert forløb. N-tilførsel ændrede forløbet af nettomineraliseringen væsentligt. Store N-tilførsler, om foråret ved éngangstilførsel og efter den 2. N-tilførsel i visse led med delt-N, bevirkede, at immobiliseringen tilsyneladende blev større end mineraliseringen i perioden efter gødningsudbringning.

Summeret for hele vækstperioden var nettomineraliseringen imidlertid upåvirket af N-strategien. Derimod var nettomineraliseringen større under ugødede end gødede forhold.

Der var en høj korrelation ($R^2=0,96$) mellem kerneudbyttet ved éngangsgødsning og N-procenten samt toptørstofmængden ved stadium 4. Der var imidlertid en betydelig ringere sammenhæng mellem forskellige N-koncentrationsmålinger ved stadium 4 og gødningsbehovet i delt-N. I år med god plantebestand fandtes højeste korrelation, når toptørstofmængden, N-procenten og lettilgængeligt-N i jorden var afhængige variable ($R^2=0,80$). Resultaterne kunne ikke underbygge en direkte anvendelse af N-koncentrationsmålinger ved stadium 4 som eneste styringsredskab for N-gødsning i vækstperioden.

Nøgleord: Vårbyg, delt kvælstofgødning, N-optagelse, N-balance, N-styring, vanding.

Summary

The effect of the N-strategy on N-uptake and N-turnover in irrigated barley was measured over the period 1982–1985 on coarse sandy soil. N-strategy included single application and split application with different amounts to the 1st N-application at germination and the 2nd N-application at final tillering (stage 4, Feekes scale).

Application of nitrogen at stage 4 caused a rapid increase of the N per cent. Therefore the N per cent increased with increasing N-application. The difference between the N-strategies decreased during the growth period, but was still prevailing at harvest. The increase was greater in the grain than in the straw. The greater N per cent resulted in a larger amount of nitrogen harvested in both grain and straw with a greater part of N-fertilizer being applied at stage 4.

As in the N per cent there was a great increase after the 2nd N-application in the concentration of nitrate and in the actual and potential activity of nitrate reductase. The consequence of this was an increasing rate of N-uptake with increasing N-application at stage 4.

Without N-application the net mineralisation was almost constant during the growth period. N-application changed this considerably. Large N-application, in the spring with one single application and after the 2nd application with split application, led to an apparently greater immobilisation than mineralisation in the period after fertilization.

For the whole growth period, however, the net mineralisation was not influenced by the N-strategy. On the other hand the net mineralisation was greater without than with N-application. A high correlation ($R^2=0.96$) was found between the grain yield with one single application and N per cent together with the dry matter of shoot at stage 4. There was, however, a much smaller correlation with split application between the fertilizer requirement and different concentration measurements at stage 4.

The results could not support the use of the concentration measurements at stage 4 as the only implement for N-management in the growth period.

Key words: Barley, split nitrogen application, N-uptake, N-balance, N-management, irrigation.

Indledning

Styring af N-gødskningen i vækstperioden kan enten være en vurdering af behovet for eftergødskning eller være en beregning af gødningsmængden ved delt-N. Vurdering af behovet for eftergødskning bygger ofte på optimale koncentrationskurver for planternes N-procent eller NO_3 -procent (3,12,14).

Ved delt N-gødskning er der mulighed for at tilpasse N-tilførslen til planternes N-behov. Dette giver samtidig mulighed for at påvirke plantevæksten, idet bl.a. skudsætningen og forløbet af tørstofproduktionen bliver kraftigt påvirket (17).

Ved delt N-gødskning, hvor der kun er tilført en begrænset mængde N i foråret, vil koncentrationskurverne være meget anderledes end for éngangsgødskning. I forhold til éngangsgødskning vil delt-N vise N-mangel og dermed behov for N-tilførsel. Problemet er at omsætte de forskellige målinger til N-gødningsmængder. Til dette har Nielsen og Friis-Nielsen (9) udarbejdet koncentra-

tionskurver for N samt for en del andre næringsstoffer, hvor gødningsbehovet vurderes ud fra koncentrationen relateret til plantestørrelse og ikke til udviklingsstadium. Der synes imidlertid ikke at være enighed om, hvilke parametre der bedst beskriver planternes N-status.

Ved at tilpasse N-tilførslen til planternes N-behov, kunne udvaskningsrisikoen muligvis reduceres. Især på sandjord er der i forårsperioden en vis udvaskningsrisiko, idet både N-optagelsen og vandforbruget er lille i denne periode.

Til vurdering af muligheder for N-styring og for maksimal N-udnyttelse/minimalt N-tab blev der gennemført undersøgelser i vårbyg på grovsandet jord med en 2-delning af N-gødningen. 1. N-tilførsel blev foretaget ved fremspiring og 2. N-tilførsel lige før strækningsfasen, hvor N-optagelsen er stor.

Der blev løbende udtaget jord- og planteprøver for at beskrive N-strategiens indvirkning på N-omsætningen og tørstofproduktionen. Mht. tør-

stofproduktion henvises til *Søegaard* (17) og for yderligere resultater bl.a. fra supplerende forsøg med delt-N henvises til Beretning nr. S 1859 (16).

Materiale og metoder

Kvælstofgødskning (kalkammonsalpeter, 26% NH_4NO_3):

Forsøgsled	kg N/ha		
	fremspiring	stadium 4*	total
1	40	60	100
2	40	80	120
3	40	100	140
4	60	40	100
5	60	60	120
6	60	80	140
7	80	20	100
8	80	40	120
9	80	60	140
10	100	0	100
11	120	0	120
12	140	0	140
13	0	0	0

*Feekes skala

For yderligere detaljer henvises til *Søegaard* (17).

Nitrat i plantesaften blev betemt ved nitratstest strips (Merckoquant), som er en semikvantitativ metode. Den potentielle aktivitet af nitratreduktase blev bestemt med nitrat i inkubationsvæsken, mens den aktuelle aktivitet blev bestemt uden nitrat i inkubationsvæsken (14). Til bestemmelse af N-udvaskning blev jordvand opsøget fra 70 cm dybde, efter metode af *Bennetzen* (2), og mht. beregninger henvises til *Søegaard* (16).

