

Lysimeterforsøg med kombinationer af kvælstof, fosfor og kalium i handelsgødning

III. Næringsstofbalancer

Lysimeter experiments with combinations of nitrogen, phosphorus and potassium in mineral fertilizer
III. Nutrient balances

JØRGEN F. HANSEN

Resumé

Udbytte, næringsstofoptagelse og -nedvaskning efter tilførsel af forskellige kombinationer af N, P og K blev bestemt på grov, sandblandet lerjord (JB 5) i et sædskifte med vinterhvede-bederøer-vårbyg m. udlæg-græs.

Både optagelse og nedvaskning af N og K steg ved tilførsel af henholdsvis N og K. N-tilførsel øgede optagelsen og formindskede nedvaskningen af K, og K-tilførsel øgede optagelsen og formindskede nedvaskningen af N. Det samme gjorde sig gældende for meroptagelse og mernedvaskning af N og K. Mernedvaskningen af N steg relativt mere end meroptagelsen, mens der for K var nogenlunde samme relative stigning i meroptagelse og mernedvaskning.

Mernedvaskningen af N udgjorde ved 1 N 20–30 pct. af den samlede nedvaskning og ved 2 N 40–60 pct.

N-udnyttelsen, opgjort som N-meroptaget i forhold til N-tilført, var omtrent lige stor ved 1 N og 2 N.

Ved de højeste N- og K-niveauer var optagelsen + nedvaskningen af henholdsvis N og K af om-

trent samme størrelse eller større end tilførslen af næringsstoffet. Ved samtidig tilførsel af 2 N + 2 K oversteg summen af optaget og nedvasket K dog tilførslen.

Ved 1 N var der omtrent balance mellem tilført og optaget N.

Efter 8 år var udbyttet og N-optagelsen ca. 2/3 lavere i led uden næringsstofftilførsel end ved 1 N + 1 K + 1 P. Ved 2 N + 2 K + 1 P var udbyttet ca. 1/3 højere og N-optagelsen ca. 2/3 højere. En stigende N-tilførsel havde større virkning på N-optagelsen end på udbyttet. Den største stabilitet i udbytte og N-optagelse opnåedes ved tilførsel af både N og K.

Uden N-tilførsel var der tendens til faldende N-nedvaskning i løbet af forsøgsperioden, mens der ved høj, afbalanceret N-, K- og P-tilførsel var tendens til stigende nedvaskning. Den årlige variation i N-nedvaskningen var størst ved det højeste N-niveau, og når N-tilførtes alene.

Ved P-tilførsel var nedvaskning og optagelse af P mindre end tilførslen uanset kombinationen af N og K.

Nedvaskningen af Ca var langt større end optagelsen. Uden N-tilførsel var nedvaskningen af Na og Mg større end optagelsen. N-tilførsel øgede

optagelsen af Na, Ca og Mg i forhold til nedvaskningen. Stigende K-tilførsel medførte faldende Na-optagelse og stigende nedvaskning af Na.

Nøgleord: Kvælstof, fosfor, kalium, udbytte, merudbytte, næringsstoffoptagelse, meroptagelse, næringsstoffnedvaskning, mernedvaskning, vekselvirkning, tidsforløb af udbytte, N-optagelse og -nedvaskning.

Summary

The influence of different combinations of N, P and K in mineral fertilizer on dry matter yield, uptake and leaching of nutrient was studied in a sandy loam using a crop rotation of winter wheat-beets-spring barley with undersown grass-grass.

Uptake and leaching of N and K was increased by application of N and K respectively. Application of N increased uptake and decreased leaching of K, and application of K increased uptake and decreased leaching of N.

At 1 N leaching of added N was 20–30% of the total amount of N leached and at 2 N 40–60%.

The proportion of added N, taken up by the crops was approximately the same at 1 N and 2 N.

At 2 N application balanced or exceeded uptake and leaching of N. At 2 K + 1 N application of K balanced or exceeded uptake and leaching of K.

At 1 N, the N supply approximately balanced the uptake of N.

After eight years without application of nutrient, the dry matter yield and the uptake of N

was reduced to approximately 1/3 of that found after application of 1 N + 1 K + 1 P. After application of 2 N + 2 K + 1 P, the dry matter yield and the N uptake was about 1/3 and 2/3 higher respectively. The influence of N application was greater on N uptake than on dry matter yield. The greatest stability over years in dry matter yield and N uptake was found when both N and K was added.

Without application of N, leaching tended to decrease during time. At a high, balanced N, K and P application a tendency towards increasing leaching was observed. The annual fluctuations in leaching of N were greatest at the highest N level when no K and P was added.

Application of P exceeded uptake and leaching at all combinations of N and K.

Leaching of Ca was far greater than uptake. Leaching of Na and Mg exceeded uptake when no N was added. Application of N increased the uptake of Na, Ca and Mg relative to leaching. Increased application of K reduced uptake and raised leaching of Na.

Key words: Nitrogen, phosphorus, potassium, dry matter yield, uptake of nutrients, leaching of nutrients, interactions of nutrients, yield and uptake and leaching of N during time.

Indledning

Udbytte, næringsstoffoptagelse og -nedvaskning i et sædskifte er bl.a. påvirket af mængde og kombination af tilført N, P og K.

I årene 1974–84 blev disse forhold undersøgt i lysimeterforsøg ved Askov forsøgsstation. Forsøgsbetingelserne i lysimetre kan afvige fra markforhold, men lysimeterundersøgelser muliggør en direkte bestemmelse af den samlede nedvaskning af næringsstoffer fra afgrøderne. Næringsstoffbalancer og relationerne mellem tilførsel, optagelse og nedvaskning af næringsstoffer kan herved bedre kvantificeres.

Det må endvidere antages, at relative forskelle fundet mellem forsøgsbehandlingerne også er gældende under markforhold.

