

Lysimeterforsøg med kombinationer af kvælstof, fosfor og kalium i handelsgødning

I. Udbytte og næringsstoffoptagelse

Lysimeter experiments with combinations of nitrogen, phosphorous and potassium in mineral fertilizer
I. Yield and uptake of nutrients

P. SØNDERGÅRD KLAUSEN† og JØRGEN F. HANSEN

Resumé

Virkningen på udbytte og næringsstoffoptagelse af forskellige kombinationer af N, P og K blev undersøgt i et sædskifte med vinterhvede-bederøer-vårbyg m. udlæg-græs.

De største udbytter blev opnået ved en afbalanceret tilførsel af N, P og K. Der fandtes en betydelig vekselvirkning mellem effekten af N- og K-gødskning, men ikke mellem P og de to andre næringsstoffer. Fordobledes N- eller K-mængden, steg udbyttet med ca. 15 pct., men ved en fordobling af begge næringsstoffer steg udbyttet med 35 pct. K-mangel konstateredes efter 2-3 år uden K-tilførsel. Effekten var størst ved det højeste N-niveau.

Ved K-tilførsel efter 8 år uden K-gødskning op-

nåedes normale udbytter.

Der blev kun observeret et beskedent udslag for P-gødskning.

Effekten af at undlade K- og P-gødskning forstærkedes med tiden.

Såvel mængden af plantenæringsstof, der fjernes med afgrøden, som afgrødens kemiske sammensætning påvirkedes væsentligt af gødskningen.

K-optagelsen steg ved såvel N- som K-tilførsel. P-, Ca- og Mg-optagelsen steg ved stigende N- og K-tilførsel. Derimod faldt koncentrationen af K, P og Na ved stigende N-tilførsel, mens koncentrationen af N, P, Na og Ca faldt ved stigende K-tilførsel. Disse forhold tilskrives »fortyndings-effekten« ved et større tørstofudbytte.

Nøgleord: Kvælstof, fosfor, kalium, udbytte, næringsstoffoptagelse, vekselvirkning, eftervirkning.

Summary

Dry matter yield, uptake and concentration of plant nutrients were studied in a lysimeter experiment over the period 1974-84. Different combinations of N, P and K in mineral fertilizer were

applied to a crop rotation of winter wheat-beets-spring barley-grass.

The highest yields were obtained after a balanced application of N, P and K. Strong interac-

tions were observed between the effect of N and K. The interactions increased during the experimental period, and in year 7–8 only a moderate influence on yield of K application was found in the absence of N application. Omission of N reduced the dry matter yield by more than 50 per cent compared to a moderate and balanced N and K application.

A doubling of the application of N or K increased dry matter yields by 15 per cent compared to moderate applications, while a simultaneous doubling of both nutrients increased the yield by 35 per cent.

No interactions were found between P and N or between P and K.

N was the major yield limiting nutrient. Throughout the experiment N showed a strong yield increasing effect.

During the initial 2–3 experimental years, the native soil K level was almost sufficient to meet

crop needs. In the following years, an increasing yield response to K application was found.

After 8 years of no application and of high application of K to different plots, and after interchange of the plot treatments approximately equal yield levels were obtained in year 9 and 10. This indicates that the K level in soil can easily be raised by adding K.

Application of P showed only a slight influence on yield. A tendency to increasing influence was observed during the experimental period.

The uptake of nutrients was influenced by the amounts applied. The application of a limiting nutrient increased the uptake of nutrients, including those not applied experimentally.

The concentrations of K, P and Na were found to decrease when N was added due to the diluting effect of a higher yield. Further, K-application reduced the concentration of N, P, Na and Ca in the crops.

Key words: Nitrogen, phosphorus, potassium, dry matter yield, uptake of nutrients, interactions of nutrients, residual effect.

Indledning

I perioden 1974–84 gennemførtes lysimeterundersøgelser til belysning af, hvorledes varierende gødsning med N, P og K påvirker udbytte, næringsstofoptagelse og -nedvaskning.

Ved lysimeterundersøgelser kan forsøgsbetingelserne afvige fra markforhold, men anvendelsen af lysimetre gør det muligt at opsamle hele den gennemsvivende vandmængde fra et areal med en given behandling. Desuden kan det antages, at forholdet mellem de forskellige forsøgsbehandlinger også vil gælde under markbetingelser.

Nærværende beretning omhandler forsøgsbetingelserne og giver resultater for afgrødernes tørstofudbytte og næringsstofoptagelse. Næringsstofnedvaskning og -balance vil blive omtalt i efterfølgende beretninger.

Materiale og metode

Lysimeteranlæg

Anlægget består af 124 lysimetre fordelt på 2 dobbeltrækker. Mellem rækkerne er placeret en un-

derjordisk gang til opsamling af gennemsvivningsvand (fig. 1).