Resultater

N i kerne og halm

N-procenten blev i både kerne og halm påvirket af N-strategien, idet N-procenten steg med en stigende del af N-gødningen tilført ved stadium 4 (fig. 1). Effekten på N-procenten i kerne steg med stigende N-niveau. Denne vekselvirkning var imidlertid ikke signifikant.

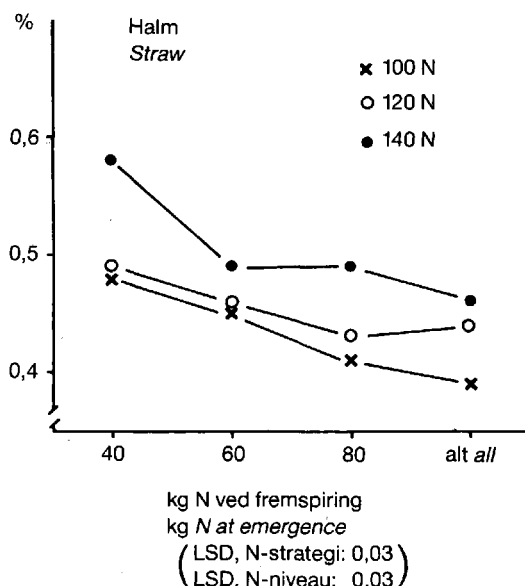
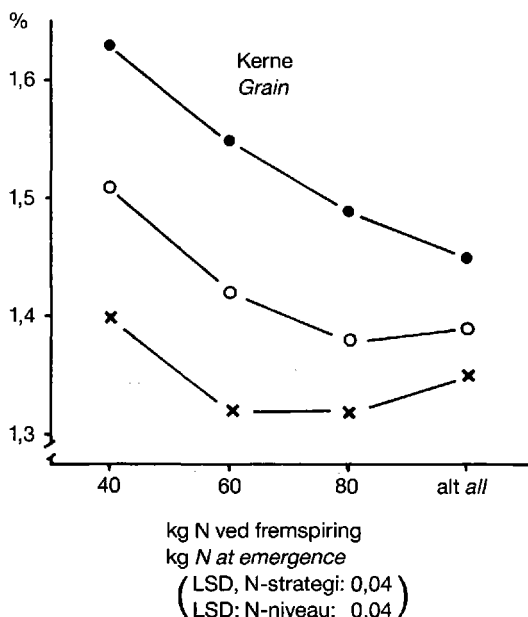


Fig. 1. Den gennemsnitlige N-procent i kerne og halm ved høst, 1982-1985.
The average per cent of N in grain and straw at harvest, 1982-1985.

I kerneudbyttet var der en signifikant vekselvirkning mellem N-niveau og N-strategi (17). N-strategiens effekt på N-procenten bevirkede imidlertid, at N høstet i kerne ved alle N-niveauer steg med stigende N-tilførsel ved stadium 4 (fig. 2). I halmen havde N-strategien betydelig mindre effekt på den høstede N-mængde. Med 40 N ved fremspiring blev der i gennemsnit høstet en signifikant større N-mængde (17,0 kg N/ha) end med de øvrige N-strategier (gns. 15,3 kg N/ha).

Den største N-mængde blev således høstet, hvor den mindste del af N-gødningen blev tilført ved fremspiring.

N-optagelse

Tilførsel af N ved stadium 4 resulterede i en hurtig N-optagelse (tabel 1). Allerede 5-7 dage efter N-gødsning steg N-procenten i toptørstof med stigende N-tilførsel ved stadium 4, mens der indtil stadium 4 havde været et kraftigt fald. Denne effekt af N-tilførsel ved stadium 4 var gældende re-

sten af vækstperioden og var især markant midt i skridningsperioden.

I perioden fra stadium 4-11.1 var vækstraten (hkg tørstof/ha/dag) uafhængig af N-strategien (17). Dette var gældende for år uden N-udvaskning af betydning i forårsperioden, dvs. med undtagelse af 1983. Det samme var ikke tilfældet for N-optagelsesraten (tabel 2), idet der var en signifikant vekselvirkning alle år ved alle N-niveauer. Vekselvirkning indikerer, at N-optagelseskurverne ikke er parallelle.

Den hurtige og store N-optagelse efter N-tilførslen ved stadium 4 bevirkede således, at N-optagelsesraten i perioden fra stadium 4-11.1 var større jo større del af N-gødningen, der blev tilført ved stadium 4.

Nitratkoncentrationen blev påvirket af N-strategien på samme måde som N-procenten. Nitratkoncentrationen (ppm NO_3^-) i udpresset plante-saft viste forholdsvis større udslag for forskellig N-strategi end det procentiske nitratindhold i