I tidligere beretninger fra Statens Planteavlsforsøg er resultater vedr. udbytte, næringsstoffoptagelse (4) og næringsstoffnedvaskning (2) detaljeret behandlet.

I nærværende beretning omtales næringsstoffbalancer og relationerne mellem tilførsel, optagelse og nedvaskning af næringsstoffer, samt udbytte.

Materialer og metode

Lysimeteranlæggets opbygning og forsøgsledenes placering er beskrevet af Klausen og Hansen (4). I tabel 1 er givet en beskrivelse af den anvendte forsøgsjord.

Nedvaskningen er bestemt som næringsstoffer

nedvasket under 1 m's dybde (= jorddybden i lysimeterkarrene) og målt i afstrømningsvandet fra lysimetrene. Det enkelte års afstrømning blev opgjort fra forudgående afstrømningsperiodes ophør om foråret til afstrømningens ophør næste forår.

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

	Dybde <i>Depth</i> cm	Volumen vægt <i>Volume</i> weight g/cm ³	Pct.				Rt <i>pH</i>	Ft ¹⁾	Kt ²⁾	Mgt ³⁾
			Ler <i>Clay</i>	Silt <i>Silt</i>	Fin sand <i>Fine</i> sand	Grov sand <i>Coarse</i> sand				
Overjord <i>Topsoil</i>	0-20	1,50	9,3	11,2	37,3	42,2	6,8	9,0	15,7	6,1
Mellemjord <i>Intermediate</i> <i>layer</i>	20-40	1,55	6,9	6,6	29,8	56,7	6,3	4,9	4,0	3,5
Underjord <i>Subsoil</i>	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-bederoer-vårbyg med udlæg-græs. Alle afgrøder blev dyrket hvert år. Forsøget gennemførtes uden gentagelser. Næringsstofmængde og kombinationer de første otte forsøgsår fremgår af tabel 2.

Ved samme næringsstofniveau varierede den tilførte mængde næringsstof pr. m² for forskellige afgrøder. Næringsstofforsyningen er derfor i den følgende tekst af hensyn til enkeltheden i flere tilfælde angivet ved næringsstofniveauet, fx 1 N + 1 P + 1 K. Vedr. g næringsstof tilført pr. m² henvises da til tabel 2.

I 9. og 10. forsøgsår (1982-83) ændredes gødskningen. Alle led fik tilført 1 N i kalkkammonsalpeter. K-tilførsel ved leddet med 1 K forblev uændret. Led, der tidligere ikke var tilført K, fik nu tilført 2 K, hvorimod de led, som tidligere var tilført 2 K, ikke blev gødet med K. P-tildelingen var uændret.

I 1984 (11. forsøgsår) blev der dyrket byg i hele forsøget. Der blev gødet med 10 g N pr. m² mens P- og K-tilførslen var som de foregående 2 år.

Vanding indgik ikke som en forsøgsbehandling. De enkelte led blev vandet, såfremt der opstod behov, for at undgå en utilsigtet forskel i vækstbetingelserne fra led til led.

Analyser

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.

Analyser af afstrømningsvand: NO₃⁻-N blev bestemt med Technicon Autoanalyser, vandopløseligt P ved ascorbinsyremetoden og K⁺, Na⁺, Ca⁺⁺ og Mg⁺⁺ ved atomabsorptionsflammeometri.

Tabel 2. Næringsstofftilførsel de første 8 forsøgsår 1974–81.
Application of nutrient during 1st–8th experimental year.

Næringsstofniveau <i>Level of nutrient application</i>	Gødningstype <i>Type of fertilizer</i>	g næringsstof/m ² g nutrient/m ² ¹⁾				Gns. for sædskifte <i>Average of crop rotation</i>
		Vinterhvede <i>Winter wheat</i>	Roer <i>Beets</i>	Vårbygudlæg <i>Spring barley with under-sown grass</i>	Græs <i>Grass</i>	
1. 0 N	Kalkammon-					
2. 1 N	salpeter	10,0	22,5	10,0 ²⁾	22,5	16,25
3. 2 N	CAN	20,0	45,0	20,0 ²⁾	45,0	32,50
x. 0 P	Super					
y. 1 P	fosfat	4,0	8,0	4,0	4,0	5,0
	Single super phosphate					
A. 0 K	Kalium-					
B. 1 K	chlorid	10,0	22,5	7,3	22,5	15,58
C. 2 K	Potassium chloride	20,0	45,0	14,6	45,0	31,15

¹⁾ g/m² × 10 = kg/ha

²⁾ Heraf de 25 pct. til græsudlæg efter byghøst.
Including 25% applied to grass after harvest of barley.

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

Dry matter per »fodder unit« (FU):

(fodder unit = the relative feeding value of different crops).

Vinterhvede: 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 og diskussion

Den følgende beskrivelse af næringsstofbalancer vedrører de første otte forsøgsår 74/75–81/82, som omfatter to hele sædskifterotationer og uændret gødningstilførsel (se forsøgsplanen). Der er ikke opstillet balancer for de sidste forsøgsår, idet gødningstilførslen blev ændret fra det 9. forsøgsår (1982) og afgrøderne og N-tilførslen i det 11. forsøgsår (1984).

N-balancen

Den atmosfæriske tilførsel af N og denitrifikationen er ikke medtaget i balancen for N, idet disse størrelser ikke blev målt. Differencen i de anførte balancer viser således ikke ændringen i jordens N-indhold. N-optagelsen er den indhøstede N-mængde. Der er ikke målt N-optagelse i rod.

Uden N-tilførsel, 0 N, var summen af N-optaget og N-nedvasket omkring 10 g N pr. m² årligt, tabel 3.

Ved 1 N (gennemsnitlig N-tilførsel på 16,25 g N pr. m² pr. år), oversteg den årlige optagelse samt nedvaskning tilførslen med omkring 5 g pr. m² i gennemsnit, tabel 3. Ved 2 N var der balance mellem tilført N og summen af optaget og nedvasket N. Tilførsel af 16,25 g N pr. m² i gennemsnit pr. år har kunnet dække den årlige N-optagelse i sædskiftet.