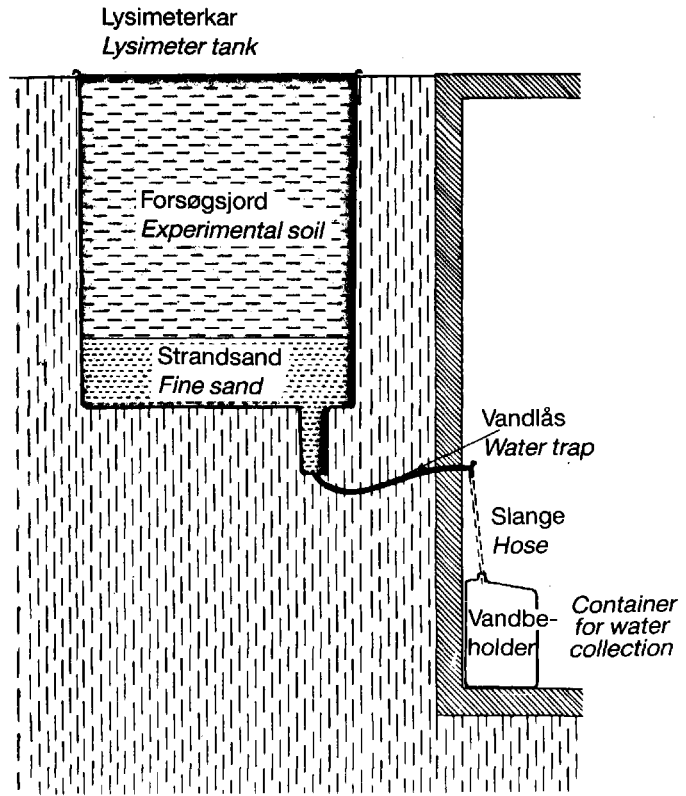
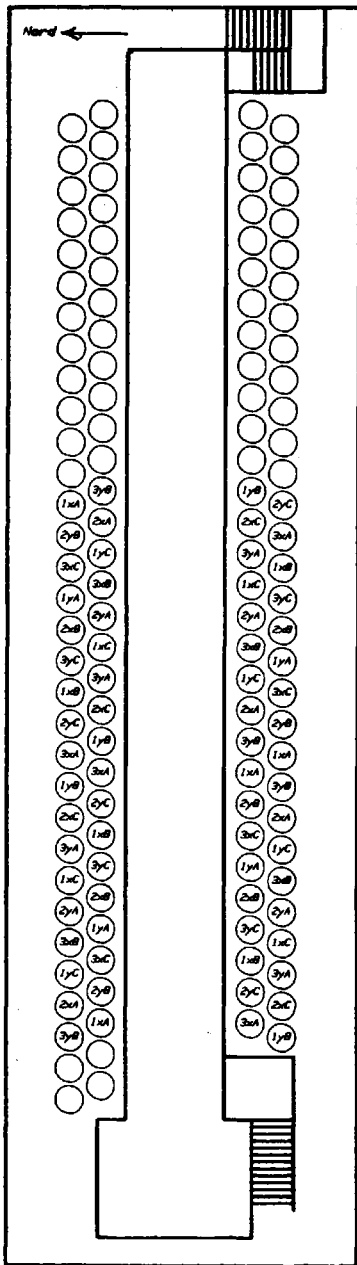
De cirkulære lysimetre er 125 cm dybe og har et overfladeareal på 0,83 m². Lysimetrene er fremstillet af glasfiberarmeret polyester, der hverken afgiver eller optager næringsstoffer.

Til afdræning er de nederste 25 cm og en 25 cm lang studs i lysimetrets bund fyldt med strand-sand.

Den øverste m jord er fra Askov lermark (JB 5). Volumenvægt samt tekstur- og jordbundsanalyser ved forsøgets anlæg fremgår af tabel 1.

Overjorden hidrører fra pløjelaget, mellemjorden fra overgangen mellem pløjelag og underjord, 20–40 cm dybde, medens underjorden er opgravet fra ca. 40–100 cm dybde i marken. Hvert jordlag blev lufttørret, sigtet (2 cm maskevidde) og blandet før anbringelse i lysimetrene. Ved nedlægningen i april 1973 blev jorden stampet. I sommeren 1973 dyrkedes byg i alle lysimetre, hvorefter forsøget blev anlagt med såning af hvede i eftersommeren 1973.

For at undgå fugleskade er lysimetrene forsynet med voliere om sommeren. Til anlægget hører endvidere et halvautomatisk vandingsanlæg og lagerrum for gennemsvivningsvand.



År Year	Lysimeterrække fra nord Lysimeter row from north			
	1	2	3	4
1974 og 78 and	Græs Grass	Byg Barley	Bederoer Beets	Hvede Wheat
1975 og 79 and	Hvede Wheat	Græs Grass	Byg Barley	Bederoer Beets
1976 og 80 and	Bederoer Beets	Hvede Wheat	Græs Grass	Byg Barley
1977 og 81 and	Byg Barley	Bederoer Beets	Hvede Wheat	Græs Grass

Fig. 1. Snit af lysimeteranlæg samt forsøgsleddenes placering de første 8 forsøgsår 1974–81.

Cross section of the lysimeter system and plot design during the first 8 years of the experiment 1974–81.

Tabel 1. Jordens volumenvægt samt tekstur- og jordbundsanalyser ved forsøgets start.
Soil volume weight and soil texture and analyses by start of the experiment.

	Dybde Depth cm	Jord Soil g/cm ³	Pct.				Rt pH	Ft ¹⁾	Kt ²⁾	Mgt ³⁾
			Ler Clay	Silt Silt	Fin- sand Fine sand	Grov- sand Coarse sand				
Overjord Topsoil	0-20	1,50	9,3	11,2	37,3	42,2	6,8	9,0	15,7	6,1
Mellemjord Intermediate layer	20-40	1,55	6,9	6,6	29,8	56,7	6,3	4,9	4,0	3,5
Underjord Subsoil	40-100	1,23	9,1	6,9	31,4	52,6	6,0	2,5	4,5	2,5

1) 1 Ft = 3 mg P/100 g soil

2) 1 Kt = 1 mg K/100 g soil

3) 1 Mgt = 1 mg Mg/100 g soil

Forsøgsplan

Der blev i de første 10 forsøgsår, 1974-83, benyttet et 4-marks sædskifte med afgrøderne: vinterhvede-bederøer-vårbyg m. udlæg-græs. Alle afgrøder blev dyrket hvert år (fig. 1). Forsøget gennemførtes uden gentagelser. Næringsstofmængder og -kombinationer de første 8 forsøgsår fremgår af tabel 2.

Næringsstofferne blev tilført i kalkkammonsalt-peter, superfosfat og kaliumgødning.

P og K blev udbragt ad en gang. Udbringning til korn og roer skete umiddelbart før såning, og til græs om foråret.

N til korn er udbragt ad en gang om foråret, til roer ad 2 gange med halvdelen henholdsvis ved såning og efter udtynding, og til græs ad 3 gange

Tabel 2. Næringsstofniveauer de første 8 forsøgsår 1974-81, samt næringsstofmængder.
Application of nutrients during 1st-8th experimental year 1974-81.

Næringsstof Nutrient	Næringsstofniveau Level of nutrient application	g næringsstof/m ² 1) g nutrient/m ² 1)			
		Vi. hvede Wi. wheat	Roer Beets	Vårbyg m. udlæg Sp. barley with undersown grass	Græs Grass
N	1. 0N				
	2. 1N	10,0	22,5	10,0 ²⁾	22,5
	3. 2N	20,0	45,0	20,0 ²⁾	45,0
P	x. 0P				
	y. 1P	4,0	8,0	4,0	4,0
K	A. 0K				
	B. 1K	10,0	22,5	7,3	22,5
	C. 2K	20,0	45,0	14,6	45,0

1) g/m² × 10 = kg/ha

2) Heraf de 25% til græsudlæg efter byghøst.

