

**Kvælstofgødskningens indflydelse på udvaskning
af plantenæringsstoffer fra jorden
Lysimeterforsøg med anvendelse af ^{15}N**

*Nitrogen fertilization in relation to leaching of plant nutrients from soil.
Lysimeter experiments with ^{15}N*

V. Kjellerup og A. Dam Kofoed

	Side
INDHOLDSFORTEGNELSE	
Resumé	2
Summary	2
Indledning	3
Forsøgsbetingelser	3
Resultater	6
Tørstofudbytte	6
Kvælstofoptagelse	8
Nedbør og afstrømning	8
Kvælstofudvaskning	10
Kvælstofkoncentration i afstrømningsvandet	10
Optagelse af andre plantenæringsstoffer	14
Nedvaskning af andre plantenæringsstoffer	14
Bestemmelse af kvælstofoptagelse og -udvaskning ved hjælp af ^{15}N -mærket kvælstofgødning	15
Kvælstofoptagelse i afgrøden	16
Kvælstofoptagelse i rod- og stubrester	17
Kvælstofudvaskning	17
Kvælstofkoncentration	17
Kvælstofbalance i jorden	18
Sammenligning af mark- og lysimeterforsøg	19
Diskussion	19
Konklusion	22
Erkendtlighed	22
Litteratur	22

Resumé

I et 8-årigt lysimeterforsøg er sammenhængen mellem kvælstofgødning og udvaskning af kvælstof fra lerjord belyst.

I forsøget er som kvælstofgødning anvendt kalkammonsalpeter med undtagelse af et enkelt år, hvor der i stedet for i nogle af forsøgsleddene blev anvendt ren ammoniumnitrat, der havde såvel ammoniumdel som nitratdel mærket med den stabile kvælstof isotop ^{15}N . 15,03% af det totale kvælstof var tilstede som denne isotop.

Afgrøderne har været byg, vinterhvede, rød svingel og vårraps.

Tørstofudbyttet og kvælstofoptagelse fulgte den forventede virkning af kvælstoftilførsel.

Byg har optaget fra 53–57% af det tilførte kunstgødningskvælstof, stigende med øget kvælstoftilførsel. I den efterfølgende afstrømningsperiode er der fundet ca. 3% af det tilførte kunstgødningskvælstof i gennemsnitsvandsvandet. Det viste sig endvidere, at der optages 14–30% mere af jordens kvælstofreserve, når tilførslen af kunstgødningskvælstof øges i forhold til ugødet.

En samlet kvælstofbalance efter 3 års forløb på grundlag af det tilførte mærkede kvælstof viste følgende: 58% optaget i afgrøden, 21% fastlagt i jorden, 5% udvasket med drænvandet, medens resten må antages at være denitrificeret og afgivet til atmosfæren i form af luftformigt kvælstof.

Udvaskning af plantenæringsstoffer er afhængig af mængden af gennemsnitsvandsvand.

Ved tilførsel af optimale kvælstofmængder skulle der efter høst væsentlig mere nedbør til at »fylde« jorden til markkapacitet, end hvor der ikke var tilført kvælstof.

Når der blev anvendt optimale gødningsmængder, oversteg nitrat-N-koncentrationen i det nedsivede og opsamlede vand ikke kontrollereddets værdier ret meget.

Der blev nedvasket væsentlig mere nitrat efter en kornafgrøde end efter græsdækket jord.

Nitrat-N-koncentrationen i gennemsnitsvandsvandet fra græsdækket jord viste en variation på 0–5 ppm $\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/l) for normalgødede led, hvorimod der efter kornafgrøder er målt koncentrationer fra 5–20 ppm i tilsvarende led.

Medens der med afgrøden er bortført stigende mængder plantenæringsstoffer med øget kvælstoftilførsel, blev udvaskning af andre næringsstoffer ikke påvirket af kvælstofgødskningen.

Nøgleord: Kvælstof, ^{15}N , drænvand, lysimeterforsøg, N-balance.

Summary

The effect of nitrogen fertilization with CAN (Nitro-Chalk) on the nitrogen content of drainage water has been examined. During 1973–1981 the experiment was carried out with loam soil in lysimetres cropped with barley, summer rape, wheat and grass (red fescue). The lysimetres are reinforced glass fiber tanks, which are unaffected by soil water. The treatment including increasing amounts of CAN (0–30 g N/m^2) were run in duplicate.

In 1974 pure double-labelled ammonium nitrate 15.03 atom per cent was used instead of CAN in 3 of the plots.

Dry matter yields and N-uptake by the plants followed the expected trends for increasing N-fertilization.

The percentage of the added N taken up by the plant showed a slight increase with increased N-addition (from 53 to 58%).

Increased N-fertilization resulted in a 14–30% higher uptake of N from the soil reserve. This observed apparent »priming effect« seems to arise from of more thorough search of the soil volume by a better developed root system of the fertilized plant. This assumption is supported by measurements of the water (consumption) balance. When N was added more precipitation was needed to fill the soil to field capacity.

At and below the optimum level of N-fertilization, 11–15 g N/m², the concentration of NO₃-N in the leached water was generally little influenced by the level of N applied. For normal N-doses, the NO₃-N content of the leached water was 0–5 ppm when soil was grass covered, whereas the content ranged from 5 to 20 ppm when grain crops were grown (soil laid fallow in the run-off season).

An N-balance based on data from the first 3 years shows that 58% was removed by plants, 5% by leaching and 21% was immobilised in the soil. N unaccounted for 16% is assumed to have been lost by denitrification.

Leaching of other plant nutrients was not influenced by the level of N-fertilization.

Key words: Nitrogen, ¹⁵N, drainage water, lysimeter experiment, N-balance, Priming effect.

Indledning

Siden 1972 er der ved Askov forsøgsstation gennemført markforsøg på lerjord for at finde sammenhængen mellem anvendelse af stigende mængde kvælstofgødning og kvælstofudvaskning.

Resultater fra de 5 første forsøgsår er publiceret i beretning nr. 1465 fra Statens Planteavlsskole (Kjellerup & Kofoed, 1979).

I 1973 anlagdes ved Askov et lysimeterforsøg med jord fra samme areal, som markforsøget gennemførtes i. I lysimeterforsøget er i et vist omfang anvendt den stabile kvælstofisotop ¹⁵N for ved hjælp af denne at belyse kvælstofoptagelse og udvaskning af tilført kvælstof og eftervirkningen deraf.

Ved lysimeterforsøg kan hele den gennemsnitlige vandmængde og dermed den totale næringsstofudvaskning, der finder sted fra rodzonen, måles i modsætning til markforsøg, hvor kun en del af den afstrømmende overskudsnedbør kan registreres gennem måling af drænvandet.

Denne beretning omfatter resultater fra lysimeterforsøget for årene 1973–81.

Forsøgsbetingelser

Metodik

Til forsøget er der anvendt 12 lysimeterkar, hvori der i efteråret 1973 lagvis blev placeret jord fra Sdr. Stenderup. Teksturanalyse fremgår af tabel 1.

Det ses, at det er lerjord med 17% ler i pløjelaget og ca. 24% ler i undergrunden (30–100 cm dybde).

I tabel 2 er anført resultater fra jordbundsanalyser ved forsøgets anlæg.

Tabel 1. Texturanalyse af jord i lysimeterforsøg, 1973
Texture of the soil, 1973

Dybde i cm Depth, cm	Ler Clay	Silt Silt	Finsand Fine sand	Grovsand Coarse sand
0–30	17,0	24,5	36,8	21,7
30–100	23,5	23,0	32,6	20,9

Tabel 2. Jordbundsanalyse i lysimeterforsøg, 1973
Soil indices, lysimeter experiment, 1973

Dybde, cm Depth, cm	Rt	Kt	Ft	Mgt	Cat
0–30	7,6	12,0	7,4	6,2	300
30–100	7,7	9,6	4,8	12,2	465

Lysimeteranlægget består af en underjordisk gang, hvor beholdere til opsamling af gennemsnitlig vand fra lysimeterkarrene er placeret.

På hver side af gangen, som er støbt i armeret beton, er anbragt to rækker lysimeterkar, 124 i alt. Loftet i den underjordiske gang er isoleret for at modvirke dannelse af kondensvand, og ligeledes er der anbragt termostattyrede varmeaggregater for at undgå frost.

I fig. 1 er vist et snit af lysimeteranlæg, hvor der for overskuelighedens skyld kun er tegnet et kar på hver side af gangen.

Lysimeterkarret er cirkulært og fremstillet af glasfiberarmeret polyester, som er indifferent over for jord og jordvæske. Det har en diameter på 1,03 m (areal 0,83 m²) og er 1,5 m dybt. De nederste 25 cm består af en studs, 10 cm i diameter. På studsen er fastspændt en armeret plast-

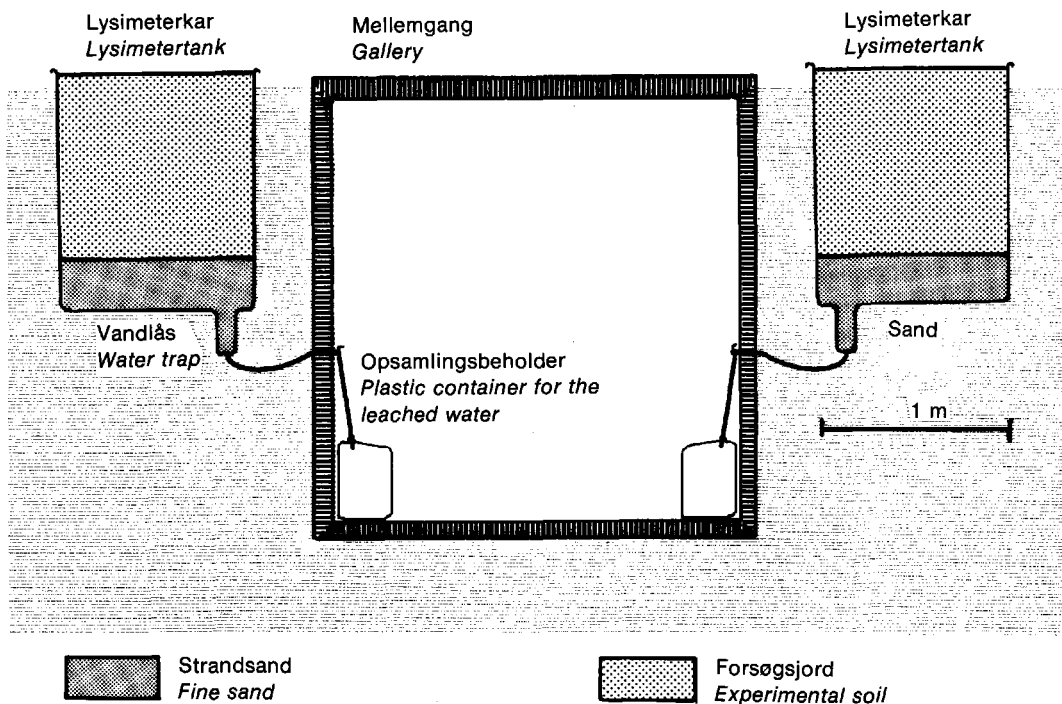


Fig. 1. Snit af lysimeteranlæg
Sectional view of lysimeter installation.

slange, som fører ud til den underjordiske gang, hvor nedrivningsvandet opsamles i 25 l dunke.