Meroptagelsen og mernedvaskningen blev i forsøget bestemt som optagelse og nedvaskning ved N-tilførsel minus optagelse og nedvaskning i de tilsvarende led uden N-tilførsel.

Meroptagelsen af N steg omtrent til det dob-

Tabel 3. Udbytte og N-balance ved N-, P- og K-tilførsel. Gns. af 1.-8. forsøgsår og 4 afgrøder samt variationskoefficienten for årene, CV.

Yield and N balance in relation to application of N, P and K. Average of 1st-8th experimental year and 4 crops and the coefficient of variation between years, CV.

N-niveau <i>N level</i>	K-niveau <i>K level</i>	P-niveau <i>P level</i>	Udbytte <i>Yield</i>		Merudbytte ¹⁾ <i>Yield increase</i>		Tilførsel <i>Application</i>	Optagelse <i>Uptake</i>		Mer- optagelse ¹⁾ <i>Uptake increase</i>		Nedvaskning <i>Leaching</i>		Mer- nedvaskning ¹⁾ <i>Leaching increase</i>		Diffe- rence ²⁾ <i>Difference</i>
			FE/m ² <i>Fodder</i> units/m ²	CV	FE/m ² <i>Fodder</i> units/m ²	CV		g N/m ²	g N/m ²	CV	g N/m ²	CV	g N/m ²	CV	g N/m ²	
0	0	0	0,5	33	-	-	0,0	6,5	29	-	-	3,4	19	-	-	-9,9
		1	0,6	27	-	-	0,0	6,9	24	-	-	3,4	26	-	-	-10,3
	1	0	0,6	28	-	-	0,0	7,3	28	-	-	3,7	23	-	-	-11,0
		1	0,6	24	-	-	0,0	6,8	21	-	-	3,3	25	-	-	-10,1
	2	0	0,6	27	-	-	0,0	6,9	22	-	-	3,2	30	-	-	-10,2
		1	0,6	28	-	-	0,0	7,1	25	-	-	3,4	25	-	-	-10,5
Gns. Average			0,6	27	-	-	0,0	6,9	24	-	-	3,4	24	-	-	-10,3
1	0	0	1,0	30	0,4	38	16,3	16,2	20	9,7	16	5,1	39	1,7	107	-5,1
		1	0,9	33	0,4	51	16,3	15,9	22	9,0	22	5,0	57	1,6	156	-4,7
	1	0	1,1	15	0,5	23	16,3	16,7	16	9,4	10	4,6	33	1,0	114	-5,1
		1	1,2	13	0,6	17	16,3	17,0	16	10,2	13	4,1	32	0,8	101	-4,8
	2	0	1,2	10	0,6	20	16,3	17,4	12	10,4	7	4,4	38	1,1	110	-5,5
		1	1,2	13	0,6	25	16,3	17,9	14	10,8	14	4,1	31	0,7	129	-5,8
Gns. Average			1,1	21	0,5	32	16,3	16,9	16	9,9	15	4,5	39	1,1	129	-5,1
2	0	0	1,1	37	0,5	49	32,5	23,0	29	16,5	29	9,6	54	6,2	82	-0,1
		1	1,1	34	0,5	52	32,5	23,6	25	16,7	27	8,8	63	5,4	98	0,1
	1	0	1,3	16	0,7	23	32,5	25,0	15	17,7	11	7,1	42	3,5	75	0,4
		1	1,4	16	0,8	22	32,5	27,2	14	20,4	12	6,2	49	2,9	88	-0,9
	2	0	1,4	14	0,8	24	32,5	26,1	13	19,1	11	7,3	40	4,1	69	-0,9
		1	1,5	11	0,9	20	32,5	28,2	10	21,1	7	5,4	41	2,0	99	-1,1
Gns. Average			1,3	24	0,7	35	32,5	25,5	18	18,6	19	7,4	53	4,0	93	-0,4

¹⁾ Udbytte, optagelse og nedvaskning ved N-tilførsel – de pågældende led uden N-tilførsel.

Yield, uptake and leaching from N fertilized plots – the correspondent plots without N application.

²⁾ Tilførsel – (optagelse + nedvaskning). *Application – (uptake + leaching).*

belte ved at fordoble N-tilførslen, tabel 3. N-udnyttelsen opgjort som N-meroptagelse i forhold til N-tilført var således kun lidt mindre ved 2 N end ved 1 N.

Merudbyttet var 25–50 pct. større ved 2 N end ved 1 N, og desuden stigende med stigende K-tilførsel.

N-nedvaskningen steg med stigende N-tilførsel, men ikke i samme takt som tilførslen. Det skyldes bl.a., at der også uden N-tilførsel sker en nedvaskning af N. Denne »baggrundsnedvaskning«, som stammer fra jordens eget lager af N, vil have relativt større betydning, jo mindre N-tilførslen er, tabel 3. I overensstemmelse hermed ses, at mernedvaskningen, dvs. nedvaskningen som følge af N-tilførsel, udgjorde 20–30 pct. af den samlede nedvaskning ved 1 N, men 40–60 pct.

ved 2 N, tabel 3. Det ses endvidere, at mernedvaskningen faldt med stigende K-tilførsel.

N-nedvaskningen i relation til optaget N var størst i hvede, fig. 1. Dette skyldes formentlig en øget mineralisering efter hvedens høst hidrørende fra den nedpløjede græsafgrøde forud for hvedens såning (2). I modsætning hertil var nedvaskningen efter byg relativt lille på grund af græsudlægget. De enkelte afgrøders indflydelse på nedvaskningen er således påvirket af enten forfrugten (i hvede: øget nedvaskning) eller den efterfølgende afgrøde (i byg: nedsat nedvaskning). For græs er der endvidere tale om nedvaskning efter ompløjning, som givetvis vil være noget større end nedvaskningen fra en vedvarende græsmark.