Including 25% applied to grass after harvest of barley.

med 50 pct. forår og 25 pct. efter henholdsvis 1. og 2. slæt.

Der blev høstet 4 slæt i græs. Det sidste slæt blev taget sidst i august, hvorefter der blev sået hvede.

For at sikre en regelmæssig plantebestand blev korn og roer sået efter skabelon med 480 kerner og 18 roefrø pr. m². Til etablering af græs blev der samtidig med byg udsået en blanding af 3,5 g engsvingel og 2,5 g alm. rajgræs pr. m².

I 9. og 10. forsøgsår, 1982–83, ændredes gødskningen. Alle lysimetre blev tilført 1 N i kalkammonsalpeter. K-tilførslen ved leddet med 1 K forblev uændret. Led uden tilførsel af K i 1.–8. forsøgsår tilførtes 2 K, mens led som i 1.–8. forsøgsår var tilført 2 K ikke længere blev gødet med K. P-tildelingen forblev uændret.

I 11. forsøgsår, 1984, blev der dyrket byg i alle lysimetre. Der blev gødet med 10 g N pr. m², medens P og K-tilførslen var som i de foregående 2 år (9.–10. forsøgsår).

Vanding indgik ikke som forsøgsbehandling, men der blev vandet efter behov.

Analysér

Afgrødeanalyser: Ved høst af byg, hvede og roer samt ved slæt af græs: Tørstof, total-N, P, K, Na, Ca og Mg. Der blev foretaget analyser af kerne og halm af korn, rod og top af roer og på de enkelte slæt i græs.

Jordanalyser: Rt, Ft, Kt og Mgt.

Ved opgørelse af udbytterne i FE er regnet med følgende tørstofmængder pr. FE:

Dry matter per »feed unit« (FU):

(*feed units = the relative feeding value of different crops*).

Vi. hvede 0,83 kg kerne, 4,16 kg halm

Winter wheat grain straw

Vårbyg: 0,87 kg – , 3,33 kg –

Spring barley

Bederøer: 1,03 kg rod, 1,20 kg sandfri top

Beets root top, sand free

Græs: 1,23 kg

Grass

Resultater

Udbytter 1.–8. forsøgsår

I tabel 3 er vist det gennemsnitlige kerneudbytte i hvede og byg og tørstofudbyttet i roer og græs for 1 N + 1 K samt forholdstal for N og K kombinationerne.

Tabel 3. Gennemsnitsudbytter i 1–8. forsøgsår. Yield, average of 1st–8th experimental year.

N-tilførsel N appli- cation g/m ²	Udbytte ved 1 N+1 K Yield g/m ²	K-niveau Level of K application		
		0 K	1 K	2 K
Forholdstal Relative yield				
Hvede, kerne med 85 pct. ts. Wheat, grain with 85 p.c. dry matter				
0		54	53	50
10	568	93	100	102
20		104	125	130
Byg, kerne med 85 pct. ts. Barley, grain with 85 p.c. dry matter				
0		48	48	46
7,5	564	83	100	101
15,0		105	125	128
Bederøer, rodtørstof Beets, root dry matter				
0		54	63	64
22,5	1876	71	100	112
45,0		68	98	115
Bederøer, sandfri topts. Beets, top dry matter, sand free				
0		40	44	42
22,5	560	87	100	102
45,0		109	135	145
Græs, tørstof Grass, dry matter				
0		33	33	34
22,5	912	97	100	105
45,0		121	136	137

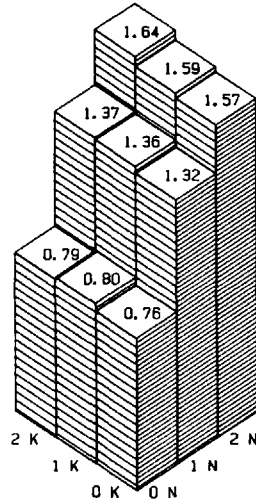
Uden tilførsel af N var udbyttet så lavt, at jordens naturlige K-indhold har kunnet dække afgrødernes behov, idet der kun fandtes små udslag for K-tilførsel.

Ved 1 N har tilførsel af 1 K øget udbyttet, medens K-tilførsel derudover næsten ingen stigning gav i udbyttet. Ved anvendelse af 2 N var der behov for K-tilførsel udover 1 K, men dog næppe til 2 K. Dersom K-gødskning undlades gennem en årrække, udnytter planterne det tilførte N dårligere, end såfremt der årligt tilføres K.

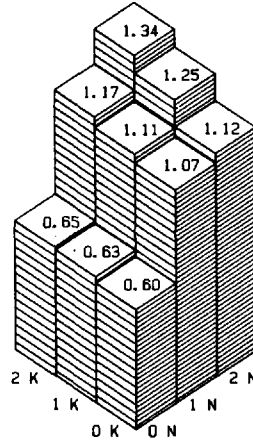
I gennemsnit af 4 afgrøder og 8 år var udbyttet for 1 N + 1 K 1,13 FE pr. m². Forholdstal for de forskellige N- og K-kombinationer er vist i tabel 4.

I fig. 2 er vist, hvorledes de forskellige kombinationer af N og K har påvirket udbyttet gennem forsøgsperioden.

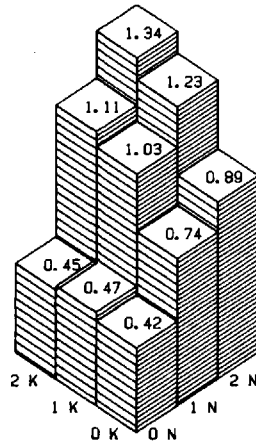
Der har alle år været betydelige udslag for N-tilførsel. De første 2 forsøgsår har jordens K-reserve kunnet dække afgrødernes behov. Ved 2 N var der i 3.-4. forsøgsår en udbyttenedgang på 10 pct., når der ikke blev tilført K. Ved tilførsel af dobbelt K-mængde opnåedes en udbyttetigning på 7 pct., set i forhold til 1 K.