For at undgå indtrængning af atmosfærisk luft i bunden af karret er drænslangen placeret, så den danner en vandlås.

I tuden og de nederste 25 cm af karret er anbragt fint strandsand, der giver en hensigtsmæssig afdræning af den overliggende forsøgsjord (Kristensen & Aslyng, 1971).

Forsøgsplan

Forsøget omfattede 6 forsøgsled med 2 gentagelser. Leddenes placering fremgår af fig. 4.

Den tilførte kvælstofmængde var afpasset efter afgrøderne, der fulgte sædfølgen i det tilsvarende markforsøg.

Led	Kvælstofmængde, g N/m ²		
	Byg Barley	Hvede og vårraps Wheat and Summer rape	Rød svingel Red fescue
0 N			Samme mængde
¼ N	2,7	3,7	som byg
½ N	5,5	7,5	½ mængde efterår
1 N	11,0	15,0	Same amount
2 N	16,5	22,5	as for barley
3 N	22,0	30,0	½ amount in autumn

Der er hvert år grundgødnet med 2,7 g P og 7,1 g K pr. m².

Forsøgsgødningen, kalkammonsalpeter, blev udbragt umiddelbart før kornsåningen.

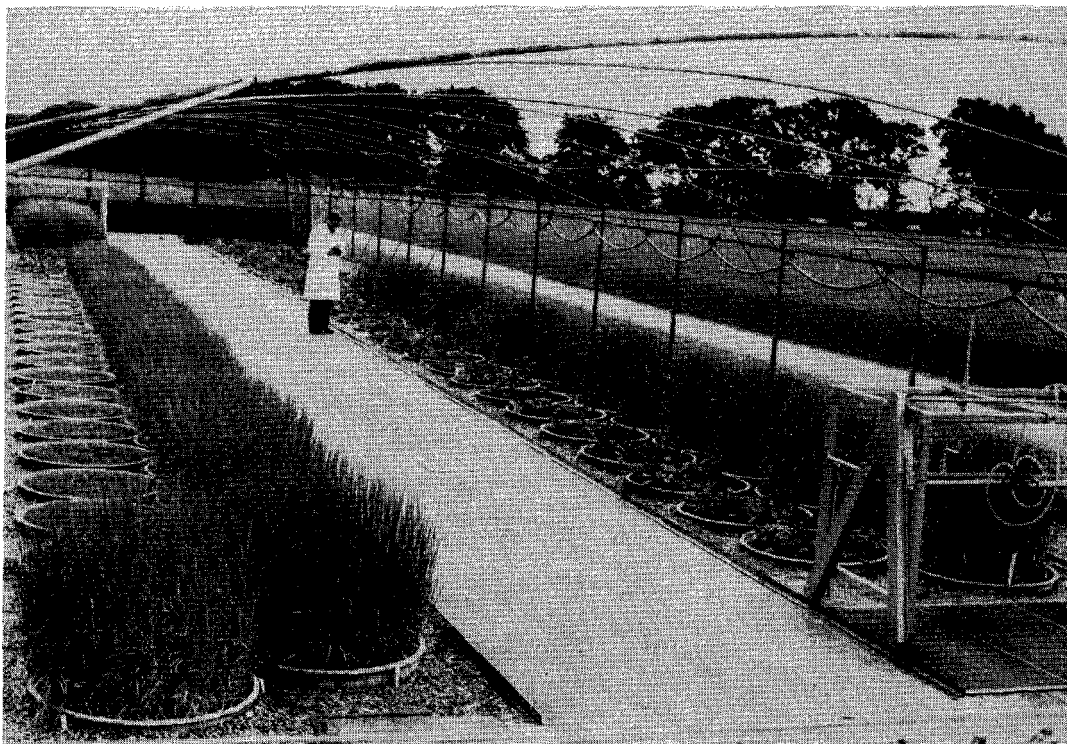


Fig. 2. Lysimeteranlæg ved Askov.
Lysimeterinstallation at Askov.

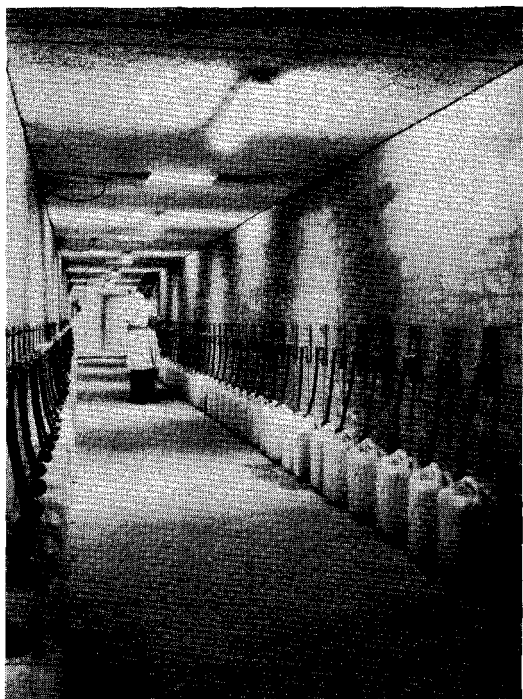


Fig. 3. Mellemgang med opsamlingsbeholdere.
Gallery with plastic bottles.

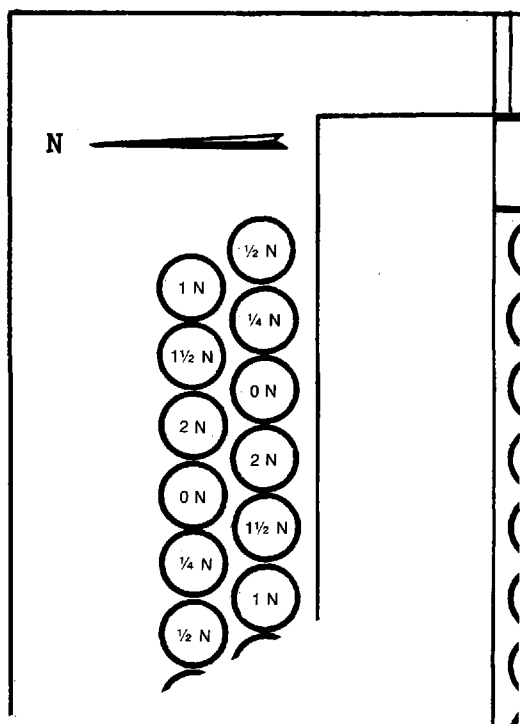


Fig. 4. Skitse af forsøgssleddenes placering i lysimeter-anlægget.

Sketch of the plots location in the lysimeter plant.

I 1974 blev anvendt ren ammoniumnitrat, hvor såvel ammoniumdel som nitratdel var mærket med den stabile kvælstofisotop ^{15}N . 15,03% af det totale kvælstof var til stede som denne isotop. Denne kvælstofgødning blev tilført led $\frac{1}{2}$, 1 og $1\frac{1}{2}$ N efter såning.

Analyser

Analyser af afgrøde og drænvand er foretaget på laboratoriet ved Askov forsøgsstation.

Afgrøden er analyseret for total-N (Kjeldahl), P (ammoniumvanadatmetode), K, Na, Ca og Mg (atomabsorptionsflamme fotometri), og i drænvand er bestemt $\text{NO}_3\text{-N}$ (auto analyzer), vandopløselig P (ascorbinsyremetode), Cl (elektrometrisk titrering med AgNO_3), K, Na, Ca og Mg (samme metode som afgrøden) $\text{SO}_4\text{-S}$ (titreringsanalyse, indikator, thorin) desuden er bestemt

Øversigt over afgrøderne i forsøgssårene

År Year	Afgrøde Crops	Sort Variety	Sådato Date of sowing
1974	Byg Barley	Nordal	15/03
1975	Byg Barley	Georgia	24/03
1976	Vårraps Summer rape	Line	14/04
1976/77	Hvede Wheat	Solid	22/09
1978	Byg m/udl. af rød svingel Barley with red fescue	Georgia	19/04
1979	Rød svingel Red fescue	Rubina	
1980	Rød svingel Red fescue	Rubina	
1981	Hvede Wheat	Solid	01/10

HCO_3^- og ledningsevne (mho). På Centralanalytisk Laboratorium i Vejle er der endvidere analyseret for Cu, Cd, Pb, Ni, Cr, Mn og Co (atomabsorption, grafitovn). F (selektiv elektrode) er bestemt på Statens Planteavlslaboratorium i Lyngby. Til kontrol af analyseresultaterne fra hver vandprøve er der foretaget beregning af anionkation balance.