Forsøget viser N-nedvaskningen og N-optagelsen efter de enkelte afgrøder i et bestemt sædskif-

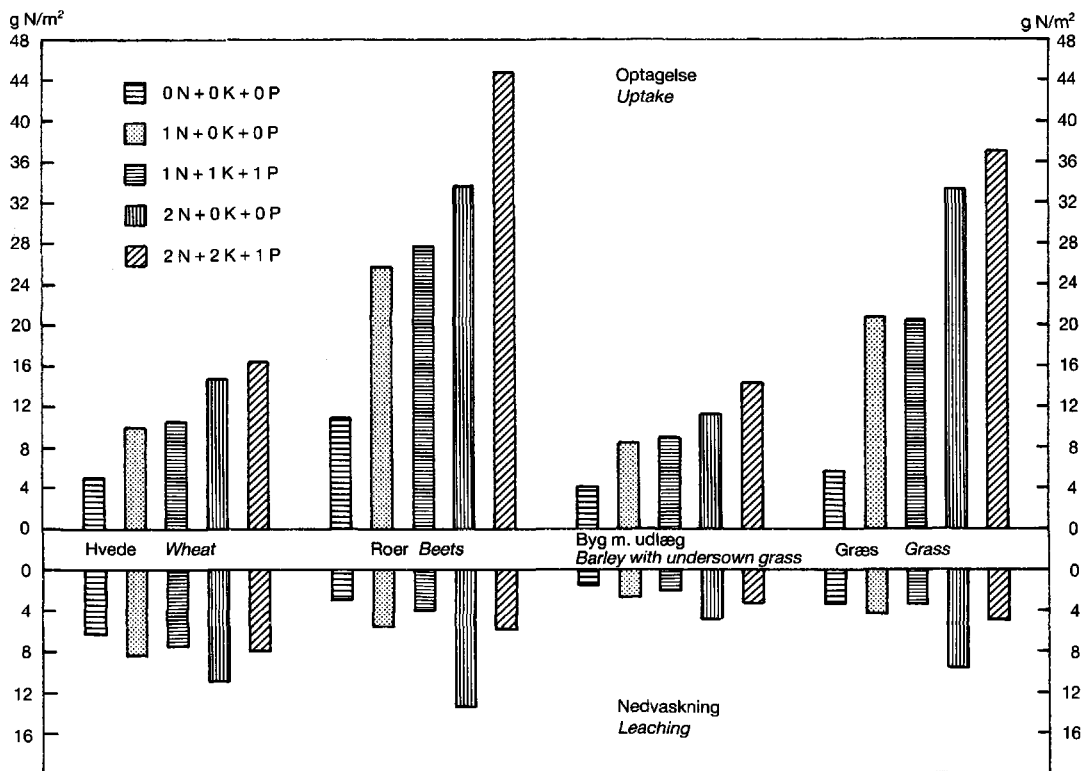


Fig. 1. N-optagelse og N-nedvaskning i de enkelte afgrøder i relation til N-, P- og K-tilførsel. Gennemsnit af 1.-8. forsøgsår.

Uptake and leaching of N in the various crops in relation to application of N, P and K. Average of 1st-8th experimental year.

te, fig. 1, og illustrerer dermed forløbet af en væsentlig del af N-strømmen gennem det pågældende sædskifte.

Tidsforløbet af udbytte (FE), N-difference (tilf. N - opt. N - nedv. N), N-optagelse og N-nedvaskning er vist i fig. 2-5. De første 1-2 år var udbyttet og N-optagelsen relativt højt og N-differencen lav (især 2. år). Dette skyldes formodentlig en forøget N-mineralisering i lysimeterkarrene efter jordfyldningen i foråret 1973 (4).

Efter de første to forsøgsår faldt udbytte og N-optagelse jævnt i forsøgsleddene med en ubalanceret eller ingen N-, P- og K-tilførsel, fig. 2 og 3. Ved en afbalanceret tilførsel, 1 N + 1 K + 1 P og 2 N + 2 K + 1 P, stabiliseredes udbytte og N-optagelse på henholdsvis ca. 1,1 og 1,4 FE pr. m² og ca. 15 og 26 g N pr. m². Efter otte år var udbyttene således ca. 30 pct. højere, og niveauet for N-optagelse ca. 70 pct. højere ved 2 N + 2 K end

ved 1 N + 1 K. Heraf følger, at en ændring i N- og K-tilførslen havde større virkning på N-optagelsen end på udbyttet. Tilsvarende resultater for kerneudbytte og N-optagelse i kerne af byg og hvede er fundet af *Kjellerup* og *Kofoed* (3).

Uden N-tilførsel var der tendens til en stabilisering i udbytte og N-optagelse efter 8 år på henholdsvis ca. 0,4 FE pr. m² og 5 g N pr. m². Dette er ca. 1/3 af udbyttet og N-optagelsen ved 1 N + 1 K + 1 P.

Den største stabilitet i udbytte og N-optagelse opnåedes ved tilførsel af både N og K (se variationskoefficienterne i tabel 3).

N-difference varierede betydeligt over årene og var overvejende negativ, men med tydelige forskelle mellem N-niveauerne, fig. 4. Kun ved det højeste N-niveau var der i nogle af årene en positiv differens. Dette medførte dog ikke nødvendigvis et stigende N-indhold i jorden, idet denitrifi-

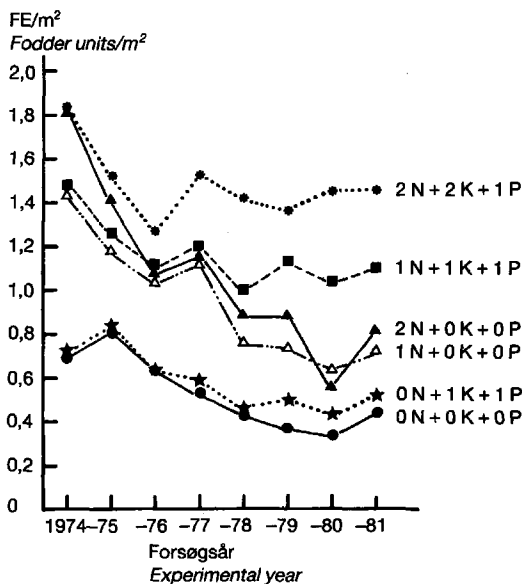


Fig. 2. Udbytteforløbet ved varierende gødskning. Gennemsnit af 4 afgrøder. Yield in relation to time at varying application of N, P and K. Average of 4 crops.