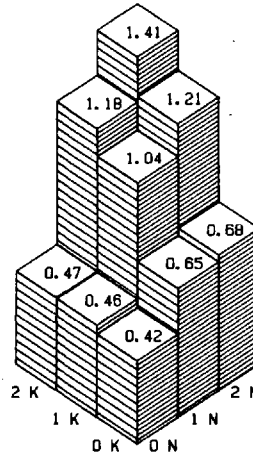
1.-2. forsøgsår
experimental year



3.-4. forsøgsår
experimental year



5.-6. forsøgsår
experimental year



7.-8. forsøgsår
experimental year

Fig. 2. Udbytte i FE pr. m². Gns. af 4 afgrøder og 2-års perioder.
Yield in feed units per m². Average of 4 crops and 2 year periods.

Tabel 4. Gennemsnitsudbytte af fire afgrøder i 1.-8. forsøgsår, forholdstal.
Relative average yield of four crops during 1st-8th experimental year.

N-tilførsel Level of N application	K-niveau Level of K-application		
	0 K	1 K	2 K
0 N	49	52	52
1 N	83	100	106
2 N	94	117	127

Ved at undlade K-tilførsel faldt udbyttet i 5.-6. år med 28 pct. og i 7.-8. år med 38 pct. ved 1 N. Ved at øge K-tilførslen fra 1 K til 2 K steg udbyttet de samme år henholdsvis 8 pct. og 13 pct. ved 1 N.

Når der de foregående 6 år ikke var tilført K, blev der i 7.-8. forsøgsår kun opnået en meget lille udbyttetigning ved at øge N-mængden fra 1 N til 2 N.

Udbytter: eftervirkning 9.-11. forsøgsår

I 9. og 10. forsøgsår, 1982 og 83, blev eftervirkningen af N- og K-gødsning målt (tabel 5).

Tabel 5. Eftervirkning af N- og K-gødsning. Gns. af fire afgrøder og 9. og 10. forsøgsår.
Residual effect of N and K application. Average of four crops and 9th and 10th experimental year.

		K-gødsning Level of K application		
		0	1	2
1.- 8. forsøgsår expt. year		0	1	2
9.-10. -		2	1	0

Forsøgsår Experimental year			Forholdstal Relative yield		
FE/m ²					
ved 1 N + 1 K					
N-gødsning Application of N			Feed units/m ² at 1 N + 1 K		
1.-8.	9.-10.				
0 N	1 N	0,89	106	111	108
1 N	1 N		99	100	104
2 N	1 N		106	97	97

Ved tilførsel af 1 N fandtes der ikke nogen gødningsmæssig effekt af tidligere års N-tilførsel.

I led, hvor der som følge af K-mangel i 3.-8. forsøgsår var væsentlig udbyttenedgang, gav K-gødsning i 9. og 10. forsøgsår et normalt udbytte. Modsat kunne udbyttet i 9.-10. forsøgsår opretholdes uden K-tilførsel, hvor der i de foregående 8 år var tilført store K-mængder, undtagen ved led med tilførsel af 2 N i 1.-8. forsøgsår. Dette kan skyldes, at den største N-tilførsel medførte et større K-forbrug 1.-8. år og dermed mindre eftervirkning af K i 9.-10. forsøgsår end ved led tilført 0 og 1 N i 1.-8. forsøgsår.

I det 11. forsøgsår, 1984, blev forfrugtsværdien af de forskellige afgrøder undersøgt, idet der blev sået byg i alle led (tabel 6).

Tabel 6. Afgrødernes værdi som forfrugt for vårbyg. Udbytte i FE pr. m² i 11. forsøgsår.

Influence of the previous crop on yield of spring barley. Feed units per m² in 11th experimental year.

Forfrugt Previous crop	Græs Grass	Hvede Wheat	Roer Beets	Byg Barley
	0,84	0,86	0,94	0,86

Når græs ikke har givet bedre forfrugtsvirkning end korn kan dette skyldes, at der efter græsset var angreb af stankelbenlarver. Selv om angrebet blev bekæmpet, led afgrøden skade.

Ved 3 års tilførsel af store K-mængder til K-udpint jord, opnåedes større udbytte end på jord, hvor der i de sidste 3 år ikke var tilført K, men hvor der var tilført overskud af K i de forudgående 8 år (tabel 7).

Tabel 7. K-gødsningens indflydelse på udbyttet. FE pr. m² i vårbyg i 11. forsøgsår.
The influence of application of K on yield. Feed units per m² in spring barley, 11th experimental year.

K-niveau K-level	1.- 8. år 9.-11. år	0	1	2
	year			
		0,89	0,87	0,86

Der har i alle afgrøder og forsøgsår været et beskedent merudbytte for P-tilførsel (tabel 8).

Tabel 8. P-virkning. Gennemsnitsudbytte i FE pr. m².
Average yield in relation to application of P, feed units per m².

	P-niveau	
	Level of P application	
	0 P	1 P
	Gns. af 1.-10. år	
	Average of 1st-10th year	
Hvede	0,67	0,71
Wheat		
Byg + udlæg	0,65	0,69
Barley + undersown		
grass		
Bederøer	1,84	1,86
Beets		
Græs	0,63	0,67
Grass		
Gns.	0,95	0,99
Average		
	Gns. af 4 afgrøder	
	Average of 4 crops	
1. forsøgsår	1,31	1,34
expt. year		
2. -	1,15	1,17
3. -	0,95	0,97
4. -	1,00	1,04
5. -	0,82	0,86
6. -	0,84	0,89
7. -	0,76	0,79
8. -	0,87	0,92
9. -	0,85	0,92
10. -	0,92	0,98
11. - (byg)	0,85	0,90
(barley)		

Udbyttenedgangen ved at undlade P-tilførsel har været mindst i bederoer. For alle afgrøder var nedgangen de første forsøgsår et par procent, mens den de sidste år var 5-8 pct.

Næringsstofkoncentrationer i afgrøderne

Gødsning påvirker ikke kun udbyttets størrelse, men også afgrødernes indhold af næringsstoffer og forholdet mellem de enkelte næringsstoffer.