Analyse af ^{15}N er udført på Risø på massepektrometer.

Resultater

Tørstofudbytte

Udbytte af kerne/frø og halm for de forskellige afgrøder og i de enkelte år er vist i tabel 3.

Det ses, at der i byg og hvede har været stigende kerneudbytte helt op til den største kvælstofmængde, dog er hvedeudbyttet i 1977 kun stigende til næstsidsste kvælstoftrin. Det samme gælder for rød svingel 1979, men hvor der dog i 1980 er stigende frøudbytte selv efter den største kvælstofmængde. Det bemærkes, at generelt er frøudbyttet i rød svingel lavt. For frø af vårraps er linien ikke helt den samme, idet frøsætningen her har været meget uensartet.

Halmudbyttet i raps har i lighed med de øvrige afgrøder været stigende med øget gødskning.

Tabel 3. Tørstofudbytte, g/m². Lysimeterforsøg 1974-81
Yield of dry matter, g/m²

	0 N	¼ N	½ N	1 N	1½ N	2 N**)
1974 byg, barley						
Kerne, grain	238	383	484	644	738	783
Halm, straw	261	422	524	710	789	887
Tørstofudbytte i alt	499	805	1008	1354	1527	1670
Dry matter total						
1975 byg, barley						
Kerne, grain	239	414	511	604	711	748
Halm, straw	222	393	465	624	649	717
Tørstofudbytte i alt	462	808	976	1228	1360	1465
Dry matter total						
1976 vårraps, summer rape						
Frø, seeds	53	72	52	62	51	70
Halm, straw	300	466	621	709	764	755
Tørstofudbytte i alt	353	538	673	771	815	825
Dry matter total						
1977 hvede, wheat						
Kerne, grain	250	334	474	753	830	816
Halm, straw	316	538	770	926	1138	1254
Tørstofudbytte i alt	566	872	1244	1679	1968	2070
Dry matter total						
1978 byg, barley						
Kerne, grain	179	304	386	558	697	755
Halm, straw	157	245	318	442	570	674
Tørstofudbytte i alt	336	549	704	1000	1267	1429
Dry matter total						
1979 rød svingel, red fescue						
Frø, seeds	7	14	17	25	40	38
Halm, straw	370	564	728	788	862	842
Afpudsning, grass	49	62	59	61	63	47
Tørstofudbytte i alt	426	640	804	874	965	927
Dry matter total						
1980 rød svingel, red fescue						
Frø, seeds	4	7	12	23	43	61
Halm, straw	268	418	585	785	836	901
Tørstofudbytte i alt	272	425	597	808	879	962
Dry matter total						
1981 hvede, wheat						
Kerne, grain	131	227	323	616	748	969
Halm, straw	287	561	919	1225	1417	1529
Tørstofudbytte i alt	418	788	1242	1841	2165	2498
Dry matter total						

**) 1 N 110 kg N/ha til byg og rød svingel, 150 kg N/ha til vårraps og hvede
1 N 110 kg N/ha to barley and red fescue, 150 kg N/ha to summer rape and wheat

Tabel 4. Procentisk kvælstofindhold i kerne/frø og halm. 1974–81
Total N-content in dry matter, grain/seeds and straw

		0	¼	½	1	1½	2*)
<i>Kerne/frø, grain/seeds</i>							
1974	Byg <i>Barley</i>	1,35	1,24	1,19	1,26	1,48	1,54
1975	Byg <i>Barley</i>	1,32	1,23	1,25	1,42	1,72	1,94
1976	Vårraps <i>Summer rape</i>	3,45	3,30	3,59	3,81	4,20	4,36
1977	Hvede <i>Wheat</i>	1,58	1,29	1,27	1,42	1,72	1,89
1978	Byg <i>Barley</i>	1,28	1,27	1,25	1,29	1,37	1,52
1979	Rød svingel <i>Red fescue</i>	2,12	2,20	2,20	2,24	2,28	2,19
1980	Rød svingel <i>Red fescue</i>	2,04	2,11	2,50	2,25	2,33	2,56
1981	Hvede <i>Wheat</i>	1,66	1,43	1,30	1,47	1,69	1,90
<i>Halm, straw</i>							
1974	Byg <i>Barley</i>	0,40	0,36	0,38	0,41	0,51	0,53
1975	Byg <i>Barley</i>	0,28	0,29	0,32	0,34	0,42	0,46
1976	Vårraps <i>Summer rape</i>	0,62	0,51	0,58	0,72	0,99	1,35
1977	Hvede <i>Wheat</i>	0,26	0,25	0,26	0,41	0,43	0,64
1978	Byg <i>Barley</i>	0,59	0,44	0,40	0,39	0,38	0,48
1979	Rød svingel <i>Red fescue</i>	0,68	0,76	0,78	0,91	0,92	0,85
1980	Rød svingel <i>Red fescue</i>	0,75	0,68	0,73	0,90	0,96	1,15
1981	Hvede <i>Wheat</i>	0,48	0,45	0,44	0,42	0,48	0,49

*) 1 N 110 kg N/ha til byg og rød svingel, 150 kg N/ha til vårraps og hvede
 1 N 110 kg N/ha to barley and red fescue, 150 kg N/ha to summer rape and wheat

Kvælstofoptagelse

Tabel 4 viser det procentiske kvælstofindhold i de forskellige afgrøder.

Kvælstofindholdet er højere i det ikke kvælstofgødede led end efter anvendelse af de mindre kvælstofmængder, men efter større kvælstofmængder er der en klar stigning. Stigningen er relativt størst i kerne og frø. Det bemærkes, at der er ganske meget kvælstof i rapsfrø.

Kvælstofoptagelsen i afgrøderne er vist i tabel 5.

Det ses, at uden kvælstofanvendelse er der bortført 3,2–4,3 g N/m² svarende til 32–43 kg N/ha i byg og 32–48 g N/ha i hvede.

Efter anvendelse af den største kvælstofmængde er der bortført 14,8–17,8 g N/m² svarende til 148–178 kg N/ha i byg og 234 kg N/ha i hvede.

Nedbør og afstrømning

Ud over den naturlige nedbør blev der givet demineraliseret vand efter behov i vækstperioden.

Nedbør, vanding, afstrømning og fordampning

Tabel 5. Kvælstofoptagelse i kerne og halm, g N/m². Lysimeterforsøg 1974-81
N-uptake in grain and straw, g N/m²

	0 N	¼ N	½ N	1 N	1½ N	2 N
1974 Byg Barley	4,3	6,3	7,7	11,0	14,9	16,8
1975 Byg Barley	3,9	6,3	7,9	10,6	15,0	17,8
1976 Vårraps Summer rape	3,7	4,7	5,4	7,5	9,7	13,2
1977 Hvede Wheat	4,8	5,7	8,1	14,5	19,3	23,4
1978 Byg Barley	3,2	5,0	6,1	8,9	11,7	14,8
1979 Rød svingel Red fescue	3,4	5,7	7,2	8,9	10,0	8,9
1980 Rød svingel Red fescue	2,1	3,0	4,6	7,6	9,0	11,9
1981 Hvede Wheat	3,2	4,8	7,0	12,7	17,6	23,4

i tiden fra 1. april til 31. marts det efterfølgende år er vist i tabel 6.

De anførte tal for afstrømning og fordampning er fra normalt gødede led, 1 N.

Som det fremgår af tabellen, er der betydelige forskelle imellem årene i nedbør, vanding og af-

strømning. Fordampning beregnet som difference mellem de målte værdier er ca. 500 mm for de 3 første perioder, hvilket er ca. 100 mm mere end fundet af Bennetzen (1978) i markforsøg på tilsvarende jord.

I 1977/78 og 1980/81 med den store nedbørs-

Tabel 6. Nedbør, vanding, afstrømning og fordampning, mm 1/5-30/4. Lysimeterforsøg 1974-81
Precipitation, irrigation, leaching water and evaporation, mm 1/5-30/4

	Nedbør precipitation	Vanding irrigation	Afstrømning leaching water fra normalgødet led from normal fertilized plot	Fordampning evaporation
1974-75 Byg Barley	1024	80	627	477
1975-76 Byg Barley	697	56	240	513
1976-77 Vårraps Summer rape	747	98	347	498
1977-78 Hvede Wheat	999	25	407	617
1978-79 Byg + udlæg m. rød svingel Barley + Red fescue	733	13	376	370
1979-80 Rød svingel Red fescue	924	16	488	452
1980-81 Rød svingel Red fescue	1315	23	752	586
1981-82 Hvede Wheat	979	13	429	563

Tabel 7. Gennemsnitsvandsvand, mm, opsamlet i afstrømningsperioden. Gennemsnit af 8 år. Lysimeterforsøg 1974–82

Leaching water, mm, mean of 8 years

Led	0 N	¼ N	½ N	1 N	1½ N	2 N
mm	528	513	481	458	450	445

mængde, hvor afgrøden var henholdsvis hvede og rød svingel, er der registreret en relativ høj fordampning, ca. 600 mm.

I tabel 7 er vist mængden af opsamlet gennemsnitsvandsvand i de forskellige forsøgsled. Gennemsnit af 8 år.

Den stigende gødskning har bevirket større tørstofudbytte og dermed større vandforbrug, således at der efter høst skulle væsentlig mere nedbør til at »fylde« jorden til markkapacitet, hvor der var gødet kraftigst. Dette fremgår af fig. 5, som viser mængden af gennemsnitsvandsvand opsamlet ad 3 gange i afstrømningsperioden, gennemsnit fra 7 år.

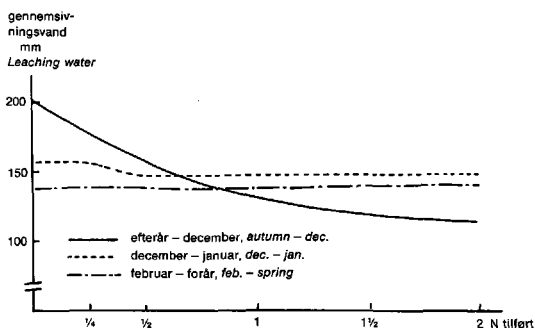


Fig. 5. Gennemsnitsvandsvand, mm, opsamlet i afstrømningsperioden. Gns. af 7 år, lysimeterforsøg.
Leaching water, mm. Mean of 7 years.