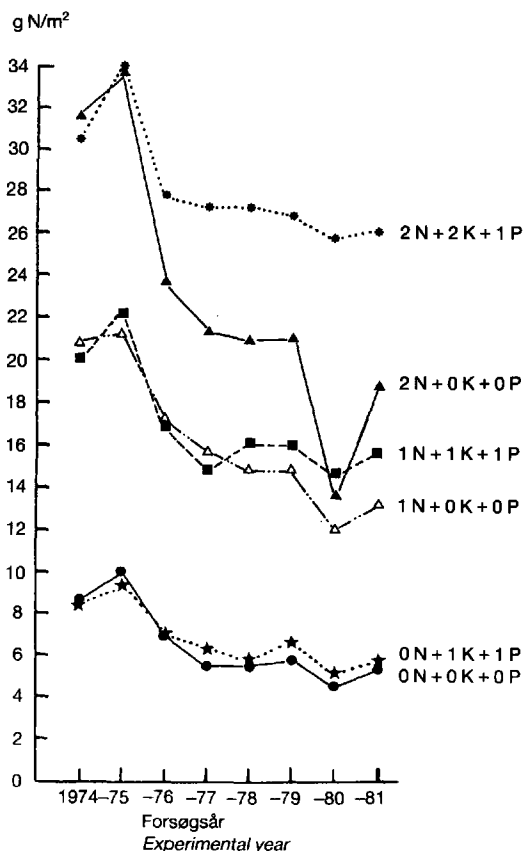


Fig. 3. Forløbet af N-optagelse ved varierende gødskning. Gennemsnit af 4 afgrøder. Uptake of N in relation to time at varying application of N, P and K. Average of 4 crops.

kationstabet som nævnt ikke blev medregnet i balancen.

I det første forsøgsår var der kun lille forskel i nedvaskningen fra led med forskellige N- og P- og K-tilførsler, men efterhånden opstod større variation, fig. 5. Det skyldtes formodentlig, som tidligere nævnt, en forøget og nogenlunde ens N-mineralisering i lysimeterkarrene i forsøgsperiodens begyndelse.

Den store nedvaskning i 7. forsøgsår, 1980, skyldtes en usædvanlig stor sommernedbør dette år (2).

Der var tendens til faldende N-nedvaskning ved 0 N. Ved moderat N-, K- og P-tilførsel (1 N + 1 K + 1 P) viste N-nedvaskningen kun svagt faldende tendens over tiden. Der var tendens til stigende N-nedvaskning over tiden ved 1 N, hvor der ikke blev tilført P og K og ved 2 N.

Ved 0 N + 0 K + 0 P, ved 1 N + 1 K + 1 P og ved 2 N + 2 K + 1 P var den gennemsnitlige N-nedvaskning i 8. forsøgsår henholdsvis 60 pct., 82 pct. og 121 pct. af nedvaskningen i første forsøgsår. Til sammenligning kan anføres, at Addiscott (1) i undersøgelser på Rothamsted fandt en halveringstid

på 41 år for N-nedvaskningen fra udyrket og ugødet jord.

Variationen over årene i N-nedvaskningen var tydeligt størst for det højeste N-niveau, samt ved tilførsel af N uden K- og P-tilførsel. En ubalanceret næringsstofftilførsel øger tilsyneladende både nedvaskningsniveauet og udsvingene i nedvaskning over tiden.

P- og K-balancer

Bortførsel af P ved planteoptagelse og nedvaskning varierede i gennemsnit fra ca. 1,5 g P pr. m² pr. år uden P-, N- og K-tilførsel til knap 4 g P ved den største næringsstofftilførsel, tabel 4.

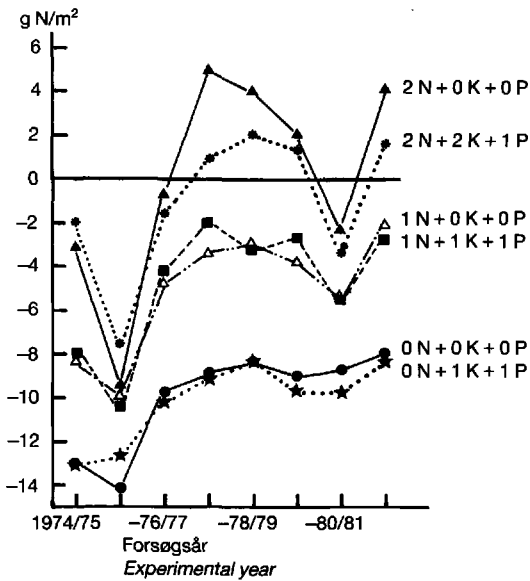


Fig. 4. Forløbet af N-difference ved variende gødskning. Gennemsnit af 4 afgrøder.
N difference in relation to time at varying application of N, P and K. Average of 4 crops.

