

Kvælstofgødskningens indflydelse på drænvandets indhold af plantenæringsstoffer

Nitrogen fertilizing in relation to plant nutrients in drainage water

V. Kjellerup og A. Dam Kofoed

INDHOLDSFORTEGNELSE

	Side
Resumé	330
Summary	331
Indledning	331
Forsøgets gennemførelse og teknik	334
Gødningsplan	336
Resultater	336
Nedbør og afstrømning	336
Udbytte	339
Kvælstofoptagelse	339
Kvælstofudvaskning	340
Kvælstofkoncentration i drænvand	341
Udvaskning af andre plantenæringsstoffer end N	343
Udvaskning af tungmetaller	345
Diskussion	346
Konklusion	347
Erkendtlighed	348
Litteratur	348

Resumé

Undersøgelser over sammenhængen mellem kvælstofgødskning og udvaskning af kvælstof fra jorden foretages i et markforsøg på forpagtet jord ved Sdr. Stenderup.

Jorden er god lermuld som blev drænet i 1946. På hver af 8 drænstrenger er der indbygget en målestation, hvor mængden af drænvand måles, og vandprøver udtages (fig. 3 og 4). Hver af de 8 drænstrenger udgør en parcel i et markforsøg med stigende kvælstoftilførsel til 4 forsøgsled med 2 gentagelser. Beretningen omfatter forsøgets 5 første år.

Høstudbyttet har været stigende efter stigende kvælstoftilførsel op til den mængde, der anses for at være optimal for marken d.v.s. 110 kg N/ha til byg og 150 kg N/ha til hvede og raps.

Større kvælstofmængder end disse har almindeligvis givet udbyttenedgang i kerne, men derimod ikke i (kvælstof) protein. På grundlag af resultaterne kan det siges, at den mængde kvælstof, der udvaskes gennem dræn først og fremmest er afhængig af årsnedbøren, der bestemmer drænvandsmængde og dernæst af gødskningen.

Generelt set forøgedes nitrat-N-koncentrationen ikke meget over de værdier, der blev målt i kontrolledet, ved anvendelse af de optimale gødningsmængder. Der blev målt maximalværdier fra 11 ppm uden kvælstofgødning til 15 ppm $\text{NO}_3\text{-N}$ efter optimal gødskning.

Efter tilførsel af ekstreme gødningsmængder fandtes en maximalværdi på 29 ppm $\text{NO}_3\text{-N}$ i drænvandet.

De udvaskede kvælstofmængder har, hvor der ikke blev tilført kvælstofgødning, varieret fra 2 til 16 kg N/ha/år. Hvor der var gødet med optimale mængder steg udvaskningen lidt og varierede fra 1 til 21 kg N/ha/år, mens der efter tilførsel af ekstremt store mængder blev udvasket op til 38 kg N/ha/år (fig. 16).

Udvaskningen af andre plantenæringsstoffer blev ikke påvirket af kvælstofgødskningen.

Nøgleord: Kvælstof, drænvand, markforsøg.

Summary

An experiment to investigate the effect of nitrogen fertilizer on the nitrogen content of drainage water was carried out on rented land at Sdr. Stenderup. This report describes results from the first 5 years 1973–1977 when barley, rape and wheat were the crops.

Wells for measuring the volume of run off from the drains and for sampling were constructed in 8 drain pipes (figs. 3 and 4).

Treatments comprising increasing value of CAN were replicated twice each plot being drained by one drainpipe. Soil texture is indicated in table 2.

Nitrogen fertilizer increased yields of grain and rape seed up to the level estimated as optimal for that field i.e. 110 kg N for barley and 150 kg N for wheat and rape (table 6). Nitrogen applied in excess of that level usually depressed the yield but not the protein content of the crop (tabel 7).

The higher the rainfall during the run off period the more water entered the drains (fig. 7).

Generally the concentration of nitrate-N in drainage was little influenced by the level of N applied up to the optimum level, the highest value for $\text{NO}_3\text{-N}$ content being 15 ppm where N was applied, compared with 11 ppm in control plots.

When N was applied in excess, $\text{NO}_3\text{-N}$ levels in drainage ranged up to 29 ppm.

In the absence of N fertilizer, the annual loss of N in drainage ranged between 2 and 16 kg N/ha. Nitrogen applied to the optimum level, the loss increased slightly to 1–21 kg N/ha.

When excess N was applied the annual loss ranged up to 38 kg/ha (fig. 16).

Leaching of other plant nutrients was not influenced by the level of nitrogen fertilizer.

Key words: Nitrogen, drainage water, field experiment.

Indledning

I spørgsmål om forurening af vore vandløb og søer samt om grundvandets kvalitet diskuteres ofte, hvor store næringsstofmængder, der tilføres drænvandet og grundvandet fra dyrkede landbrugsarealer, herunder spørgsmålet om hvilken indflydelse landbrugets gødningsanvendelse har på vandets indhold af plantenæringsstoffer.

Problemerne rejses i forbindelse med, at der anvendes større næringsstofmængder pr. ha i handels- og husdyrgødning nu end for år tilbage. Dette har været en forudsætning for, at landbruget næsten har kunnet tredoble høstudbyttet si-

den århundredskiftet trods tilbagegang i landbrugsarealet.