I fig. 6 er vist sammenhæng med kerneudbytte (85% tørstof) og mm vandforbrug. Der er ved beregning korrigeret for den aktuelle fordampning uden for vækstperioden september–april, hvor fordampningen er anslået til 90 mm.

Det fremgår af kurverne, at der bruges relativt meget vand for at producere 1 g kerne ved lavt udbyttensniveau. Som gennemsnit for kornafgrøder er der til produktionen af 800 g kerne/m² svarende til 80 hkg kerne/ha brugt ca. 5 mm vand pr. hkg.

Kvælstofudvaskning

Udvaskning af kvælstof er vist i tabel 8.

På grund af den større afstrømning fra de svagest gødede led (tabel 7) er der registreret relativt større kvælstofudvaskning herfra. Dette forhold ses specielt for perioden 1974/75. For de øvrige perioder er det først ved gødskning med stor kvælstofmængde (1½ N og 2 N), at kvælstofudvaskningen øges. Det ses endvidere, at der er målt størst N-udvaskning i 1975–76 trods lavest afstrømning.

For de år, hvor jorden har været plantedækket i afstrømningsperioden, hvede og rød svingel, har kvælstofudvaskningen været relativt lille.

Kvælstofkoncentration i afstrømningsvandet

I fig. 7 er vist den gennemsnitlige kvælstofkoncentration for afstrømningsperioden i relation til kvælstoftilførslen.

Det ses, at for de 3 af perioderne er der målt svagt stigende N-koncentration i gennemsnitsvandsvandet med stigende gødskning.

I 1975/76 har kvælstofkoncentrationen generelt været højere end for de øvrige perioder, desuden er der målt relativt stærkt stigende N-koncentration med stigende gødskning. Årsagen hertil må søges i det forhold, at der var en forholdsvis lille afstrømning i den pågældende periode (jf. tabel 6) og ret høj temperatur i august måned (ca. 4° højere end normalt).

Dette sammen med tilpas fugtighed har givet betingelser for en relativt større mineralisering af rod- og stubrester, hvilket har forøget kvælstofindholdet i gennemsnitsvandsvandet.

Den temmelig kraftige stigning i kvælstofkoncentrationen, hvor der er tilført de store mængder kvælstof i 1978–79, skyldes sandsynligvis, at noget af det kvælstof, som er givet til rød svingel i efteråret, ikke er optaget af de forholdsvis spæde

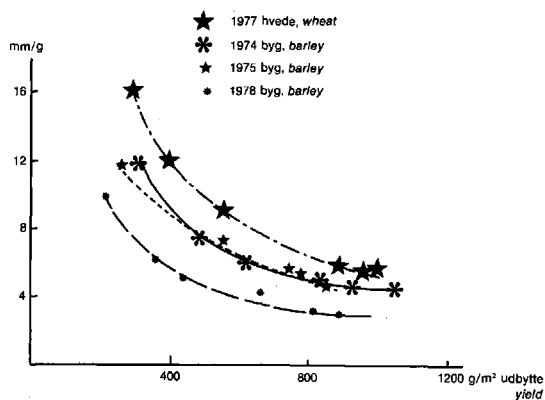


Fig. 6. Sammenhæng mellem vandforbrug og kerneudbytte, 85% tørstof, mm/g. Lysimeterforsøg 1974-79.
The relation between water consumption and grain yield, mm/g.

planter, men er nedvasket fra rodzonen, og dermed er kvælstofindholdet i gennemsnitsvandet forøget.

Hvor jorden har været plantet i afstrømningsperioden, har planterne været i stand til at optage det frigjorte kvælstof, hvorved kvælstofkoncentrationen i gennemsnitsvandet bliver lille.

Koncentrationen i gennemsnitsvandet i afstrømningsperioden har for kornafgrøderne og raps vist samme forløb, og som eksempel herpå er i fig. 8 vist variationen i løbet af afstrømningsperioden 1977/78.

Det ses, at ved brug af 1 N (normaldosering) er der i begyndelsen fundet lidt højere nitrat-N-koncentration end ved de lavere gødsningstrin (0 N, ¼ N, ½ N), som der i øvrigt ikke er signifikant forskel på. Ved de højere gødsningstrin (1½ N, 2 N) er der i begyndelsen, 23. november, målt op til 35 ppm NO₃-N. Men den 1. februar er koncentrationen faldet til omtrent samme niveau, 10 ppm, som i de øvrige led.

I løbet af afstrømningsperioden er nitrat vasket ned under rodzonen, således at det meste af det frigjorte nitrat ikke udnyttes.

Efter anvendelse af de små kvælstofmængder er der ikke »efterladt« ret meget kvælstof efter afgrødens høst. Det modsatte er tilfældet, hvor der er anvendt større kvælstofmængder end afgrøden har haft behov for.

Den stigende kvælstofgødskning har bevirket større rodmasse og højere kvælstofkoncentration i rodmassen, fig. 9, således at der er mulighed for frigørelse af mere kvælstof, hvor der er tilført store mængder kvælstofgødning.

Tabel 8. Kvælstofudvaskning, N g/m². Lysimeterforsøg 1974/75-1980/82
Leaching of N g/m²

	0 N	¼ N	½ N	1 N	1½ N	2 N
1974-75 Byg	6,8	6,5	6,4	6,1	6,6	6,5
Barley						
1975-76 Byg	5,6	5,8	5,8	6,5	7,5	9,6
Barley						
1976-77 Vårrops	2,2	2,0	2,0	2,5	3,7	5,5
Summer rape						
1977-78 Hvede	3,3	3,7	3,3	3,5	4,7	6,7
Wheat						
1978-79 Byg + græs	0,2	0,6	0,7	2,0	4,9	8,5
Barley + red fescue						
1979-80 Rød svingel	0,2	0,0	0,0	0,1	0,6	2,8
Red fescue						
1980-81 Rød svingel	1,0	1,5	2,1	2,3	1,9	2,4
Red fescue						
1981-82 Hvede	0,3	0,5	0,2	0,4	0,8	1,4
Wheat						

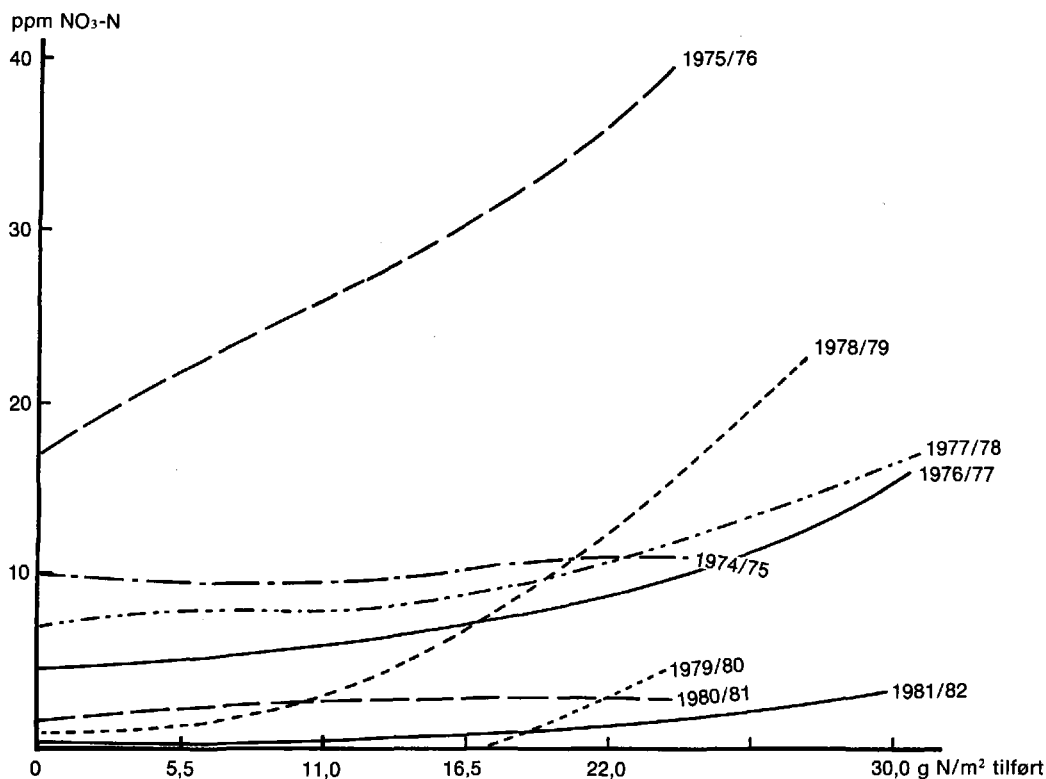


Fig. 7. $\text{NO}_3\text{-N}$ mg/l i nedslivningsvand. Gennemsnit for afstrømningsperioden. Lysimeterforsøg.
 $\text{NO}_3\text{-N}$ mg/l in the leaching water. Mean for the period of leaching.

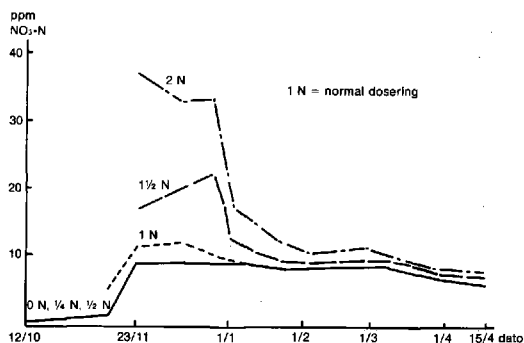


Fig. 8. Nitrat-N-koncentration i gennemslivningsvand, lysimeterforsøg 1977/78.
 $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration in leaching water.