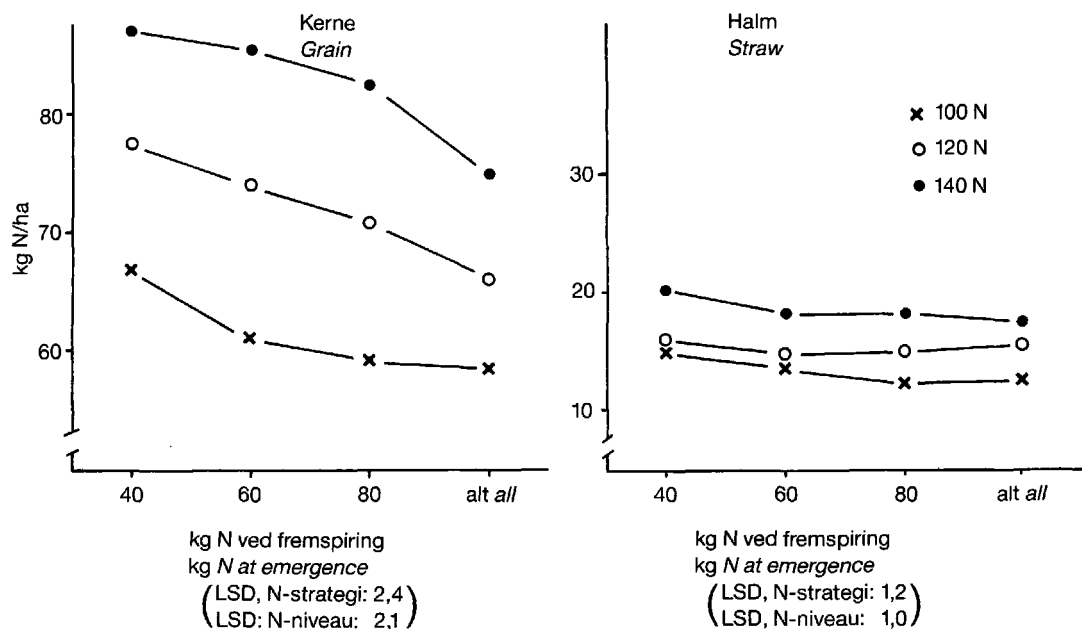


Fig. 2. Den gennemsnitlige N-mængde høstet i kerne og halm, 1982-1985.
The average amount of N harvested in grain and straw, 1982-1985.

Tabel 1. Koncentrationen af nitrat og kvælstof, kvælstof optaget i plantetop, aktuel (a) og potentiel (p) aktivitet af nitratreduktase (NRA) i bladene samt mængden af lettilgængeligt-N ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$) i 0–40 cm dybde ved 120 kg N/ha tilført i alt, 1982–1985.

Results during the growth period at 120 N/ha applied, 1982–1985. Concentration of nitrate and nitrogen, N-uptake in the crop, actual (a) and potential (p) activity of nitrate reductase (NRA) in the leaves and the amount of available nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$) in 0–40 cm depth.

Udvikl.stadium ¹⁾ (Feekes skala) Development ¹⁾ (Feekes scale)	N ved fremsp. N at emerg.	N ved stadium 4 N at stage 4	% N	% $\text{NO}_3\text{-N}$	N-optaget kg N/ha N-uptake	NO_3 (ppm i plantesaft) ^{2,3)} NO_3 (ppm in sap) ^{2,3)}		NRA ³⁾		lettilg.-N kg N/ha available-N
						plante- top shoot	nederste stængedel lowest stem part	a µg/g tørstof/time DM/hour	p	
Afslut. buskn. (4) Final tillering (4)	40	80	3,33	0,02	20,8	7	30	7,9	231,6	22,0
	60	60	3,88	0,04	28,3	25	189	33,4	297,4	25,8
	80	40	4,14	0,10	39,1	113	584			29,9
	120	0	4,61	0,31	51,1	645	1338	170,6	356,1	37,6
	LSD		0,39	0,15	12,0	329	738	93,9	56,1	8,4
5–7 dage efter 2. N (6)	40	80	3,82	0,23	48,5	745	1967	116,5	464,1	64,5
	60	60	3,72	0,20	53,7	662	1538	81,3	407,8	67,6
5–7 days after 2nd N (6)	80	40	3,63	0,17	63,9	270	1203			32,8
	120	0	3,50	0,16	75,5	(508)	583	29,3	210,9	20,5
	LSD		n.s.	n.s.	13,2	n.s.	616	55,2	108,9	33,8
Midt i skridning (10.2)	40	80	2,03	0,02	83,4	70	400	6,0	141,1	12,4
	60	60	1,78	0,01	84,1	7	138	1,9	98,6	9,5
Mid-ear emerg. (10.2)	80	40	1,59	0,01	80,6	0	14			9,8
	120	0	1,42	0,01	78,6	7	46	2,5	47,7	8,9
	LSD		0,41	n.s.	n.s.	60	303	n.s.	62,0	n.s.
Midt i kernefyld. (11.1)	40	80	1,05	<0,01	95,6	2	3			8,6
	60	60	0,97	<0,01	91,1	1	2			8,1
Mid-grain fill. (11.1)	80	40	0,89	<0,01	82,6	0	0			7,4
	120	0	0,89	<0,01	82,2	0	0			8,0
	LSD		0,09	n.s.	13,1	1,4	1,7			n.s.
Dagen før høst (11.4)	40	80	1,00	<0,01	107,0					13,1
	60	60	0,95	<0,01	102,0					14,2
The day before harvest (11.4)	80	40	0,95	<0,01	97,2					15,8
	120	0	0,94	<0,01	92,6					18,3
	LSD		n.s.	n.s.	n.s.					n.s.

¹⁾ Tidspunkter jf. (17), Date cf. (17).

²⁾ Bestemt ved nitrat test strips. Measured by nitrate test strips.

³⁾ 1983–1985.

Tabel 2. Vekselvirkning mellem tid (stadium 4–11.1) og N-strategi ved forskellige N-niveauer med N-optaget som afhængig variabel.

Interaction between time (stage 4–11.1) and N-strategy at different N-levels with N-uptake in shoot as dependent variable.

Total N-tilførsel Total N-application	1982	1983	1984	1985
100	**	***	***	*
120	*	***	***	**
140	***	***	***	*

* P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001

plantetørstof. Effekten af N-strategien var ligeledes større på nitratkoncentrationen i plantesaften i den nederste stængedel (ca. 3 cm) end i resten af planten, samtidig var koncentrationen betydelig højere nær jordoverfladen.

I den nederste stængedel er nitrat under transport op i planten til reduktion primært i bladene. I denne reduktion indgår enzymet nitratreduktase, og aktiviteten af dette enzym i bladene fulgte

hovedlinierne i nitratinholdet. Ved bestemmelse af den aktuelle aktivitet af nitratreduktase tilsættes nitrat ikke ved inkubationen, hvorved bladenes eget nitratinhold som regel vil være begrænsende for aktiviteten. Den potentielle aktivitet bestemmes med nitrat i inkubationsvæsken, hvorved nitrat ikke er begrænsende.

Den potentielle aktivitet var større end den aktuelle aktivitet selv ved de målinger, hvor nitratinholdet var højt. Nitratinholdet var således ved alle måletidspunkter begrænsende for aktiviteten. N-strategien påvirkede den aktuelle aktivitet forholdsvis mere end den potentielle.