Tabel 9. Afgrødernes N-indhold. Pct. total-N i tørstof, gns. af 1.-8. forsøgsår.

N concentration in crops. Per cent in dry matter, average of 1st-8th experimental year.

N-tilførsel	K-niveau		
	Level of K application		
N application	0 K	1 K	2 K
g/m ²			
		Hvedekerne	
		Wheat grain	
0	1,56	1,58	1,59
10	1,65	1,57	1,59
20	2,02	1,92	1,95
		Bygkerne	
		Barley grain	
0	1,33	1,35	1,33
7,5	1,52	1,41	1,41
15	1,73	1,64	1,63
		Hvedehalm	
		Wheat straw	
0	0,39	0,38	0,40
10	0,44	0,42	0,44
20	0,59	0,54	0,52
		Byghalm	
		Barley straw	
0	0,51	0,49	0,59
7,5	0,59	0,47	0,52
15	0,67	0,54	0,60
		Bederøer, rod	
		Beets, root	
0	0,70	0,68	0,69
22,5	0,95	0,84	0,82
45	1,19	1,10	1,07
		Bederøer, top	
		Beets, top	
0	1,95	1,95	1,95
22,5	2,40	2,11	2,14
45	2,82	2,58	2,37
		Græs	
		Grass	
0	1,52	1,54	1,51
22,5	2,13	2,04	1,99
45	2,81	2,62	2,61

Der har i alle afgrøder og afgrødedele været betydelig stigning i N-indholdet ved stigende N-tilførsel. Stigningen var størst, når der ikke blev tilført K. K-tilførsel har gennemgående forårsaget et fald i afgrødernes N-indhold. Dette fald må ses i sammenhæng med et stigende udbytte for stigende K-tilførsel, altså en fortyndingseffekt.

P-indholdet faldt ved gødskning med N og steg ved P-gødskning, mens K-gødskning ingen indflydelse havde på afgrødernes P-indhold (tabel 10).

Tabel 10. Afgrødernes P-indhold. Pct. P i tørstof, gns. af 1.-8. forsøgsår.

P concentration in crops. Per cent in dry matter, average of 1st-8th experimental year.

	N-niveau			P-niveau	
	Level of N application			Level of P application	
	0N	1N	2N	0P	1P
Hvede, kerne <i>Wheat, grain</i>	0,40	0,36	0,35	0,36	0,36
– , halm <i>straw</i>	0,14	0,08	0,08	0,07	0,08
Byg, kerne <i>Barley, grain</i>	0,36	0,30	0,28	0,29	0,32
– , halm <i>straw</i>	0,12	0,08	0,07	0,07	0,08
Bederøer, rod <i>Beets, root</i>	0,20	0,17	0,16	0,16	0,19
– , top <i>top</i>	0,26	0,24	0,25	0,23	0,26
Græs <i>Grass</i>	0,36	0,32	0,31	0,30	0,34

Kernens K-indhold blev kun lidt påvirket af gødskningen, hvorimod indholdet i de vegetative plantedele som halm, roetop og græs steg ved K-gødskning og faldt ved N-tilførsel, (tabel 11). Generelt var K-indholdet lavest ved 2 N og 0 K. Ved den største K-tilførsel forårsagede N-gødskning kun en beskedne nedgang i afgrødens K-indhold. I græs fandtes der endog en betydelig stigning.

Tabel 11. Afgrødernes K-indhold. Pct. K i tørstof, gns. af 1.-8. forsøgsår.

P concentration in crops. Per cent in dry matter, average of 1st-8th experimental year.

N-tilførsel <i>N application</i> g/m ²	K-niveau		
	Level of K application		
	0K	1K	2K
	Hvedekerne <i>Wheat grain</i>		
0	0,47	0,47	0,48
10	0,49	0,49	0,51
20	0,47	0,48	0,48
	Bygkerne <i>Barley grain</i>		
0	0,51	0,52	0,53
7,5	0,45	0,46	0,47
15	0,44	0,46	0,46
	Hvedehalm <i>Wheat straw</i>		
0	0,85	0,95	0,99
10	0,63	0,77	0,87
20	0,58	0,77	0,99
	Byghalm <i>Barley straw</i>		
0	1,11	1,37	1,59
7,5	0,71	0,98	1,29
15	0,70	0,95	1,26
	Bederøer, rod <i>Beets, root</i>		
0	1,42	1,68	1,66
22,5	1,13	0,43	1,66
45	1,16	1,27	1,58
	Bederøer, top <i>Beets, top</i>		
0	3,64	4,59	4,57
22,5	2,62	3,52	4,42
45	2,16	2,75	3,77
	Græs <i>Grass</i>		
0	2,05	2,36	2,43
22,5	1,60	2,80	3,15
45	1,58	2,62	3,26

Mangel på K vil medføre, at planterne optager en stigende mængde Na. Virkningen bliver størst i en stærkt K-krævende afgrøde som roer. I tabel 12 er vist, hvorledes kombinationer af N og K har påvirket Na-indholdet i roetop.

Tabel 12. Na-indhold i roetop. Pct. Na i tørstof, gns. af 1st–8th forsøgsår.

Na concentration in top of beets. Per cent in dry matter, average of 1.–8. experimental year.

N-tilførsel <i>N application</i> g/m ²	K-niveau <i>Level of K application</i>		
	0 K	1 K	2 K
0	0,88	0,63	0,59
22,5	0,76	0,70	0,60
45	0,64	0,60	0,58

Kernens Ca-indhold er lavt, 0,04–0,06 pct. i tørstof, og påvirkes kun lidt af gødskningen.

N-tilførsel har øget, og K-tilførsel mindsket Ca-indholdet i afgrødernes vegetative dele (tabel 13). K-gødskning har dog kun påvirket Ca-indholdet lidt, når der ikke samtidig blev tilført N.

Tabel 13. Afgrødernes Ca-indhold. Pct. Ca i tørstof, gns. af 1.–8. forsøgsår.

Ca concentration in crops. Per cent in dry matter, average of 1st–8th experimental year.