Hvad plantedækket jord i afstrømningsperioden betyder for kvælstofkoncentrationen i gennemslivningsvand, fremgår af fig. 10, som viser variation i koncentrationen efter forskellige afgrøder. I figuren er vist resultaterne fra ugødet, normalgødet led og overgødskning.

Det ses, at der er ret lille variation i maksimumkoncentrationen for det normalgødede led efter afgrøderne vårraps, vinterhvede og byg, 12–18 ppm $\text{NO}_3\text{-N}$, medens koncentrationen i gennemslivningsvand for græsdekke jord, rød svingel, er væsentlig lavere, 0–5 ppm. I 1979 er der kun i 4 ud af 12 prøveudtagninger fundet nitrat-N i drænvandet.

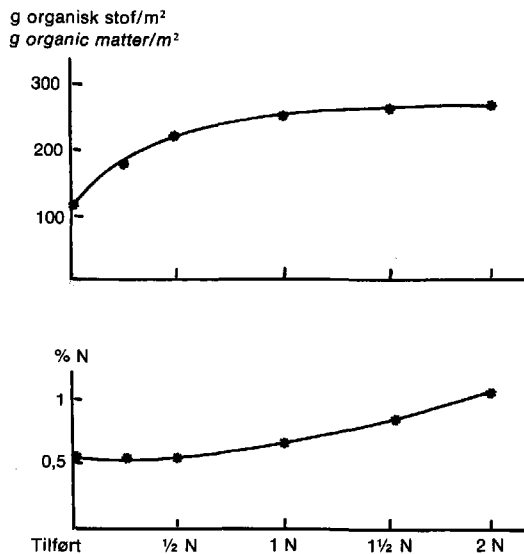


Fig. 9. Rod- og stubrester (organisk stof) i det øverste jordlag, g/m² og % N. Lysimeterforsøg.
Organic matter from the upper part of the soil, 0–20 cm, g/m² and % N.

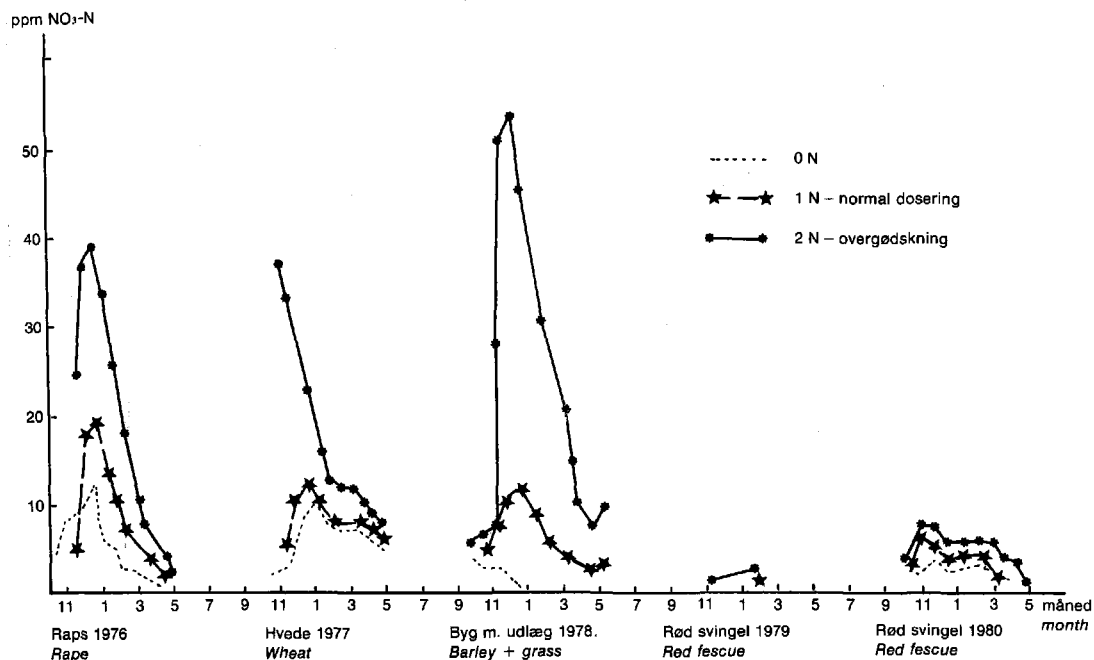


Fig. 10. Kvælstofkoncentration i gennemsvivningsvandet. Lysimeterforsøg 1976–81.
N-concentration in leaching water.

Tabel 9. Gennemsnitlig mineralstofbortførsel med afgrøderne, g/m². Lysimeterforsøg 1974-82
Mean removal of nutrients by crops, g/m²

	0 N	½ N	1 N	2 N	3 N	4 N
<i>Byg, barley</i>						
P	1,3	2,0	2,2	2,7	3,0	3,5
K	4,3	6,6	7,9	9,6	10,9	14,1
Ca	0,9	1,3	1,5	2,1	2,6	3,2
Mg	0,4	0,6	0,8	0,9	1,1	1,2
Na	0,2	0,2	0,3	0,5	0,7	1,2
<i>Vinterhvede, winter wheat</i>						
P	1,2	1,7	2,3	3,1	3,5	3,9
K	4,0	6,1	9,3	13,3	17,3	19,0
Ca	0,7	1,0	1,8	2,3	3,3	3,7
Mg	0,6	0,8	1,1	1,5	1,8	2,0
Na	0,0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4
<i>Vårraps, summer rape</i>						
P	0,6	0,9	1,2	1,1	1,3	1,4
K	4,6	7,5	9,8	11,8	13,4	14,6
Ca	6,1	8,6	8,1	7,1	7,5	7,5
Mg	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	0,9
Na	0,2	0,3	0,6	1,3	2,0	2,0
<i>Rød svingel, red fescue</i>						
P	0,7	1,0	1,4	1,7	1,9	2,2
K	5,1	7,7	11,3	15,1	16,4	18,3
Ca	1,4	2,2	2,9	3,7	3,7	4,0
Mg	0,3	0,4	0,6	0,7	0,7	0,8
Na	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1

Optagelse af andre plantenæringsstoffer

Generelt har bortførsel med afgrøden af fosfor, kalium, calcium, magnesium og natrium været stigende med stigende tørstofudbytte som en følge af stigende kvælstoftilførsel, jf. tabel 3.

I tabel 9 er vist den gennemsnitlige bortførsel med de forskellige afgrøder.

Det procentiske indhold i afgrøden har specielt for fosfors vedkommende været højt for det grundgødede led sammenlignet med de øvrige led, hvilket fremgår af fig. 11, hvor procenten i normalgødede led (1 N) er sat lig 100.

Tendensen har ikke været så udtalt for de øvrige næringsstoffer.

Nedvaskning af andre næringsstoffer

Interessen for nedvaskning af andre næringsstoffer end kvælstof knytter sig navnlig til fosfor

bl.a. på grund af faren for forurening af recipienter.

Kalium regnes ikke for forurenende stof i denne sammenhæng. Koncentrationen af P og en række andre mineralstoffer er vist i tabel 10.

Der er ikke i gennemsnitsvannet fundet sikre forskelle mellem forsøgsleddene, hvad angår koncentrationen af de forskellige næringsstoffer.

I tabel 11 er vist den udvaskede mængde pr. m² af de enkelte næringsstoffer.

Det ses, at der er en meget lille udvaskning af fosfor, nemlig 0,01 g pr. m² svarende til 0,1 kg P pr. ha.

For kalium er der procentisk stor forskel mellem de største og mindste målte mængder, men de er i alle tilfælde meget små i sammenligning med de mængder, jordminerallerne indeholder, og det der tilføres med gødningen.

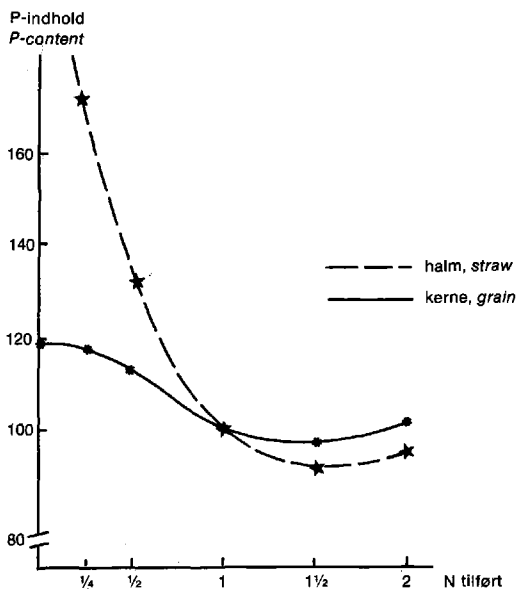


Fig. 11. Fosforkoncentration i korn (kerne + halm).
P-koncentration i led 1 N = 100.
P-concentration in grain and straw. P-concentration in plot 1 N = 100.

De øvrige næringsstoffer udvaskes i større mængder, navnlig calcium, hvor der gennemsnitlig for alle år er udvasket ca. 40 g pr. m² (400 kg Ca/ha).

Af tungmetaller er der fundet meget små mængder i gennemsnitsvandsvandet (tabel 12).

De anførte resultater er gennemsnit af alle forsøgsled og år.

Bestemmelse af kvælstofoptagelse og -udvaskning ved hjælp af ¹⁵N-mærket kvælstofgødning

Langt den overvejende del af jordens kvælstof-indhold findes bundet i organisk form i humus, planterester og mikroorganismer. I almindelige danske jorde udgør disse mængder 5 til 8 t N pr. ha i planternes rodzone. Kun en ringe del af total-kvælstoffet findes som uorganiske forbindelser og dermed umiddelbart tilgængeligt for planterne.