Det procentiske nitratinhold viste generelt mindre forskelle end nitratreduktaseaktiviteten og nitratkoncentrationen i plantesaften målt med hurtigmetoden. Det procentiske nitratinhold blev forholdsvis tidligt reduceret til nær nul, mens der stadig var udslag i de øvrige målinger. Der kunne således midt i kernefyldningsperioden sta-

dig spores nitrat i plantesaften målt med hurtigmetoden, hvor der var tilført forholdsvis store N-mængder ved stadium 4.

Lettilgængeligt-N i jorden og N-udvaskning

Jordens indhold af lettilgængeligt-N ($\text{NO}_3\text{-N}$ og $\text{NH}_4\text{-N}$) var fra midten af vækstperioden og næsten til høst på et minimum (tabel 1). Koncentrationen af ammonium-N var oftest lidt højere end nitrat-N i denne periode, hvilket kan ses i fig. 3, hvor koncentrationen af ammonium-N og nitrat-N er vist for to væsentlig forskellige år. Mod slutningen af vækstperioden steg koncentrationen af mineralsk N som følge af mineralisering alle år. Der var i gennemsnit en stigning på 7 kg N/ha i dybden 0–40 cm. Planterne kunne således ikke optage hele den mineraliserede mængde. Under 40 cm dybde var rodmængden meget ringe. I dybden 30–40 cm var der i gennemsnit kun 2% af hele rodmængden (16).

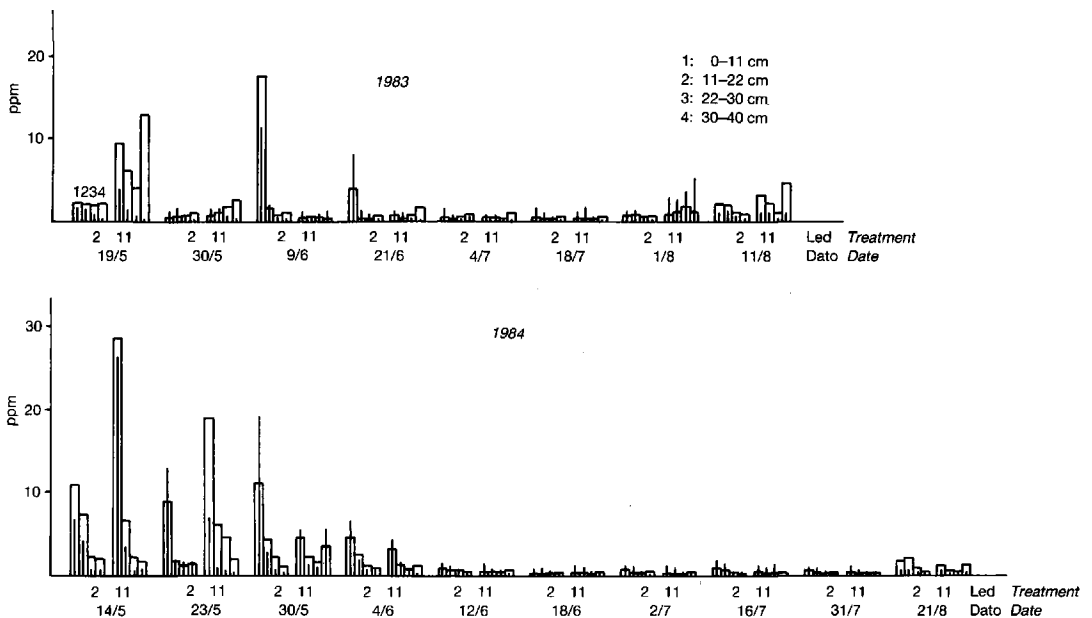


Fig. 3. Koncentration af $\text{NO}_3\text{-N}$ (\square) og $\text{NH}_4\text{-N}$ (\blacksquare) i led 2 (40+80 N) og led 11 (120+0N) i 0–40 cm dybde. Den 2. N-tilførsel i led 2 var mellem 2. og 3. prøveudtagning.

Concentration of $\text{NO}_3\text{-N}$ (\square) and $\text{NH}_4\text{-N}$ (\blacksquare) in treatment 2 (40+80 N) and treatment 11 (120+0N) in 0–40 cm depth. The 2nd N-application in treatment 2 was between the 2nd and 3rd sample.

Ved éngangsgødsning var nitratindholdet i forårsperioden forholdsvis højt (fig. 3). Perioden fra N-tilførsel ved fremspiring og indtil koncentrationen af nitrat-N var mindre end 5 ppm, udgjorde 1–1,5 måned. Koncentrationen faldt hurtigt i 1983 (både nitrat og ammonium) pga. udvaskning. Der var her en stor afstrømning fra rodzonen mellem 1. og 2. N-tilførsel (tabel 3). Udvasningen bevirkede også, at koncentrationen af nitrat var forholdsvis stor i de nederste dybder. Koncentrationen af begge stoffer ved delt-N var betydeligt lavere. Efter 2. N-tildeling var der mindre end 20 dage senere en koncentration af nitrat-N under 5 ppm. Perioden med en potentiel udvaskningsrisiko synes således mindre ved delt-N.

Tabel 3. Afstrømning fra rodzonen (mm) i delperioder samt i hele vækstperioden (fremspiring – høst).

Percolation out of the root zone (mm) in small periods and in the whole growth period (emergence – harvest).

	1.–2. N-tilf. 1st–2nd N-appl.	2. N-tilf. + 14 dage 2nd N-app. + 14 days	Resten af vækstp. The rest of growth p.	Vækstp. Growth period
1982	21	0	65	86
1983	161	11	0	172
1984	3	38	40	81
1985	26	1	113	140

N-udvasningen blev i 1984 og 1985 målt i visse forsøgsbehandlinger (tabel 4). I 1985 nærmede afstrømningen fra rodzonen i vækstperioden sig niveauet for 1983. I 1985 var nedbørsoverskuddet imidlertid i den sidste del af vækstperioden (tabel 3), hvor indholdet af nitrat-N og ammonium-N var ringe. Ammoniumudvasningen i vækstperioden kunne udgøre ca. 30% af det udvaskede kvælstof, hvor udvasningen var forholdsvis lille (ta-

bel 4). Koncentrationen af ammonium-N i jordvandet var størst midt i vækstperioden, hvor der flere gange fandtes indhold på omkring 4,5 ppm $\text{NH}_4\text{-N}$. Under ugødede forhold havde planterne kraftig N-mangel, og rodudviklingen var ringe (16). Modningen var derfor tidlig. Dette kan være medvirkende årsag til, at N-udvasningen under ugødede forhold var lig med eller kun lidt mindre end under gødede forhold i de målte år, hvor der var ringe nedbørsoverskud efter gødningsudbringning.