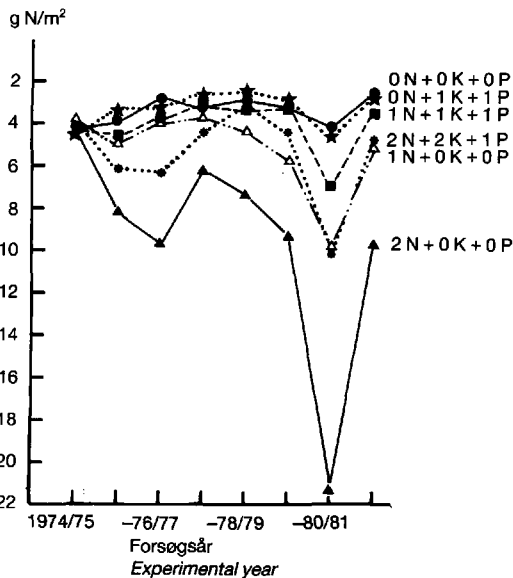


Fig. 5. Forløbet af N-nedvaskning ved variende gødskning. Gennemsnit af 4 afgrøder.
Leaching of N in relation to time at varying application of N, P and K. Average of 4 crops.

Der var en svag virkning af P-tilførsel på optagelsen, hvorimod nedvaskningen var upåvirket. Optagelsen af P var ved de fleste kombinationer af P-, N- og K-tilførsel 2-300 gange større end nedvaskningen. Da P kun fjernes fra jorden ved planteoptagelse og nedvaskning, må der uden P-tilførsel være sket en tilsvarende nedgang i jordens P-indhold, mens tilførsel af P har bevirket en stigning i jordens P-indhold.

N-tilførsel havde en langt større virkning på afgrødernes P-optagelse end P-tilførslen, tabel 4. Dette er i overensstemmelse med jordens gode P-tilstand ved forsøgets anlæg, se tabel 1. Jorden har stort set indeholdt de nødvendige P-mængder, hvorimod N generelt var det udbyttebegrænsende næringsstof. N-tilførsel har derfor øget plantevæksten og dermed også optagelsen af P.

P-optagelsen var mindre end tilførslen ved alle P-, N- og K-kombinationer. P-optagelsen var mest stabil ved tilførsel af både N og K (se variationskoefficienterne i tabel 4).

Ligesom P fjernes K fra jorden alene gennem planteoptagelse og nedvaskning. Uden K-tilførsel har disse processer i gennemsnit medført en årlig nedgang i jordens K-indhold varierende fra 11 til godt 17 g K pr. m², tabel 5.

Tilførslen af 1 K var ikke tilstrækkelig til at opretholde jordens K-indhold, når der samtidig tilførtes N. Først ved tilførsel af 2 K har jordens K-balance været positiv, forudsat der tilførtes mindre end 2 N, idet jordens K-balance igen blev negativ ved det højeste N-niveau (2 N).

Uden N-tilførsel var K-optagelsen mindre end tilførslen. Det samme var tilfældet ved kombinationen 2 K + 1 N, mens der ved de øvrige kombinationer af N og K var balance eller større K-optagelse end tilførsel. Der var således en betydelig positiv virkning af både N- og K-tilførsel på K-optagelsen. K-optagelsen var mest stabil ved tilførsel af 2 K samtidig med N (se variationskoefficienterne i tabel 5).

Kvantitativt steg K-nedvaskningen med stigende K-tilførsel, men mernedvaskningen var mindst, hvor der samtidig tilførtes N.

K-optagelsen var fra ca. 4 til 15 gange så stor som nedvaskningen, afhængig af næringsstoffkombinationen.

Na-, Ca- og Mg-oppørelser

Næringsstofferne Na, Ca og Mg indgik ikke som forsøgsbehandlinger og er derfor kun tilført som eventuelle følgestoffer med N-, P- og K-gødning.

Table 4. Udbytte og P-balance ved N-, P- og K-tilførsel. Gns. af 1.–8. forsøgsår og 4 afgrøder samt variationskoefficienten for årene, CV.

Yield and P balance in relation to application of N, P and K. Average of 1st–8th experimental year and 4 crops and the coefficient of variation between years, CV.

P-niveau <i>P level</i>	N-niveau <i>N level</i>	K-niveau <i>K level</i>	Udbytte <i>Yield</i>		Tilførsel <i>Application</i>	Optagelse <i>Uptake</i>		Meroptagelse ¹⁾ <i>Uptake increase</i>		Nedvaskning <i>Leaching</i>		Difference ²⁾ <i>Difference</i>
			FE/m ² <i>Fodder units/m²</i>	CV		g P/m ²	CV	g P/m ²	CV	g P/m ²	CV	
0	0	0	0,5	33	0,0	1,5	27	–	–	0,01	44	–1,5
		1	0,6	28	0,0	1,7	22	–	–	0,01	60	–1,7
		2	0,6	27	0,0	1,6	19	–	–	0,01	59	–1,7
	1	0	1,0	30	0,0	2,5	22	–	–	0,01	51	–2,5
		1	1,1	15	0,0	2,7	16	–	–	0,02	33	–2,7
		2	1,2	10	0,0	2,9	12	–	–	0,01	60	–2,9
	2	0	1,1	37	0,0	2,8	29	–	–	0,01	57	–2,8
		1	1,3	16	0,0	3,1	18	–	–	0,01	62	–3,1
		2	1,4	14	0,0	3,3	18	–	–	0,01	53	–3,3
	Gns. <i>Average</i>			1,0	39	0,0	2,4	32	–	–	0,01	51
1	0	0	0,6	27	5,0	1,7	19	0,2	68	0,01	61	3,3
		1	0,6	24	5,0	1,8	18	0,1	91	0,01	69	3,2
		2	0,6	28	5,0	1,8	22	0,1	97	0,01	60	3,2
	1	0	0,9	33	5,0	2,8	21	0,3	43	0,01	52	2,2
		1	1,2	13	5,0	3,2	12	0,5	20	0,01	65	1,8
		2	1,2	13	5,0	3,3	13	0,5	37	0,01	55	1,7
	2	0	1,1	34	5,0	3,1	23	0,3	61	0,01	58	1,9
		1	1,4	16	5,0	3,8	12	0,7	32	0,01	58	1,2
		2	1,5	11	5,0	3,9	13	0,6	28	0,02	37	1,1
	Gns. <i>Average</i>			1,0	39	5,0	2,8	33	0,4	66	0,01	57

¹⁾ Optagelse ved P-tilførsel – de pågældende led uden P-tilførsel.