I forbindelse med planternes kvælstofforsyning i vækstperioden er det af betydelig interesse at få belyst hvor meget kvælstof, der optages fra jordens beholdning efter mineralisering til NH₄⁺ og

Tabel 10. Mineralstofkoncentration i gennemsnitsvandsvandet, årsgennemsnit, mg/l. Lysimeterforsøg 1974–82
Mean concentration plant nutrients in leaching water, by years, mg/l

	P	K	Na	Ca	Mg	Cl	SO ₄ S
1974/75	0,03	2,1	14,1	93,7	7,2	15,6	16,6
1975/76	0,04	1,7	15,1	126,9	8,3	41,3	28,7
1976/77	0,02	2,7	15,2	103,7	7,8	32,6	17,1
1977/78	0,02	1,1	13,2	88,4	5,8	14,7	12,8
1978/79	0,01	1,5	14,2	74,9	9,9	24,5	23,6
1979/80	0,01	0,8	10,8	68,1	7,4	11,1	13,7
1980/81	0,01	0,6	8,3	65,2	6,5	9,2	9,0
1981/82	0,00	0,5	6,2	90,5	6,2	18,3	13,3

Tabel 11. Mineralstofudvaskning, g/m²
Leaching of plant nutrients, g/m²

	P	K	Na	Ca	Mg	Cl	SO ₄ S
1974/75	0,02	1,3	9,0	59,6	4,6	9,9	10,5
1975/76	0,01	0,5	4,0	33,5	2,2	10,9	7,6
1976/77	0,01	1,0	5,7	38,7	2,9	12,2	6,4
1977/78	0,01	0,5	5,6	37,5	2,5	6,2	5,4
1978/79	0,00	0,6	5,8	30,4	4,0	9,9	9,6
1979/80	0,01	0,4	5,6	35,3	3,8	5,8	7,1
1980/81	0,01	0,5	6,3	49,1	4,9	6,9	6,8
1981/82	0,00	0,3	2,9	41,5	2,8	8,4	6,1

Tabel 12. Koncentration af tungmetaller og fluorid i gennemsnitsvands. Gennemsnit af år og led
Concentrations of heavy metals and fluorid in leaching water. Mean by years and plots

Cu	Zn	Mn	ppb, mg/m ³		Cd	Pb	Co	ppm, mg/l
			Ni	Cr				F
< 5	650	< 5	< 10	< 5	< 0,1	< 1	< 5	0,38

NO₃⁻, og hvilken indflydelse tilførsel af kunstgødningskvælstof har på dette forhold.

For at undersøge hvor meget kunstgødningskvælstof, der optages i planterne, bindes i jordens humus eller udvaskes, blev der i 1974 tilført ¹⁵N-mærket ammoniumnitrat, hvor såvel ammoniumdelen som nitratdelen var mærket.

Forsøgets gennemførelse

I forsøget indgik forsøgsleddene ½ N, 1 N og 1½ N med to gentagelser.

Mærket ammoniumnitrat blev tilført som opløsning den 3. maj 1974 og vandet ned med demineraliseret vand ca. 3 uger efter, at byggen var sået. De efterfølgende år blev der gødet med almindelig kalkammonsalpeter efter planen.

Der blev foretaget ¹⁵N-bestemmelse i afgrøde, jord og vand.

Kvælstofoptagelse i afgrøden

Optagelse af mærket kvælstof i afgrøderne er vist i tabel 13.

Det ses af tabellen, at der det første år er optaget 53–58% af det tilførte kunstgødningskvælstof. Optagelsen er størst i kerne, og den viser en svag stigning med stigende kvælstoftilførsel.

I de efterfølgende år er der optaget henholdsvis 1,7 og 0,6% af det i 1974 tilførte kunstgødningskvælstof og den relative kvælstofoptagelse er konstant, ens for alle forsøgsleddene.

I tabel 14 er vist, hvor meget af det kvælstof, bygafgrøden optager i løbet af vækstsæsonen, der stammer fra jordens kvælstofbeholdning, og hvor meget der hidrører fra den tilførte gødning for vækstsæsonen 1974.

Det ses, at der er optaget 4,3 g kvælstof pr. m² fra jorden, hvor der ikke er tilført kunstgødningskvælstof, svarende til 43 kg kvælstof pr. ha fra jordens kvælstofbeholdning.

Med stigende kvælstoftilførsel er der målt en svagt stigende optagelse fra jordens kvælstofreserve. Det fremgik endvidere af tabel 13, at den høstede bygafgrøde har optaget fra 53–58% af det i foråret tilførte kvælstof. Resten 42–43%, må

Tabel 13. Optagelse af mærket kvælstof, ¹⁵N. % af tilført N-mængde. Lysimeterforsøg 1974–76
¹⁵N-uptake in % of supplied N

Led, g N/m ² tilført		5,4	10,8	16,2
1974	Byg, kerne, <i>barley, grain</i>	41,1	42,0	43,4
	Byg, halm, <i>barley, straw</i>	12,0	13,0	14,4
	I alt	53,1	55,0	57,8
1975	Byg, kerne, <i>barley, grain</i>	1,4	1,4	1,5
	Byg, halm, <i>barley, straw</i>	0,3	0,3	0,2
	I alt	1,7	1,7	1,7
1976	Raps, frø, <i>rape, seed</i>	0,3	0,2	0,1
	Raps, halm, <i>rape, straw</i>	0,4	0,4	0,5
	I alt	0,7	0,6	0,6

Tabel 14. Kvælstofoptagelse 1974 fra jorden og fra tilført gødning. Lysimeterforsøg
N-uptake 1974 from soil and from supplied fertilizer

Tilført gødning <i>Supplied fertilizer</i>	I alt optaget <i>Total uptake</i>	Fra tilført gødning <i>From supplied fertilizer</i>	Fra jorden <i>From soil</i>	% N optaget fra tilført gødning <i>% N-uptake from supplied fertilizer</i>
		g N/m ²		
0,0 N	4,3	0,0	4,3	—
5,4 N	7,7	2,8	4,9	52
10,8 N	11,0	5,9	5,1	52
16,2 N	14,9	9,3	5,6	57

enten være optaget i rod- og stubrester, fastlagt i jorden eller denitrificeret eller udvasket. Hvor meget, der er denitrificeret, er ikke undersøgt i dette forsøg.

Kvælstofoptagelse i rod- og stubrester

For at undersøge, hvor stor en del af det i 1974 tilførte kunstgødningskvælstof, der findes i rod- og stubrester, og hvor meget der optages fra jorden i de følgende år, blev der efter vækstsæsonerne 1974, 1975 og 1976 opsamlet rod- og stubrester.

Resultaterne er vist i tabel 15 og angiver den samlede kvælstofoptagelse i rod- og stubrester, samt hvor meget af det fundne kvælstof, der stammer fra tilført mærket kvælstofgødning.

Det ses, at der er fundet stigende kvælstofoptagelse med stigende gødsning. Den relative kvælstofoptagelse af den tilførte gødning er dog næsten konstant inden for samme år, og meget lidt genfindes som optaget efter 2. og 3. år.

Kvælstofudvaskning

I tabel 16 er vist hvor meget af den tilførte gødning, der udvaskes i afstrømningsperioden.

I første »udvaskningsperiode« 1974-75, oktober-april, er der fundet 2,8% af det tilførte mærkede kvælstof i gennemsnitsvandsvandet. Andet år er det sket en halvering, og tredje år er 0,3% af den i 1974 tilførte gødning udvasket.

Det fremgår også, at den relative kvælstofnedvaskning er konstant inden for samme år.

Kvælstofkoncentration

Kvælstofindholdet i gennemsnitsvandsvandet var det samme i de enkelte forsøgsled, og som eksempel er i fig. 12 vist variation i N-koncentrationen i løbet af afstrømningsperioden 1974-75 for led 1½ N (16,2 N pr. m²).

Det fremgår heraf, at kvælstofkoncentrationen i begyndelsen er ret lav for derefter at stige til sit maksimum omkring den 1. december. Det efter-

Tabel 15. Kvælstofoptagelse i rod- og stubrester. Lysimeterforsøg
N-uptake in root system

Led g N/m ²	Total-N-optagelse, mg N/m ² <i>Total-N-uptake, mg N/m²</i>			% N af den i 1974 tilførte N-mængde <i>% N of the supplied N-amount in 1974</i>		
	1974	1975	1976	1974	1975	1976
	Byg <i>Barley</i>	Byg <i>Barley</i>	Vårraps <i>Summer rape</i>	Byg <i>Barley</i>	Byg <i>Barley</i>	Vårraps <i>Summer rape</i>
5,4	871	785	1972	2,5	0,2	0,2
10,8	906	954	2867	3,6	0,2	0,2
16,2	897	1158	4456	2,7	0,2	0,3

Tabel 16. Kvælstofudvaskningen i % af den i 1974 tilførte gødning. Lysimeterforsøg Askov 1974-77
N-leaching in % of the fertilizer supplied in 1974

Led g N tilført/m ²	1974-75 Byg <i>Barley</i>	1975-76 Byg <i>Barley</i>	1976-77 Raps <i>Rape</i>
5,4	2,9	1,5	0,3
10,8	2,8	1,5	0,3
16,2	2,8	1,5	0,4

følgende fald i nitrat-N-koncentrationen er langsommere. Det ses endvidere, at kvælstof tilført om foråret kun bidrager meget lidt til kvælstofkoncentrationen. Man finder en maksimumkoncentration på ca. 8% den 30. november af den totale kvælstofkoncentration.

Kvælstofbalance i jorden

Med henblik på at beregne kvælstofbalance i relation til det i 1974 tilførte kvælstof, blev der i

foråret 1977 udtaget jordprøver i lag à 25 cm ned til 1 m dybde. Borehullerne blev efter prøveudtagning fyldt op med bentonit for at hindre, at nedbøren sivede direkte ned i opsamlingsbeholderen. Jordprøverne blev analyseret for total-N og ¹⁵N.

Resultaterne viste et totalkvælstofindhold i jorden på 881 g N pr. m² svarende til 8,8 t N pr. ha pr. m dybde, og at 21% af det i 1974 tilførte kvælstof blev genfundet i jorden. Der blev ikke fundet sikker forskel mellem forsøgsleddene.