N-balance

N-balance (ΔN), beregnet på grundlag af N i plantetop, lettilgængeligt-N i jorden og N i gødning ($\Delta\text{N}_{\text{pl,t}} + \Delta\text{N}_{\text{j}} - \text{N}_{\text{g}}$), er vist i tabel 5. Tidspunkter med stort indhold af lettilgængeligt-N i jorden som lige efter gødningsudbringning er undgået, da der synes at være forholdsvis stor usikkerhed på målinger ved stort indhold.

I forsøgsårene (1982, 84, 85) med ringe N-udvasning var ΔN negativ i perioden fra fremspiring og frem til 2. N-gødsning ved afsluttende buskning (stadium 4). ΔN ved éngangstilførsel var signifikant mere negativ end de øvrige N-tilførsler. I perioden efter 2. N-tilførsel (afsluttende buskning – midt i skridningsperioden) var ΔN signifikant mere negativ ved delt-N end ved éngangstilførsel. Effekten af N-gødsningen ved stadium 4 kan ligeledes ses mellem N-niveauerne, idet ΔN blev mere negativ med stigende N-niveau.

I ΔN indgår N optaget i rod, N i nedbør og vandingvand, N udvasket, N denitrificeret og N nettomineraliseret/immobiliseret. I de omtalte år med meget lille N-udvasning skyldes de viste forskelle således primært N i rod, denitrificeret og nettomineraliseret/immobiliseret. Ved stadium 4

Tabel 4. N-udvasning i vækstperioden (kg N/ha).
N-leaching in the growth period (kg N/ha).

Led Treatment	N-tilf. N-appl. kg N/ha	1984			1985		
		$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	sum	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	sum
5	60+60	7,7	1,4	9,1	9,9	3,4	13,2
11	120	10,7	1,4	12,0	5,8	2,7	8,6
13	0	8,5	0,8	9,3	4,3	2,2	6,5

Tabel 5. N-balance (ΔN) (kg N/ha) ved henholdsvis forskellige N-strategier og forskellige N-niveauer i delperioder og i hele vækstperioden (fremspiring-høst).

N-balance (ΔN) (kg N/ha) at different N-strategies and different N-levels in small periods and in the whole growth period (emergence-harvest).

N ved fremsp. N at emerg.	1982, 1984, 1985					1983				
	fremsp. -st. 4	st. 4 -10.2	st. 10.2 -11.1	st. 11.1 -11.4	vækst- perioden	fremsp. -st. 4	st. 4 -10.2	st. 10.2 -11.1	st. 11.1 -11.4	vækst- perioden
40	-4,3	-28,3	8,2	16,4	-8,0	-30,7	-13,9	-1,9	9,3	-37,2
60	-11,1	-22,8	9,0	13,1	-11,8	-46,4	-14,8	3,8	11,5	-45,9
80	-11,9	-23,7	7,3	17,8	-10,5	-64,1	-1,5	2,7	10,9	-52,0
alt, all	-30,0	-2,2	-0,1	18,6	-13,7	-91,0	5,2	2,2	19,3	-64,3
LSD	15,8	9,2	n.s.	n.s.			11,5	n.s.	5,6	
N-niveau										
N-level										
100		-13,0	4,7	14,3			-5,3	2,9	11,4	
120		-20,5	4,9	20,0			-5,8	1,4	16,2	
140		-24,3	8,7	15,0			-7,6	0,7	10,7	
LSD		8,0	n.s.	n.s.			n.s.	n.s.	n.s.	
0 N	3,9	3,5	6,3	10,4	24,1					

$\Delta N = \Delta N_{pl, t} + \Delta N_j \div N_g$ (N optaget i plantetop + tilvæksten i lettillgængeligt N i jorden \div N tilført med gødning).

$\Delta N = N\text{-uptake by shoot} + \text{increment of available N in the soil} \div N\text{ applied.}$

st.: stadium - Feekes skala. Tidspunkter jf. tabel (17) Stage - Feekes scale. Dates cf. (17).

blev der i rodmængden i disse år i gennemsnit optaget 4 kg N/ha mere ved éngangstilførsel (120 N) end ved delt-N (40+80 N). Dette forklarer således kun en del af forskellene mellem N-strategierne. Da der ikke er tilført organisk gødning til de benyttede forsøgsmarker i mindst 10 år, og da jorden er grovsandet, formodes denitrifikationen at være meget lille under normale nedbørsforhold. Dette sandsynliggøres af målinger udført af Statens Planteavlslaboratorium i nærværende forsøg (M. Maag, pers. medd.). Resultaterne antyder således en mindre nettomineralisering/større immobilisering ved éngangstilførsel end ved delt-N i 1. delperiode (1.-2. N-tilførsel), mens det omvendte var tilfældet i 2. delperiode (efter 2. N-tilførsel). I 1983 bevirkede N-udvaskningen, at ΔN blev forholdsvis meget negativ i 1. delperiode, og for hele vækstperioden var ΔN betydelig mere negativ med en større del af N-gødningen tilført ved fremspiring.