Uptake from P fertilized plots – the correspondent plots without P application.

²⁾ Tilført – (optaget + nedvasket). *Application – (uptake + leaching).*

gerne. Der kan derfor ikke foretages tilsvarende balanceopgørelser som for N, P og K.

I tabel 6 er vist den gennemsnitlige optagelse og nedvaskning for de tre mikronæringsstoffer i relation til kombinationerne af N, P og K.

Ved alle N-, P- og K-kombinationer var nedvaskningen af Ca langt større end planteoptagelsen (3–10 gange), og uden N-tilførsel var nedvaskningen af Na og Mg større end optagelsen. Ved N-tilførsel var afgrødernes Mg-optagelse lige så stor som eller større end nedvaskningen.

Optagelsen af Na faldt, og nedvaskningen steg med stigende K-tilførsel, tabel 6. Konkurrencen mellem Na- og K-optagelsen i planterne har således i forsøget påvirket Na-nedvaskningen.

Det fremgår endvidere af tabel 6, at N-tilførsel øgede optagelsen i forhold til nedvaskning for alle

tre mikronæringsstoffer. Tilførsel af det udbyttebegrænsende næringsstof N har således medført en relativt bedre planteudnyttelse af Na, Ca og Mg i forhold til nedvaskningen af de tre mikronæringsstoffer. Det skyldes dels øget optagelse og mindre nedvaskning (Na) og dels øget optagelse og uændret nedvaskning (Ca og Mg) ved N-tilførsel.

Konklusioner

Optagelsen af N (indhøstet N) stiger omtrent lineært med N-tilførslen ved en afbalanceret næringsstofftilførsel. Dvs. at udnyttelsen af det tilførte N i et sædskifte som det anvendte er næsten uændret, inden for de tilførte N-mængder.

Ved balanceret N-, P- og K-tilførsel stabiliseres udbytte og N-optagelse med tiden på et givet ni-

Tabel 5. Udbytte og K-balance ved N-, P- og K-tilførsel. Gns. af 1.–8. forsøgsår og 4 afgrøder samt variationskoefficienten for årene, CV.

Yield and K balance in relation to application of N, P and K. Average of 1st–8th experimental year and 4 crops and the coefficient of variation between years, CV.

K-niveau K level	N-niveau N level	P-niveau P level	Udbytte Yield				Merudbytte ¹⁾ Yield increase		Mer-optagelse ¹⁾ Uptake increase				Nedvaskning Leaching		Mer-nedvaskning ¹⁾ Leaching increase		Diffe- rence ²⁾ Diffe- rence
			FE/m ² Fodder units/m ²	CV	FE/m ² Fodder units/m ²	CV	Tilførsel Application g K/m ²	Optagelse Uptake g K/m ²	CV	g K/m ²	CV	g K/m ²	CV	g K/m ²	CV	g K/m ²	
0	0	0	0,5	33	–	–	0,0	9,0	41	–	–	2,2	33	–	–	–11,2	
		1	0,6	27	–	–	0,0	10,0	32	–	–	2,4	33	–	–	–12,4	
	1	0	1,0	30	–	–	0,0	14,2	55	–	–	1,7	36	–	–	–15,9	
		1	0,9	33	–	–	0,0	13,4	56	–	–	1,9	37	–	–	–15,3	
	2	0	1,1	37	–	–	0,0	15,6	59	–	–	1,8	35	–	–	–17,4	
		1	1,1	34	–	–	0,0	14,6	60	–	–	1,8	36	–	–	–16,3	
Gns. Average			0,9	42	–	–	0,0	12,8	56	–	–	2,0	35	–	–	–14,8	
1	0	0	0,6	28	0,1	42	15,6	12,5	27	3,5	17	2,6	32	0,4	40	0,5	
		1	0,6	24	0,0	146	15,6	11,8	26	1,8	40	2,8	31	0,4	61	0,9	
	1	0	1,1	15	0,2	108	15,6	22,1	20	7,9	59	2,0	35	0,3	65	–8,5	
		1	1,2	13	0,2	86	15,6	22,5	18	9,1	45	2,3	35	0,4	36	–9,2	
	2	0	1,3	16	0,2	105	15,6	24,2	25	8,6	46	1,9	35	0,1	150	–10,5	
		1	1,4	16	0,3	66	15,6	24,6	26	10,0	28	1,9	35	0,1	98	–10,9	
Gns. Average			1,0	35	0,2	111	15,6	19,6	36	6,8	64	2,2	35	0,3	74	–6,3	
2	0	0	0,6	27	0,0	52	31,2	11,9	27	2,9	30	3,0	29	0,8	49	16,3	
		1	0,6	28	0,0	143	31,2	12,5	29	2,5	44	3,5	32	1,2	71	15,1	
	1	0	1,2	10	0,2	83	31,2	26,9	12	12,7	45	2,2	34	0,5	51	2,0	
		1	1,2	13	0,3	86	31,2	28,2	14	14,8	39	2,4	29	0,5	31	0,5	
	2	0	1,4	14	0,3	86	31,2	31,9	15	16,3	40	2,2	30	0,4	34	–2,9	
		1	1,5	11	0,4	62	31,2	33,9	13	19,3	29	2,3	31	0,5	37	–5,0	
Gns. Average			1,1	37	0,2	107	31,2	24,2	40	11,4	70	2,6	35	0,6	71	4,3	

¹⁾ Udbytte, optagelse og nedvaskning ved K-tilførsel – de pågældende led uden K-tilførsel.

Yield, uptake and leaching from K fertilized plots – the correspondent plots without K application.

²⁾ Tilførsel – (optagelse + nedvaskning). *Application – (uptake + leaching).*

veau, afhængig af næringsstofftilførslen. N-optagelsen varierer relativt mere end udbyttet ved afbalancerede ændringer i N-tilførslen.