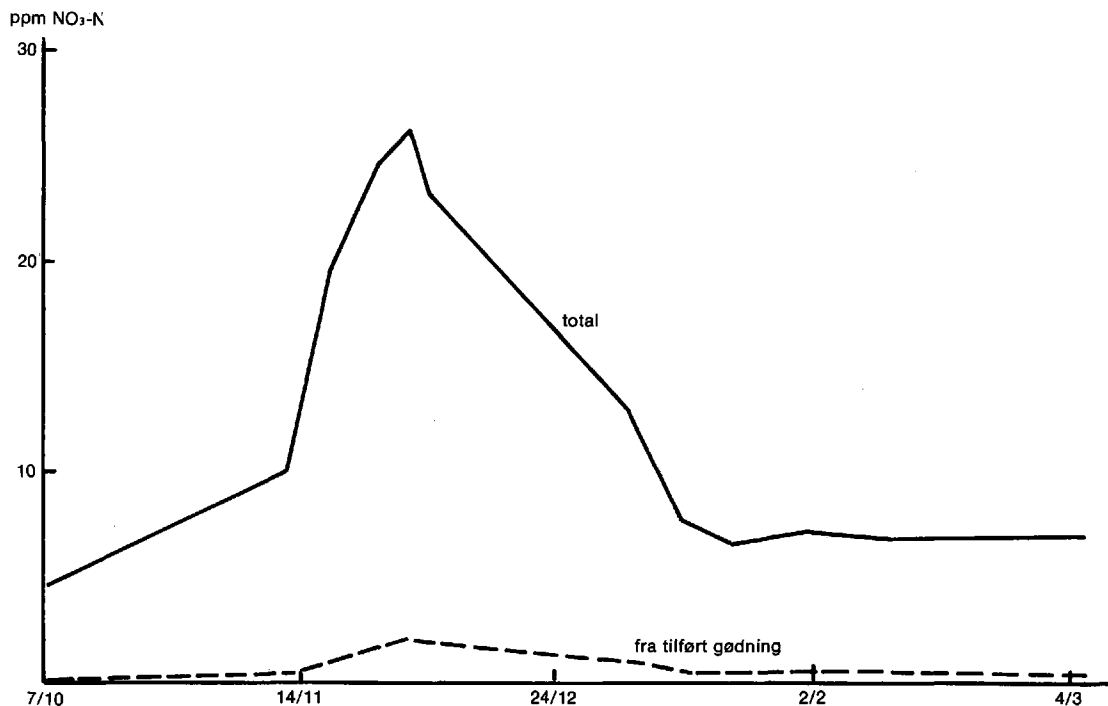


Fig. 12. NO₃-N koncentration ppm (mg/l) gennemsnitsvands. Byg. Askov 1974-75.
NO₃-N concentration in leaching water. Barley.

Der har således for årene 1974–77 kunnet redegøres for 81–86% af det i 1974 tilførte kvælstof. 58% er optaget i afgrøden, 21% fastlagt i jorden og 5% udvasket. Resten må antages at være denitrificeret og afgivet til atmosfæren igen.

Sammenligning af mark- og lysimeterforsøg

Som tidligere nævnt, er lysimeterforsøget gennemført med samme jordtype som markforsøget (Kjellerup & Kofoed, 1979), og en sammenligning af resultaterne i byg og hvede er vist i fig. 13 (Kofoed, 1980).

For byggets vedkommende er vist gennemsnitsresultater for 3 år. Efter små kvælstofmængder er udbyttet ens ved de 2 forsøgsmetoder, men efter tilførsel af store mængder, er udbyttet højere i lysimetrene end i markforsøget, som man skulle vente det.

Optagelse af kvælstof forløber derimod næsten helt ensartet. Dog er den ikke helt retliniet i markforsøget ved den store kvælstofmængde, idet udbyttet var noget mindre end i lysimeterforsøget.

I højre halvdel af fig. 13 er vist resultaterne fra et hvedeforsøg (1977). Udbyttekurverne er ganske ens i de to forsøgstyper. Det skal her bemærkes, at den pågældende jord har stor vandholdende evne (jf. tabel 1), og at der var gode vækstbetingelser for hveden i 1977 med megen varme i juli–august måned.

Kvælstofoptagelsen for hveden er næsten retliniet og har omtrent samme forløb i mark- og lysimetre.

Nederst i fig. 13 er vist kvælstofudvaskningen. Som man skulle forvente, er der registreret størst kvælstofudvaskning fra lysimeterforsøgene, da man jo der kontrollerer hele den afstrømmende vandmængde i modsætning til markforsøg, hvor kun en vis del af overskudsnedbøren bortledes gennem drænene. Bennetzen (1978) samt Kjellerup & Dam Kofoed (1979) fandt, at i gennemsnit blev godt $\frac{1}{3}$ af overskudsnedbøren ledet bort med drænene, medens resten sivede ned til grundvandet.

Diskussion

I de enkelte forsøg er sammenhængen mellem virkningen af stigende mængde kvælstofgødning til afgrøden og udvaskning af plantenæringsstoffer og andre stoffer med gennemsnitsvandsvund belyst.

Tørstof- og kvælstofudbyttet har i alle år været stigende med stigende kvælstoftilførsel, således som man skulle vente det.

Kvælstofindholdet i afgrøden er generelt højere for det grundgødede led end for de lavere gødningstrin (fig. 14). Dette forhold, man ofte iagttager i forsøg med tilførsel af stigende kvælstofmængder, at afgrøden har et lavere kvælstofindhold ved anvendelse af små kvælstofmængder, beror på, at disse kvælstofmængder bevirker den relativt største stigning i udbytte pr. kg gødning.

Vömel (1970) fandt i tyske lysimeterforsøg stigende mængder gennemsnitsvandsvund med aftagende udbytte.

Når mængden af gennemsnitsvandsvund er negativ korreleret med tørstofudbyttet ($r = 0,997$), som fundet i disse forsøg, er årsagen den, at stigende gødsning har bevirket større tørstofudbytte og større vandforbrug, således at der efter høst skal mere nedbør til at »fylde« jorden til markkapacitet, som det fremgår af fig. 5.

Planternes vandforbrug er relativt større ved lavt udbyttensniveau end ved højt (fig. 6). Som gennemsnit for alle afgrøder og år er der på denne lerjord til produktion af 800 g kerne pr. m^2 svarende til 80 hkg/ha brugt ca. 5 mm nedbør pr. hkg. *Der kan dog ikke generaliseres ud fra de eksakte talværdier, kun fra tendensen i talmaterialet.* Bennetzen (1978) fandt i tilsvarende markforsøg ved højt udbyttensniveau, at vårsæd brugte 6 mm og vinterhvede knap 5 mm pr. hkg kerne pr. ha.

Næsten al det nitrat-N, der findes fra foråret og sommeren, er under normale vækstbetingelser udnyttet ved vækstperiodens afslutning. Nedvaskning af nitratkvælstof og/eller nitrificeret ammonium kan forekomme på let sandjord om foråret, når der efter gødningsudbringning, og før planterne kan optage kvælstof, falder et nedbørs-overskud på 50–60 mm (Kofoed & Kjellerup, 1970).

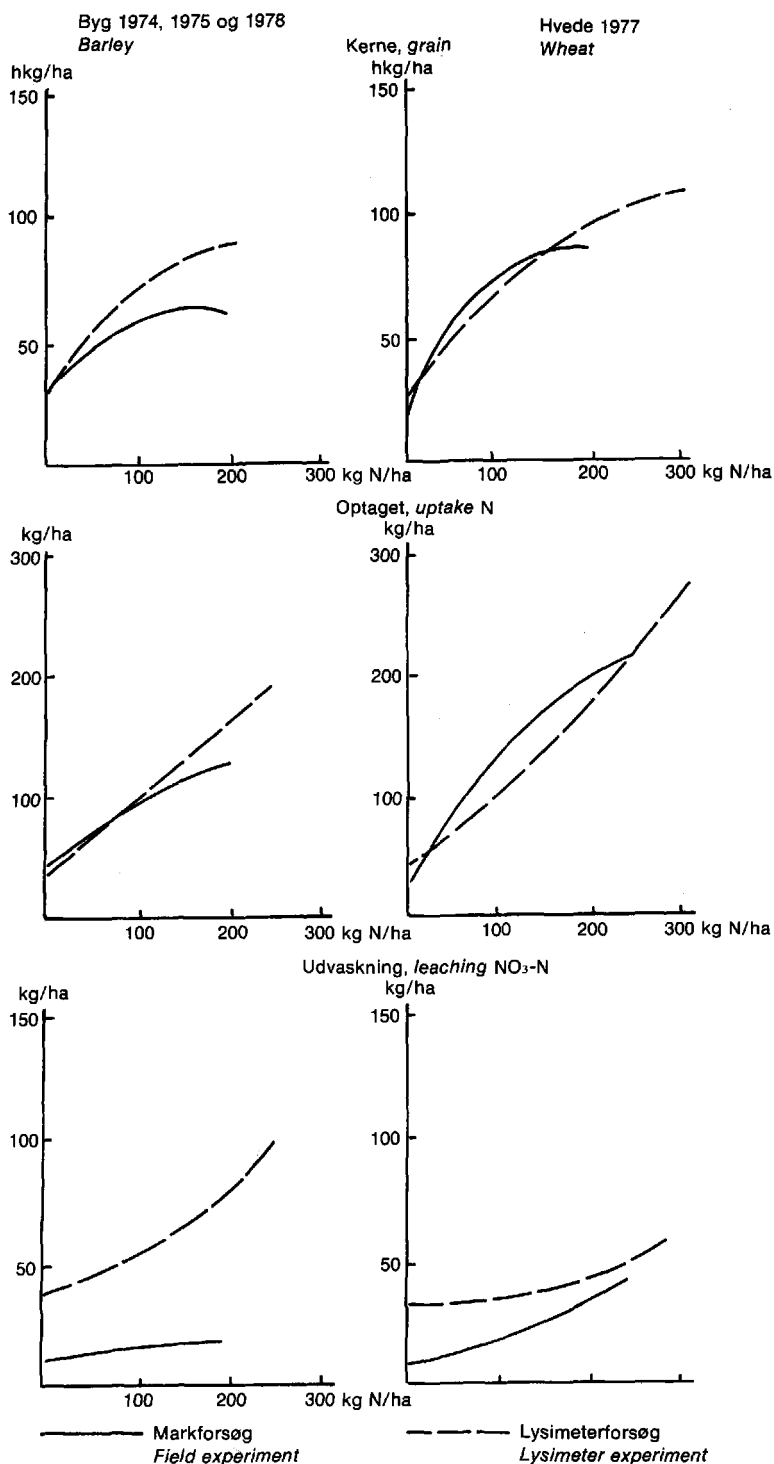


Fig. 13. Virkning af stigende mængde kvælstof på kerneudbytte, N-optagelse og -udvaskning, lerjord, Sdr. Stenderup.