I tabel 6 er vist resultatet fra forsøgsbehandlinger, hvor hele N-balancen er bestemt. ΔN_1 er et

udtryk for nettomineralisering, når der forudsættes ringe denitrifikation. Nettomineraliseringen havde under ugødede forhold et kontinuert forløb, hvilket også ses i fig. 4. Samtidig var nettomineraliseringen for hele vækstperioden større i ugødede end i gødede forsøgsbehandlinger. Under gødede forhold antydes, at forholdsvis store N-tilførsler efter hhv. 1. og 2. N-tilførsel resulterede i en forholdsvis større immobilisering og er således i overensstemmelse med resultaterne vist i tabel 5. Selv om N-strategien påvirkede mineralisering - immobilisering turnover kraftigt, var nettomineraliseringen summeret for hele vækstperioden upåvirket af N-strategien.

N-styring

Ved delt-N var der ved stadium 4 som vist ingen eller ringe indhold af nitrat, lav N-procent, næsten ingen aktuel nitratreduktaseaktivitet i planterne og som regel ringe indhold af tilgængeligt-N i jorden. Hvis N-tilførslen kan bestemmes ud fra disse parametre, skal de korrelere med N-behovet.

Tabel 6. Nettomineralisering (ΔN_1^*) (kg N/ha) i delperioder og i hele vækstperioden.
Net mineralisation (ΔN_1^) (kg N/ha) in small periods and in the whole growth period.*

N-tilf. (kg N/ha) N-appl. (kg N/ha)		Fremsp. -st. 4	st. 4	st. 10.2	st. 11.1	Vækst- periode
fremsp. emerg.	st. 4 st. 4	Emerg. -st. 4	st. 4 -10.2	st. 10.2 -11.1	st. 11.1 -11.4	Growth period
1984						
0	0	4,3	12,4	8,6	10,2	35,5
60	60	14,8	-10,1	-14,1	18,6	9,2
120	0	-15,9	11,0	-2,1	15,6	8,6
1985						
0	0	17,7	3,8	1,3	8,4	31,2
60	60	11,8	-21,6	6,6	18,8	15,6
120	0	1,4	6,0	-16,3	25,8	16,9

* $\Delta N_1 = \Delta N_{pl,t} + \Delta N_{pl,r} + \Delta N_j \div N_g \div N_{v+n} + N_{udv}$. (N optaget i plantetop og rod + tilvæksten i lettilgængeligt-N i jorden \div N tilført med gødning, vanding og nedbør + N udvasket)

* $\Delta N_1 = N$ uptake by shoot and root + increment of available-N in the soil \div N applied as fertilization, irrigation and precipitation + N leached.

st.: stadium - Feekes skala. Tidspunkter jf. (17). Stage - Feekes scale. Dates cf. (17).

I tabel 7 er korrelationskoefficienten vist, hvor den 2. N-tilførsel er afhængig variabel. N-tilførslen er N-mængden ved 60 hkg kernetørstof/ha. I 1983 blev dette udbytte ikke nået, hvorfor der er regnet med det maksimalt målte udbytte. Med én

måleparameter ved stadium 4 som uafhængig variabel var der ingen sammenhæng til N-gødningsbehovet, hvilket bl.a. må kunne tilskrives den hurtige ændring i N-parametrene på dette tidspunkt. Der kan delvis kompenseres for dette ved

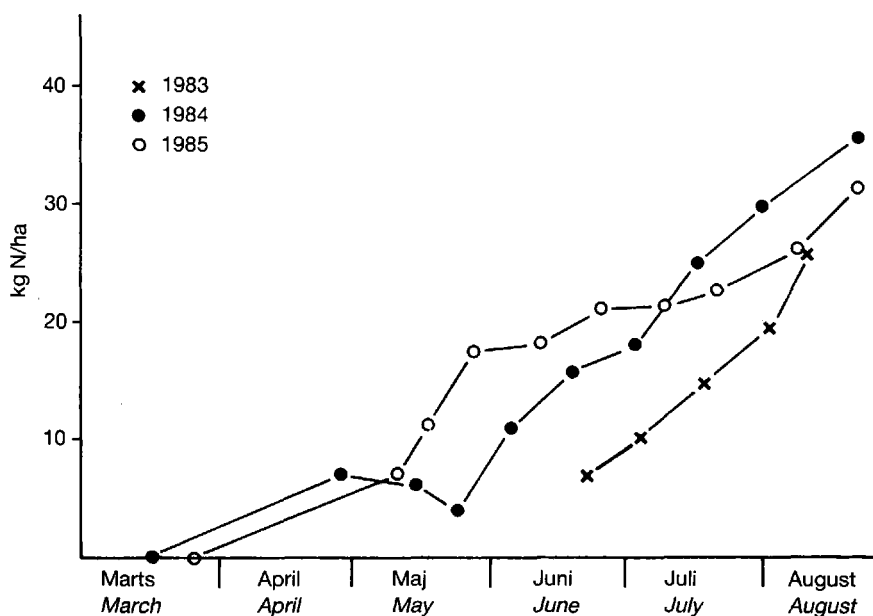


Fig. 4. Nettomineralisering i ugødede parceller.
Net mineralisation without N-application.

Tabel 7. Korrelationskoefficient (r^2 , multiple R^2) ved regressionsanalyse mellem gødningsbehov ved 2. deling og forskellige N-parametre ved stadium 4 – alle år og uden 1983.

The correlation coefficient (r^2 , multiple R^2) at analysis of regression between fertilizer requirement at the 2nd application and different N-parameters at stage 4 – all years and without 1983.

	Alle år All years	-1983
% $\text{NO}_3\text{-N}$ (plantetop) (shoot)	0,03	0,03
ppm NO_3 (nederste stængedel) (lowest stem part)	0,13	0,16
% N (plantetop) (shoot)	0,09	0,10
N_j (kg $\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$ i 0–40 cm dybde) (kg $\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$ in 0–40 cm depth)	0,06	0,14
% N \times g (tørstof/ m^2) (dry matter/ m^2)	0,35	0,68*
% N \times $\text{N}_j \times$ g	0,66*	0,80*

* $P < 0,05$

at tage højde for den producerede tørstofmængde.

Ved at medtage tørstofmængden som uafhængig variabel steg korrelationskoefficienten, og der var svag signifikans, når det ekstreme år 1983 ikke var med i beregningerne. Den multiple korrelationskoefficient var forholdsvis høj (0,80), når N-procenten, tørstofmængden og tilgængeligt-N var uafhængige variable.