Den samlede N-nedvaskning stiger med N-tilførsel. Nedvaskningsstigningen er relativt mindre end stigningen i N-tilførsel, pga. af baggrunds-nedvaskningen fra jordens eget lager af N (nedvaskningen fra jord uden N-tilførsel). Mernedvaskningen, dvs. nedvaskningen som følge af N-tilførsel (beregnet som den samlede nedvaskning minus baggrunds-nedvaskningen), udgør en større del af den samlede nedvaskning ved høj end ved lav N-tilførsel. Mernedvaskningen af N er størst, når der ikke tilføres P og K, dvs. ved underskud af andre væsentlige næringsstoffer.

Uden N-tilførsel falder N-nedvaskningen med tiden. Ved høj N-tilførsel stiger N-nedvaskningen med tiden.

N-nedvaskningen i et sædskifte påvirkes både af den forudgående, den aktuelle samt den efterfølgende afgrøde. Græsudlæg i byg nedsætter således nedvaskningen af N efter høst af byggen. Modsat kan nedpløjning af græs forud for såning af vinterhvede sandsynligvis øge nedvaskningen efter høst af hveden.

Ved en god P-tilstand i jorden er der kun svag virkning af P-tilførsel på optagelsen og ingen virkning på P-nedvaskningen. Både K-optagelse og -nedvaskning stiger derimod med K-tilførsel.

Tabel 6. Na-, Ca- og Mg-balance ved N-, P- og K-tilførsel. Gns. af 1.-8. forsøgsår og 4 afgrøder samt variationskoefficienten for årene, CV.

Na, Ca and Mg balance in relation to application of N, P and K. Average of 1st-8th experimental year and 4 crops and the coefficient of variation between years, CV.

N-niveau N level	K-niveau K level	P-niveau P level	Na				Ca				Mg			
			Optagelse Uptake		Nedvaskning Leaching		Optagelse Uptake		Nedvaskning Leaching		Optagelse Uptake		Nedvaskning Leaching	
			g Na/m ²	CV	g Na/m ²	CV	g Ca/m ²	CV	g Ca/m ²	CV	g Mg/m ²	CV	g Mg/m ²	CV
0	0	0	0,8	22	2,8	39	2,8	27	28,9	30	1,0	37	1,3	39
		1	0,8	22	3,0	42	3,1	21	36,0	27	1,1	33	1,6	31
	1	0	0,7	27	3,3	34	3,4	32	32,4	28	1,1	40	1,4	34
		1	0,6	25	3,6	33	3,2	25	38,6	26	1,0	29	1,8	31
	2	0	0,6	16	3,7	32	3,1	25	37,7	27	1,0	33	1,7	29
		1	0,6	30	4,0	30	3,2	26	44,9	24	1,0	36	2,1	26
Gns. Average			0,7	27	3,4	35	3,1	26	36,4	29	1,0	33	1,6	33
1	0	0	2,1	18	1,9	52	7,0	15	30,1	32	1,8	35	1,2	36
		1	2,2	22	2,1	59	6,9	18	35,7	29	1,7	36	1,5	33
	1	0	1,6	17	2,5	42	7,4	16	31,0	31	1,9	30	1,3	37
		1	1,7	11	2,6	45	7,6	13	37,4	28	1,9	26	1,6	32
	2	0	1,3	12	2,9	37	6,7	11	33,3	29	1,8	21	1,5	33
		1	1,5	23	3,1	37	7,5	12	39,8	24	1,9	31	1,7	24
Gns. Average			1,7	25	2,5	45	7,2	15	34,5	29	1,8	29	1,5	33
2	0	0	2,5	16	1,8	60	9,4	22	33,7	33	2,1	41	1,4	35
		1	2,6	21	1,7	66	9,0	21	39,8	34	2,0	36	1,7	36
	1	0	2,1	9	2,2	50	9,9	9	32,9	32	2,2	24	1,3	34
		1	2,4	21	2,2	50	10,7	14	38,5	35	2,2	29	1,6	34
	2	0	1,9	13	2,6	37	9,6	9	36,1	29	2,2	24	1,6	28
		1	2,2	14	2,6	43	10,7	9	40,4	28	2,4	31	1,8	29
Gns. Average			2,3	19	2,2	50	9,9	15	36,9	31	2,2	30	1,6	32

N-tilførsel forøger optagelsen af både P og K og formindsker mernedvaskningen af K (dvs. nedvaskningen som følge af K-tilførsel), men har ingen indflydelse på P-nedvaskningen.

N-tilførsel medførte i forsøget en relativt forbedret udnyttelse af Ca, Mg, og Na, idet optagelsen blev øget i forhold til nedvaskningen. K-tilførsel formindsker derimod optagelsen af Na og øger nedvaskningen pga. konkurrencen mellem K- og Na-optagelse i planterne.

Litteratur

1. Addiscott, T. M. 1988. Long-term leakage of nitrate from bare unmanured soil. *Soil Use and Management* 4, 91-95.

2- Hansen, J. F., Klausen, P. Søndergård & Petersen, J. 1989. Lysimeterforsøg med kombinationer af kvælstof, fosfor og kalium i handelsgødning. II. Næringsstofnedvaskning. *Tidsskr. Planteavl* 93, 209-223.

3. Kjellerup, V., & Kofoed, A. Dam. 1983. Kvælstofgødsningens indflydelse på udvaskning af plantenæringsstoffer fra jorden. Lysimeterforsøg med anvendelse af ¹⁵N. *Tidsskr. Planteavl* 87, 1-22.

4. Klausen, P., Søndergaard & Hansen, J. F. 1988. Lysimeterforsøg med kombinationer af kvælstof, fosfor og kalium i handelsgødning. I. Udbytte og næringsstofoptagelse. *Tidsskr. Planteavl* 92, 249-263.

Manuskript modtaget den 13. juni 1990.