Effect of increased amount of N.

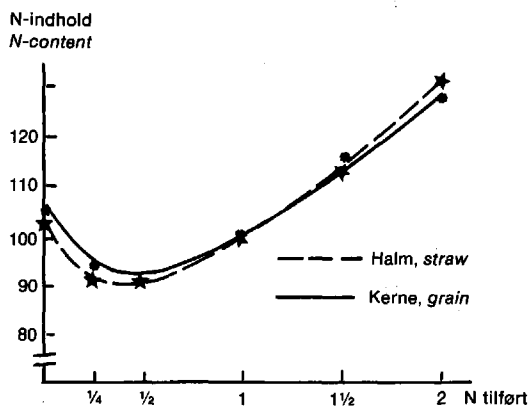


Fig. 14. Kvælstofkoncentration i korn (kerne + halm). N-koncentration i led 1 N = 100.

N-concentration in grain and straw. N-concentration in plot 1 N = 100.

Forsøgene har vist, at kvælstofnedvaskningen fra rodzonen er afhængig af mængden af gennemsivningsvand. Hvor der har været størst gennemsivning, er der udvasket mest kvælstof alle andre forhold lige.

Temperaturens indflydelse på mineralisering af let nedbrydeligt stof ses for afstrømningsperioden 1975/76, hvor der var ret høj temperatur. Her er der målt størst kvælstofkoncentration i gennemsivningsvandet i forhold til de øvrige år (fig. 7), og selv om der har været relativt lav afstrømning, er der målt størst kvælstofnedvaskning.

Undersøgelser over hvilken betydning jordens bevoksningsgrad har på udvaskning af kvælstof, er bl.a. gjort af Jensen (1980). I lysimeterforsøg i perioden medio september til medio januar fandtes en udvaskning på ca. 70 og 15 kg N/ha efter henholdsvis ompløjet græs og ikke ompløjet græs. Lignende forhold har de her gennemførte forsøg også vist, jf. fig. 10. Der er målt meget lave kvælstofkoncentrationer, 0–5 mg N/l, i gennemsivningsvandet, hvor jorden har været plantedækket (rød svingel) i afstrømningsperioden sammenlignet med ubevokset areal, hvor der efter normal-gødgede led er fundet 5–29 mg N/l.

Det er vigtigt at erindre, at de beregninger over udvaskning, man kommer frem til ved at tage hele afstrømningsmængden med, kun kan vise noget

om hvor meget kvælstof, der forsvinder fra planternes rodzone. De viser ikke umiddelbart, om dybere beliggende vand, »grundvand«, belastes. Forholdet er det, at en del af nitratkvælstoffet, som vist af Lind og Petersen (1976), under ned-sivning gennem jorden kan denitrificeres, når der er reducerende stoffer tilstede i jorden, og derved omdannes til luftformige kvælstofforbindelser, der kan forsvinde til atmosfæren.

Forsøgene med ^{15}N viste, at 53–58% af det tilførte kunstgødningskvælstof optages første år, og at optagelsen er svagt stigende med stigende tilførsel. Det er samtidig vist, at tilførsel af stigende mængder kunstgødningskvælstof medfører, at planterne optager mere fra jordens kvælstofreserve, end hvor der ikke tilføres kvælstof (tabel 14).

Tilsvarende er fundet af Sørensen (1982), der i sine forsøg er gået den modsatte vej. Han har først fastlagt ^{15}N i organisk form i en humusfraktion i jorden og finder, at ved tilførsel af umærket kunstgødningskvælstof (KNO_3) sker der en øget optagelse af mærket N (dvs. »jord-N«) i planterne. Denne skyldes ikke en øget mineralisering af det organiske N på grund af tilførslen af kunstgødning, men formentlig at de N-gødede planter har haft betingelser for dannelse af et større rodnet, hvorved der er optaget kvælstof fra et større jordvolumen, og dermed mere »jordkvælstof« ved stærkere gødskning.

Forsyningen fra jordens kvælstofbeholdning har imidlertid ikke kunnet dække afgrødens behov, da der er et stort merudbytte for det tilførte kunstgødningskvælstof, som vist i tabel 3. Mineraliseringshastigheden af jordens beholdning kan slet ikke holde »trit« med optagelsen i planterne, der navnlig sker i maj–juni. Derfor er det afgørende, at der er kunstgødningskvælstof til rådighed.

En samlet N-balance foretaget 3 år efter tilførsel af ^{15}N viser, at 81–86% af tilført kunstgødningskvælstof er optaget af planterne, udvasket med gennemsivningsvand eller fastlagt i jorden.

I den efterfølgende afstrømningsperiode er ca. 3% af det tilførte kvælstof fundet i gennemsivningsvandet. Resten antages at være afgivet til atmosfæren i form af luftformige kvælstofforbindelser.

Vömel (1970) har efter to års forløb i tilsvarende lysimeterforsøg med løssjord genfundet 53–61% af det tilførte kunstgødningskvælstof optaget i planter og udvasket. Han finder lidt lavere optagelsesprocenter og dobbelt så stor udvaskning, som vi har i nærværende forsøg.

Vömel finder ca. 30% kvælstof fastlagt i løssjorden altså lidt mere, end der er fundet i dette forsøg, og tab til atmosfæren andrager mellem 9 og 20% af tilført kunstgødningskvælstof.

Konklusion

Byg optager fra 53–57% af det tilførte kunstgødningskvælstof, stigende med øget kvælstoftilførsel. I den efterfølgende afstrømningsperiode er der fundet ca. 3% af kunstgødningskvælstoffet i gennemsnitsvningvandet.

En samlet kvælstofbalance efter tre års forløb viser følgende: 58% optaget i afgrøde, 21% fastlagt i jord, 5% udvasket med drænvand, og resten antages at være denitrificeret til luftformige kvælstofforbindelser og afgivet til atmosfæren.

Udvaskning af plantenæringsstoffer er afhængig af mængden af gennemsnitsvningvand.

Ved tilførsel af optimale kvælstofmængder stimuleres rodudviklingen i kornplanter, hvorved der optages mere fra jordens kvælstofbeholdning. Den kraftige rodudvikling antages også at forøge vandoptagelsen, da der skal mere nedbør til efter høst for at fylde jorden til markkapacitet, end hvor der ikke tilføres kvælstof.

Ved lavt udbyttelniveau (lille kvælstoftilførsel) er der brugt relativt meget vand til produktion af 1 hkg kerne.

Er jorden dækket med en tæt plantebestand i afstrømningsperioden formindskes kvælstofudvaskningen, da planterne optager størsteparten af det frigjorte nitratkvælstof.

Tilførsel af kvælstof til afgrøden influerer ikke på nedvaskning af andre plantenæringsstoffer.

Erkendtlighed

Lysimeteranlægget er oprettet med økonomisk støtte fra *Statens Jordbrugs- og Veterinærvidenskabelige Forskningsråd*, som vi hermed bringer vor bedste tak.

Ligeledes rettes en tak til *Norsk Hydros fond* til fremme af dansk planteavl for økonomisk støtte til indkøb af ^{15}N .

Desuden takkes dr. agro *Henning Sørensen* for hjælp ved gennemførelse af ^{15}N analyser på Risø.

Litteratur

- Bennetzen, F. (1978): Vandbalance og kvælstofbalance ved optimal planteproduktion. Tidsskr. Planteavl 82, 191–220.
- Jensen, H. E. (1980): Afgrødeproduktion og -kvalitet, lysenergi og vandudnyttelse, nitrogenbalance og -transport i relation til nitrogen- og vandstatus. Doktorafhandling K.V.L.
- Kjellerup, V. & Kofoed, A. Dam (1979): Kvælstofgødningens indflydelse på drænvandets indhold af plantenæringsstoffer. Tidsskr. Planteavl 83, 330–348.
- Kofoed, A. Dam & Kjellerup, V. (1970): Nedvaskning af kvælstofforbindelser i jorden. Tidsskr. Planteavl 73, 659–686.
- Kofoed, A. Dam (1980): Crop uptake of nitrogen and surface run off from landspreading of manures. Wexford, Irland.
- Kristensen, K. J. & Aslyng, H. C. (1971): Lysimetres with rainfall and soil water control. Nordic Hydrology 2, 79–92.
- Lind, A. M. & Petersen, M. B. (1976): Nitrate reduction in the subsoil. III. Nitrate reduction experiments with subsoil samples. Tidsskr. Planteavl 80, 100–106.
- Sørensen, H. (1982): Mineralization and organically bound nitrogen in soil as influenced by plant growth and fertilization. Plant and Soil 65, 51–61.
- Vömel, A. (1970): Nährstoffeinwaschung in den Unterboden am Beispiel verschiedenen Lysimeterböden. Z. Acker- u. Pflanzenbau 123, 155–188.

Manuskript modtaget den 7. juli 1982.