Tabel 8. Korrelationskoefficient (r^2 , multiple R^2) ved regressionsanalyse mellem kerneudbytte ved éngangsgødsning (led 10–12) og N-parametre ved stadium 4.
The correlation coefficient (r^2 , multiple R^2) at analysis of regression between grain yield at one single fertilization (treatment 10–12) and N-parameters at stage 4.

% $\text{NO}_3\text{-N}$ (plantetop) (shoot)	0,78***
% N (plantetop) (shoot)	0,77***
N_j (kg $\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$ i 0–40 cm dybde) (kg $\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$ in 0–40 cm depth)	0,35*
% N \times g (tørstof/ m^2) (dry matter/ m^2)	0,96***

* $P < 0,05$, *** $P < 0,001$

Ved éngangsgødsning var der imidlertid en høj korrelation mellem kerneudbytte og N-procent samt toptørstofmængde ved stadium 4 (tabel 8). 96% af variationen i kerneudbyttet kunne forklares ved N-procenten og toptørstofmængden.

Diskussion

N-optagelsen steg hurtigt efter 2. N-tilførsel, hvilket resulterede i, at både N-procenten og N-optagelsesraten modsat vækstraten (17) steg med stigende N-tilførsel ved stadium 4. At planterne hurtigt optager kvælstof, efter en periode med N-mangel, er fundet af Lee og Rudge (6). De fandt, at byg i vandkultur, udsat for N-mangel, havde en hurtigere og større optagelse af både nitrat og ammonium ved N-tilførsel end bygplanter, der var velforsynet med kvælstof. Den større N-procent var især i kernerne stadig gældende ved høst og var bl.a. medvirkende til, at den høstede N-mængde steg med stigende N-tilførsel ved stadium 4. At delt-N medfører en større N-procent i kernerne bekræftes af andre undersøgelser (4,7,13).

Udvaskningsrisikoen synes generelt at være størst ved éngangsgødsning, da der her fandtes de største mængder nitrat og ammonium i jorden i forårsperioden. Ved delt-N steg indholdet af nitrat og ammonium efter den 2. N-tilførsel, men denne stigning blev hurtig reduceret, hvilket bl.a. var forårsaget af den hurtige N-optagelse i planterne.

Den gennemsnitlige nedbørsmængde de sidste 20 år (1966–1985) ved Jyndevad var i april 52 mm, maj 57 mm og juni 66 mm. Disse gennemsnitstal dækker imidlertid over store variationer. Tidspunktet for overskudsnedbør har naturligvis stor betydning for størrelsen af N-udvaskning. I 8 ud af de 20 år var nedbørsmængden i april og maj måned større end 120 mm, hvilket ifølge forsøget medfører en vis udvaskning (16).

N-gødsning bevirker normalt en øget optagelse fra jordens organiske N-pulje målt for hele vækstperioden. Dette betegnes priming effekt eller ANI (added N interaction) (5). Hvor stor en del af planternes N-optagelse i gødede led, der stammer fra henholdsvis jordens organiske pulje

og fra gødningskvælstof, kan ikke udregnes i dette forsøg. Derimod er nettomineraliseringen for hele vækstperioden bestemt som difference ved N-balance. Nettomineraliseringen var betydelig mindre i gødede led end i ugødede. Gødskning (120 N) bevirkede således, at der *netto* blev frigivet en mindre mængde N fra jordens organiske del. Samtidig blev der efterladt en større mængde N i rødderne. I gennemsnit af 1984 og 1985 var der ved høst på denne måde 33 kg N/ha mere organisk bundet N i gødede (120 N) end i ugødede led. De gødede led har således sammenlagt tæret mindre på jordens organiske N-mængde end ugødede, selv om planterne i gødede led sandsynligvis, som i andre undersøgelser (5), har optaget en større mængde N fra ikke gødningskvælstof.

Immobiliseringen syntes ved éngangstilførsel at være større end mineraliseringen i forårsperioden fra N-udbringning ved fremspiring og til stadium 4, i gennemsnit 33 dage. Ved delt-N var det derimod omvendt. Efter den 2. N-tilførsel syntes immobiliseringen forholdsvis størst ved delt-N, hvilket blev målt fra den 2. N-tilførsel til stadium 10.2, i gennemsnit 25 dage. I disse perioder kunne der mangle op til 20 kg N/ha i N-balancen, hvilket antyder immobilisering.

Denne tilsyneladende immobilisering efter gødskning bekræftes af andre undersøgelser, hvor en kortere periode efter N-udbringning er undersøgt. *Nielsen og Jensen* (10) kunne således ikke genfinde 80 kg N/ha ud af en gødningsmængde på 120 kg N/ha 12 dage efter gødskning. Tilsvarende kunne *Neeteson et al.* (8) ikke genfinde op til 85% af gødningskvælstof (ammoniumnitrat) ca. 10 dage efter gødskning. Dette var uafhængigt af jordtypen, og efter 5 uger genfundtes hele N-gødningsmængden. *Andersen et al.* (1) fandt ved inkubationsforsøg ligeledes større immobilisering end mineralisering i jord fra Jyndevad udtaget lige efter gødskning i 1980. Inkubationsforsøg viser, at N-gødningen har en positiv effekt på immobilisering umiddelbart efter gødskning, og at immobiliseringen forøges ganske væsentligt, hvis der tilsættes lettilgængeligt kulstof (11). N-tilførsel øger dannelsen af rødder og ud-

skillelse af rodeksudater, som bl.a. er energikilde for immobilisering (5).

Selv om N-strategien påvirkede forløbet af nettomineraliseringen gennem vækstperioden betydeligt, var den summerede nettomineralisering for hele vækstperioden upåvirket af N-strategien.

Den tilsyneladende forøgede immobilisering (manglen i N-balancen) efter gødskning med store N-mængder bevirker, at udvaskningsrisikoen mindskes, idet nitratmængden reduceres forholdsvis hurtigt.