N-tilførsel <i>N application</i> g/m ²	K-niveau <i>Level of K application</i>		
	0 K	1 K	2 K
		Hvedehalm <i>Wheat straw</i>	
0	0,19	0,17	0,16
10	0,23	0,20	0,19
20	0,34	0,26	0,23
		Byghalm <i>Barley straw</i>	
0	0,43	0,38	0,43
7,5	0,46	0,36	0,34
15	0,51	0,39	0,35
		Bederøer, rod <i>Beets, root</i>	
0	0,33	0,37	0,32
22,5	0,46	0,46	0,37
45	0,54	0,52	0,46
		Bederøer, top <i>Beets, top</i>	
0	1,89	1,92	2,03
22,5	1,99	1,99	1,87
45	2,08	2,12	2,01
		Græs <i>Grass</i>	
0	0,60	0,61	0,58
22,5	0,81	0,64	0,59
45	0,95	0,76	0,67

Mg-indholdet har været faldende ved såvel N- som K-gødskning undtagen i græs, hvor det nok var faldende ved K-gødskning, men stigende ved N-tilførsel (tabel 14). Halmens Mg-indhold varierede mellem 0,05 og 0,07 pct. i tørstoffet.

Tabel 14. Afgrødernes Mg-indhold. Pct. Mg i tørstof, gns. af 1.–8. forsøgsår.

Mg concentration in crops. Per cent in dry matter, average of 1st–8th experimental year.

N-tilførsel <i>N application</i> g/m ²	K-niveau <i>Level of K application</i>		
	0 K	1 K	2 K
		Hvedekerne <i>Wheat grain</i>	
0	0,13	0,13	0,13
10	0,12	0,11	0,11
20	0,11	0,11	0,11
		Bygkerne <i>Barley grain</i>	
0	0,11	0,11	0,11
7,5	0,10	0,10	0,10
15	0,10	0,10	0,10
		Bederøer, rod <i>Beets, root</i>	
0	0,14	0,13	0,12
22,5	0,12	0,12	0,10
45	0,12	0,10	0,10
		Bederøer, top <i>Beets, top</i>	
0	0,51	0,46	0,48
22,5	0,45	0,41	0,39
45	0,42	0,39	0,37
		Græs <i>Grass</i>	
0	0,13	0,12	0,11
22,5	0,16	0,13	0,12
45	0,18	0,14	0,13

Til belysning af, hvorledes forholdet mellem de enkelte næringsstoffer i afgrøden påvirkedes af gødskningen er i tabel 15 vist

$(K^+ + Na^+) / (Ca^{++} + Mg^{++})$ forholdet i græs.

Tabel 15. $(K^+ + Na^+) / (Ca^{++} + Mg^{++})$ forholdet i græs. Ækvivalenter.
The quotient $(K^+ + Na^+) / (Ca^{++} + Mg^{++})$ (equivalent weight) in grass in relation to fertilizer application.

N-tilførsel Level of N application	K-niveau Level of K application		
	0 K	1 K	2 K
0 N	1,35	1,55	1,69
1 N	0,97	1,79	2,12
2 N	0,85	1,50	1,99

Når der ikke blev tilført K, forårsagede N-tilførsel et fald i kvotienten, medens kvotienten steg, hvor der var anvendt størst K-mængde.

Afgrødernes optagelse af næringsstoffer

De optagne næringsstofmængder afhænger af afgrøde, gødningsmængde og udbyttets størrelse. Den gennemsnitlige optagelse ved 1 N + 1 K er vist i tabel 16.

Tabel 16. Afgrødernes næringsstofoptagelse ved 1 N + 1 K i g pr. m², gns. af 1.-8. forsøgsår.
Crop uptake of nutrients in g per m² at the application level of 1 N and 1 K, average of 1st-8th experimental year.

	Hvede Wheat	Byg + græsudl. Barley + undersown grass	Roer Beets	Græs Grass	Gns. Ave- rage
N	10,3	10,6	28,1	18,6	16,9
P	2,2	2,0	4,6	2,9	2,9
K	7,5	8,8	47,2	25,6	22,3
Na	0,1	0,4	5,3	0,7	1,6
Ca	1,5	2,5	20,2	5,8	7,5
Mg	1,1	1,0	4,2	2,0	2,1

N-optagelsen var i gennemsnit lidt større end den tilførte mængde. Kun græsset optog mindre end de tilførte 22 1/2 g N pr. m². Roerne havde den største P-optagelse. K-optagelsen i hvede var kun 75 pct. af den tilførte mængde, medens optagelsen i roer var dobbelt så stor som tilførslen. Generelt havde roerne den største optagelse af alle næringsstoffer.

Da udbyttets størrelse var stærkt påvirket af N-tilførsel, var også den optagne næringsstofmængde stærkt influeret heraf. Specielt i græs var der store udslag. Ved den største N-tilførsel havde K-tilførslen indflydelse på N-optagelsen, hvilket mere relateredes til et stigende udbytte end til ændring i afgrødens indhold.

Fig. 3 og 4 viser, hvorledes kombinationer af N og K har påvirket N-optagelsen.

Uden tilførsel af N var optagelsen i alle afgrøder upåvirket af K-tilførslen. Ved den største N-tilførsel havde K-gødskning derimod indflydelse på den optagne N-mængde.