Den højeste korrelation mellem N-gødningsbehov og de målte N-parametre ved stadium 4 fandtes, når N-procenten, toptørstofmængden og lettilgængeligt-N var afhængige variable ($R^2=0,80$, tabel 7). I et kontrolleret forsøg synes dette at være for svag en sammenhæng. Når der ikke er stærkere sammenhæng, kan det skyldes klimaets indvirkning på planternes næringsstofkoncentrationer (16), men også at jordens mineraliseringssevne ikke afspejles tilstrækkeligt i måleparametrene.

Fra først i juli var planternes N-optagelse således helt afhængig af mineraliseringen, idet jorden fra dette tidspunkt var tømt for lettilgængeligt-N. Der blev i gennemsnit optaget 6,4 kg N/ha i plantetoppen i perioden fra midt i skridning til midt i kernefyldningsperioden og 9,6 kg N/ha fra midt i kernefyldning og til høst. Tørstofproduktionen var i samme delperioder hhv. 42,8 hkg/ha og 6,9 hkg/ha (17). Der blev således optaget forholdsvis meget kvælstof i den sidste del af kernefyldningsfasen. Denne periode var samtidig meget vigtig mht. kerneproduktion (17).

Ved delt-N vil den 2. N-tilførsel kun indirekte påvirke plantevæksten i den sidste del af kernefyldningsperioden, dvs. der vil ikke helt kunne kompenseres for en evt. lav mineralisering. Ved éngangsgødskning var der en god korrelation mellem kerneudbyttet og N-procenten samt tørstofmængden, hvilket antyder, at jordens mineraliseringssevne til en vis grad blev afspejlet i plante-parametrene ved stadium 4.

Konklusion

Den høstede N-mængde i kerne og halm steg ved en stigende del af N-gødningen tilført ved stadium 4.

Risikoen for udvaskning af kvælstof er størst ved éngangstilførsel – forårsaget af en længere periode med betydelige mængder nitrat i jorden samt et forholdsvis ofte forekommende nedbørs-overskud i forårsmånederne.

Efter store N-tilførsler var der en mangel på maksimalt 20 kg N/ha i N-balancen, hvilket antydede en immobilisering. Dette forhold kan ned-sætte risikoen for N-udvaskning.

Jorden var tømt for lettilgængeligt-N fra først i juli, og planternes N-optagelse var fra dette tidspunkt (i gns. ca. 15 kg N/ha) udelukkende afhængig af mineralisering.

Måling af nitratkoncentrationen ved hurtigmetoden og af nitratreduktaseaktiviteten gav generelt større udslag især ved lavt N-indhold end det procentiske nitratindhold og kan derfor muligvis være bedre måleparametre for planternes aktuelle N-omsætning.

Resultaterne kunne ikke underbygge en styring af den 2. N-tildeling ved stadium 4 ud fra koncentrationen af nitrat og totalkvælstof og/eller jordens indhold af lettilgængeligt-N.

Litteratur

1. Andersen, C., Eiland, F. & Vinther, F. 1983. Økologiske undersøgelser af jordbundens mikroflora og fauna i dyrkningssystemer med reduceret jordbehandling, vårbyg og efterafgrøde. Tidsskr. Planteavl 87, 257–296.
2. Bennetzen, F. 1978. Vandbalance og kvælstofbalance ved optimal planteproduktion. 2. Teknik og metoder. Tidsskr. Planteavl 82, 173–189.
3. Donohue, S. J. & Brunn, D. E. 1984. Optimum N concentration in winter wheat grown in the coastal plain region of Virginia. Commun. in Soil Sci. Plant Anal. 15, 651–661.

4. George, B. J. & Skinner, R. J. 1984. Determining the nitrogen requirements for winter wheat using an experiment of Simplex design. I: Reference Book, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, UK, »The Nitrogen Requirement of Cereals«, 183–190.
5. Jenkinson, D. S., Fox, R. H. & Rayner, J. H. 1985. Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen – the so-called »priming« effect. J. Soil Sci. 36, 425–444.
6. Lee, R. B. & Rudge, K. A. 1986. Effects of nitrogen deficiency on the absorption of nitrate and ammonium by barley plants. Ann. Bot. 57, 471–486.
7. Matzel, W., Lippold, H. & Heber, R. 1979. Nitrogen uptake and balance of the fertilizers urea, urea with urease inhibitor, and ammonium nitrate applied to spring wheat at stem elongation growth stage. IAEA-SM-235/9, 67–82.
8. Neeteson, J. J., Greenwood, D. J. & Habets, E. J. M. H. 1986. Dependence of soil mineral N on N-fertilizer application. Plant and Soil 91, 417–420.
9. Nielsen, J. M. & Friis-Nielsen, B. 1976. Evaluation and control of the nutritional status of cereals. III. Methods of diagnosis and yield prognosis. Plant and Soil 45, 647–658.
10. Nielsen, N. E. & Jensen, H. E. 1986. The course of nitrogen uptake by spring barley from soil and fertilizer nitrogen. Plant and Soil 91, 391–395.
11. Okereke, G. U. & Meints, V. W. 1985. Immediate immobilization of labeled ammonium sulfate and urea nitrogen in soils. Soil Sci. 140, 105–109.
12. Simán, G. 1974. Nitrogen status in growing cereals. The Royal Agricultural College of Sweden, 93 pp.
13. Simán, G. & Linnér, H. 1980. Styring av stråsådesgrödans kärnavkastning och proteinhalt genom kvävegödsling efter växtanalys och genom bevattning. Inst. för Markvetenskap, Uppsala, Rapport 126.
14. Skriver, K. 1984. Kvælstofholdige gødninger. Oversigt over Landsforsøgene 1983, 142–159.
15. Sjøgaard, K. 1984. Vand og kvælstof til almindelig rajgræs. Tidsskr. Planteavl 88, 140–146, Beretning nr. S 1704.
16. Sjøgaard, K. 1986. Deling af kvælstofgødning til vandet byg. Tidsskr. Planteavl 90, 300, Beretning nr. S 1859.
17. Sjøgaard, K. 1987. Tørstofproduktion ved deling af kvælstofgødning til vandet byg. Tidsskr. Planteavl 91, 121–131.

Manuskript modtaget den 27. januar 1987.