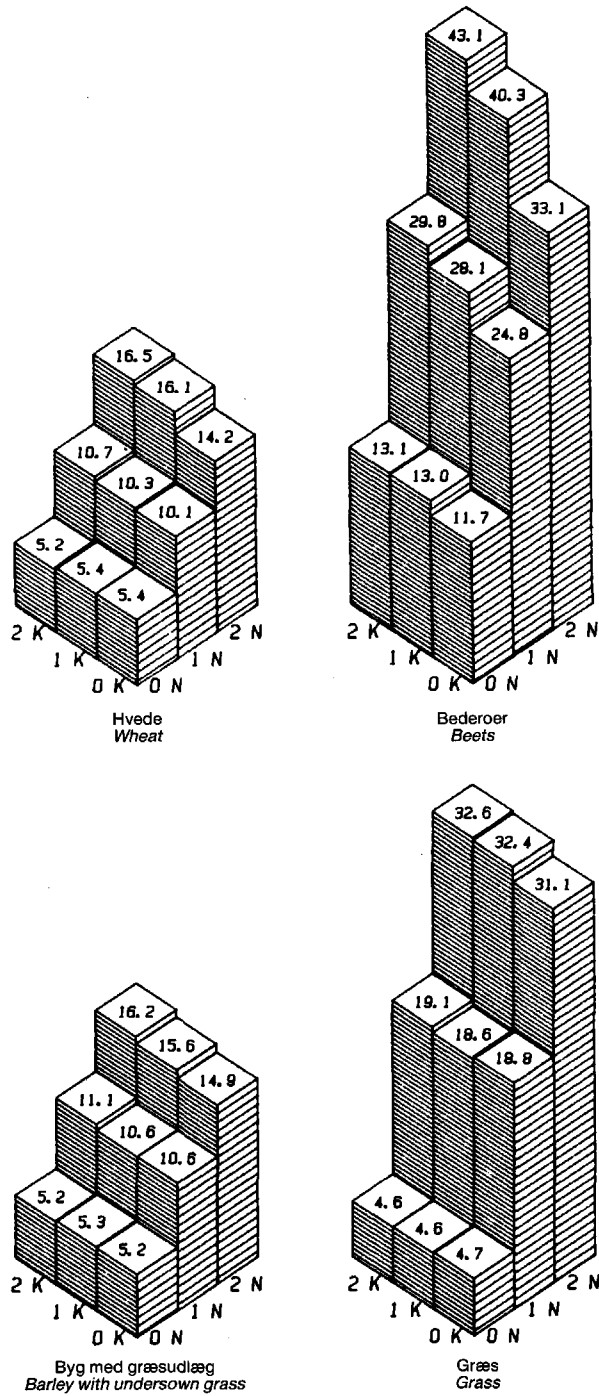


Fig. 3. Afgrødernes N-optagelse, g total-N pr. m². Gns. af 1.-8. forsøgsår.
N uptake in crops, g N per m². Average of 1st-8th experimental year.

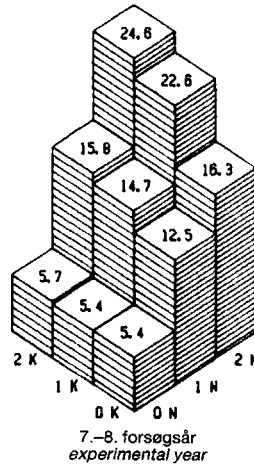
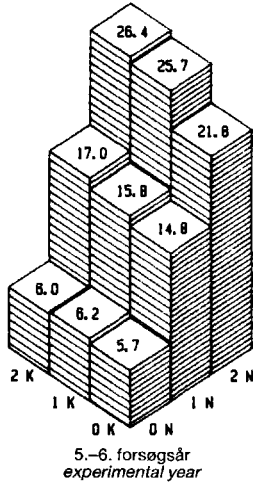
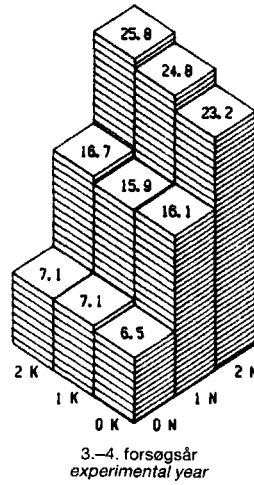
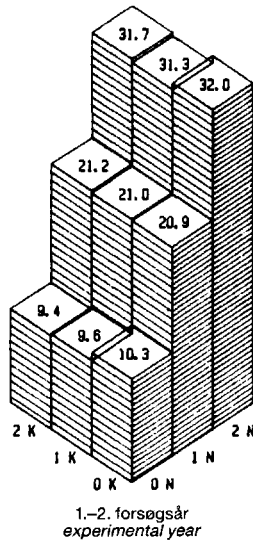


Fig. 4. Forløbet af N-optagelsen gennem forsøgsperioden, g total-N pr. m^2 . Gns. af 4 afgrøder og 2-års perioder.
N uptake during the experimental periode, g N per m^2 . Average of 4 crops and 2 year periods.

N-optagelsen var størst i de første forsøgsår (fig. 4). Ud over klimabetingede variationer kan årsagen hertil være en øget N-mineralisering i jorden som følge af forsøgsjordens behandling ved forsøgets anlæg.

I de første forsøgsår, hvor jordens K-reserve kunne dække afgrødernes behov, påvirkede K-til-

førslen ikke den optagne N-mængde. Efterhånden som jordens K-reserve reduceredes, var der en tydelig vekselvirkning mellem N- og K-gødskning. N-optagelsen øgedes ved tilførsel af begge næringsstoffer.

I fig. 5 ses hvorledes optagelsen af K påvirkedes af gødskning med kombinationer af N og K.

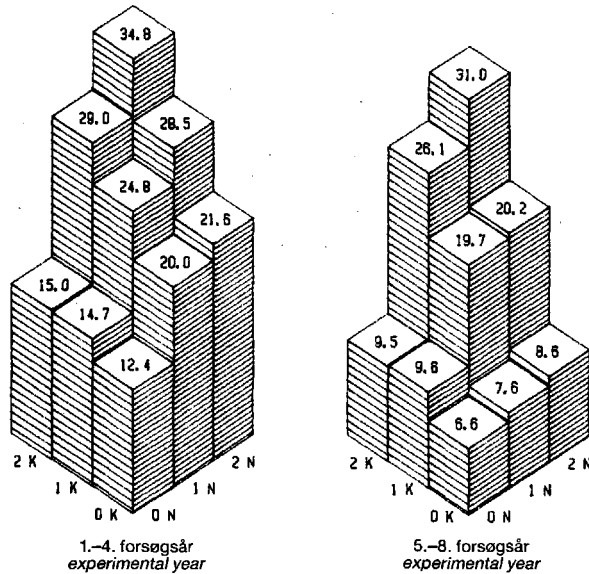


Fig. 5. Forløbet af K-optagelsen i forsøgsperioden, g K pr. m². Gns. af 4-års perioder og 4 afgrøder.
Uptake of K during the experimental periode, g K per m². Average of 4 year periodes and 4 crops.

Uden tilførsel af N og K faldt K-optagelsen, og en øgning af tilførslen fra 1 K til 2 K gav uændret K-optagelse. I gennemsnit af alle forsøg blev K-optagelsen godt halveret ved udeladelse af både N- og K-gødsning sammenlignet med 1 N + 1 K.

Ved fordobling af N- og K-mængderne steg K-optagelsen med ca. 50 pct.

I lighed med N var også K-optagelsen størst i de første forsøgsår, og udslagene for gødsning var størst i de sidste år.

Tabel 17 viser optagelsen af P, Na, Ca og Mg som funktion af N- og K-gødsning.

Der blev for alle fire mineralstoffers vedkommende konstateret stigende optagelse ved stigende N-tilførsel.

Når der blev gødet med N, var optagelsen af P, Ca og Mg tillige stigende ved stigende K-tilførsel, mens K-tilførsel reducerede afgrødernes Na-optagelse.

I tabel 18 er vist, hvorledes P-gødsning påvirkede N- og mineralstofoptagelsen.

Tabel 17. Mineralstofoptagelse. Gns. af 4 afgrøder og 1.-8. forsøgsår.

Uptake of nutrients. Average of 4 crops and 1st-8th experimental year.

N-niveau Level of N-application	Optagelse ved 1 N + 1 K Uptake at 1 N + 1 K g/m ²	K-niveau Level of K application		
		0 K	1 K	2 K
		Forholdstal Relative uptake		
		P		
0 N	2,9	56	60	59
1 N		91	100	106
2 N		102	118	123
		Na		
0 N	1,6	49	39	36
1 N		130	100	85
2 N		155	138	124
		Ca		
0 N	7,5	39	44	42
1 N		93	100	95
2 N		123	137	136
		Mg		
0 N	2,1	54	56	53
1 N		94	100	98
2 N		110	118	122

Tabel 18. P-gødskningens indflydelse på optagelse af N, P og K, g pr. m². Gns. af 1.–8. forsøgsår.
The influence of application of P on uptake of N, P and K, g per m². Average of 1st–8th experimental year.

Afgrøder <i>Crops</i>	P-tilf. <i>P appli- cation g/m²</i>	N	P	K
Hvede <i>Wheat</i>	0 4	10,3 10,5	2,0 2,2	6,8 6,9
Byg med udlæg <i>Barley with undersown grass</i>	0 4	10,2 10,8	1,7 2,0	8,2 8,6
Bederøer <i>Beets</i>	0 8	26,1 26,6	3,7 4,3	40,3 40,1
Græs <i>Grass</i>	0 4	17,9 19,1	2,3 2,8	19,5 20,7
Gns. af sædskifte <i>Average of crop rotation</i>	0 5	16,1 16,7	2,4 2,8	18,7 19,1

De stigende optagelser skyldtes, at der ved P-gødskning blev opnået stigende udbytter. For P's vedkommende har der også været tale om stigende koncentration i afgrøden.

Diskussion og sammendrag

Der fandtes vekselvirkning mellem N og K, men ikke mellem P og de to andre tilførte næringsstoffer.

Udbyttet har i alle forsøgsår og afgrøder været stærkt påvirket af N-gødskning.

Efterhånden som jorden blev udpint for K, var der også store udslag for K-gødskning. I de 2 første forsøgsår var der kun små udslag for K-tilførsel. I 3.–4. forsøgsår var der ved den kraftigste N-gødskning en udbyttenedgang på 10 pct. ved undladelse af K-gødskning og en udbyttestigning på 7 pct. ved en fordobling af K-tilførslen. Ved moderat N-gødskning var udslagene for K-gødskning noget lavere.

Virkningen af tilførsel af både N og K forstærkedes gennem forsøgsperioden. I 7.–8. forsøgsår fandtes således kun mindre udslag for N-tilførsel, når der ikke tilførtes K, mens virkningen af K-til-

førsel øgedes ved 1 N og 2 N i forhold til tidligere forsøgsår. Sammenlignet med tilførsel af 1 N + 1 K, blev udbyttet uden N-gødskning reduceret med 55–60 pct. Ved undladelse af K-tilførsel var udbyttet ved den største N-tilførsel kun 2/3 af udbyttet ved tilførsel af 1 N + 1 K.

Ved en fordobling af N- eller K-mængden steg udbyttet med ca. 15 pct., men fordobledes tilførslen af begge næringsstoffer var udbyttestigningen på 35 pct.

Efter 8 forsøgsår blev der tilført samme N-mængde til alle led samt 2 K og 0 K til led, der i 8 år var tilført henholdsvis 0 K og 2 K. Herved opnåedes i 9.–10. forsøgsår omtrent ens udbytter i ledene tilført 2 K og 0 K. *En kaliumudpint jord kunne således hurtigt bringes på normalt udbyttiveau.* Ved tilførsel af 1 N i 9.–10. forsøgsår blev der ikke fundet eftervirkning af tidligere års N-gødskning.

Der var hvert år og i alle afgrøder et beskedent udslag for P-gødskning, men med en tendens til stigende udslag gennem forsøgsperioden. Efterhånden som jordens P-reserve mindskedes, øgedes virkningen af tilført P.

Mængden af N og mineralstoffer som fjernedes med afgrøden, afhang af udbyttets størrelse og af næringsstoffernes koncentration i afgrøden, og dermed også af gødskningen.

N-optagelsen ændrede sig gennem årene ved varierende gødskning. De første år havde K-tilførsel ingen indflydelse på optagelsen af N, men efterhånden som jorden blev udpint, fik K-gødskningen større betydning. I gennemsnit af 7. og 8. forsøgsår blev der optaget omtrent samme N-mængde ved tilførsel af 1 N + 2 K som ved tilførsel af 2 N og 0 K.

K-optagelsen steg ved såvel N- som K-gødskning. Udslagene for K-gødskning øgedes gennem forsøgsperioden, men uden N-tilførsel var udslagene små.

N-gødskning har påvirket optagelsen af P, Ca og Mg. Ved moderat N-gødskning øgedes P-optagelsen ved stigende K-tilførsel. Ved stor N-gødskning var der større optagelse af de tre mineralstoffer ved stigende K-gødskning.

Ved en stigende og afbalanceret næringsstofftilførsel øgedes både afgrødeudbyttet og mængden af optagne næringsstoffer, herunder næringsstoffer, som ikke blev tilført i forbindelse med forsøgsbehandlingen.

Manuskript modtaget den 4. juli 1988.