Det er specielt kvælstofanvendelsen, der er steget stærkt de senere år, medens der har været en moderat stigning i anvendelsen af de to andre hovedplantenæringsstoffer, fosfor og kalium.

Både forureningsmæssigt og ressourcemæssigt har det stor interesse at få klarlagt, i hvilket omfang der er tale om udvaskning af plantenæringsstoffer og navnlig af kvælstof ved forskellig kvælstofgødningsintensitet og dyrkningsmåde.

Selv uden kvælstofanvendelse findes der kvæl-

stof i drænvandet, hvilket bl.a. er vist i engelske undersøgelser (Williams, 1970).

Wiklander (1977) viser i sine systematiske undersøgelser over drænvandets indhold af $\text{NO}_3\text{-N}$ i Sverige, at kvælstofindholdet stiger i drænvandet med stigende dyrkningsintensitet. I Nordsverige fandtes ca. 3 ppm, medens der i Sydsverige med det mere intensive landbrug var ca. 15 ppm $\text{NO}_3\text{-N}$ i drænvandet. Lorens Hansen og E. Friemodt Petersen (1975), viser i drænvandsundersøgelser for Danmark en gennemsnitlig kvælstofkoncentration på 18 ppm, med en stedvariation på 13–25 ppm.

I drænvand fra sædskiftemarken ved Askov forsøgsstation målte Frode Hansen (1926) omkring 10 ppm $\text{NO}_3\text{-N}$ med en variation fra 7 til 14. Senere målinger af $\text{NO}_3\text{-N}$ i drænvand fra forsøgsarealer ved Askov forsøgsstation er vist i tabel 1.

Drænvandsprøverne er i årene 1970–75 udtaget en gang om ugen, når der var afstrømning.

Der blev udtaget en vandprøve direkte i samlebrønden. I nedenstående skitse af forsøgsarealerne ved Askov forsøgsstation er samlebrøndenes placering i markerne vist. Analyse af drænvandet er foretaget ved Askov forsøgsstations laboratorium.

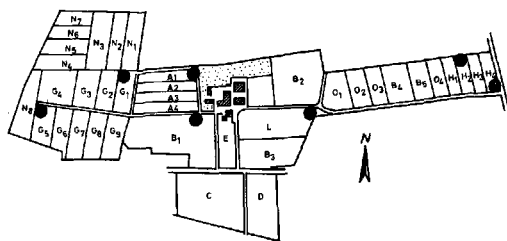


Fig. 1. Fordeling af prøveudtagningsbrønde i markerne på Askov forsøgsstation.

Places used for sampling of drainage water in different fields at Askov Experimental Station.

De udtagne prøver repræsenterer 8 forskellige marker.

Det ses, at den gennemsnitlige $\text{NO}_3\text{-N}$ -koncentration i drænvandet for de 5 års vedkommende er fra 6,1 til 12,6. Det ses endvidere, at der er relativ stor spredning på tallene inden for årene. I figur 2 er vist middeldkoncentration af $\text{NO}_3\text{-N}$ i drænvandet.

Tabel 1. Koncentration af nitrat-N i drænvand udtaget i samlebrønde ved Askov forsøgsstation 1970–76. Årgennemsnit fra 8 marker.

Concentration of $\text{NO}_3\text{-N}$ in drainage water sampled in different fields at Askov Experimental Station 1970–76. Average of 8 fields by years.

År Year	$\text{NO}_3\text{-N}$, ppm		
	Gns. Average	max.	min.
1970/71	11,9	18,8	8,3
1971/72	6,1	9,2	4,3
1972/73	12,6	21,7	5,7
1973/74	12,3	15,8	8,7
1974/75	10,1	13,3	7,6
1975/76	ingen afstrømning, no run-off		

For de tre første år der fundet signifikant højere $\text{NO}_3\text{-N}$ -koncentration i drænvand repræsenterende markerne G_1 og G_2 end i drænvand fra de øvrige marker.

Svenske undersøgelser (Bertilsson, 1977) over sammenhæng mellem kvælstofgødskningsintensitet og drænvandets indhold af nitratkvælstof viser uanset afgrøde en lille stigning i kvælstofindholdet i drænvand, hvor den normalgødgede parcel er tilført ekstra kvælstof.

Resultaterne fra udenlandske undersøgelser kan dog ikke umiddelbart overføres til danske jordbunds- og klimaforhold. Ligeledes må det antages, at andre dyrkningsforhold, gødskningspraksis og valg af afgrøde spiller en rolle for udvaskning af kvælstof.

Kvælstof i jorden

Langt den overvejende del af jordens kvælstofreserve findes bundet i organisk form i humus, planterester og mikroorganismer. I almindelige danske jorder udgør disse reserver 5 til 8 tons N pr. ha i planternes rodzone. Kun en ringe del af totalkvælstoffet findes som uorganiske forbindelser, ($\text{NO}_3\text{-}$ og $\text{NH}_4\text{-}$), og indholdet af disse forbindelser varierer stærkt med årstid og plantevækst.

$\text{NH}_4\text{-}$ dannes i jorden ved mineralisering eller tilføres med ammoniumholdige gødninger. $\text{NH}_4\text{-}$ kan adsorberes til jordkolloiderne og udvaskes praktisk taget ikke.

$\text{NO}_3\text{-}$ dannes i jorden ved nitrifikation af $\text{NH}_4\text{-}$

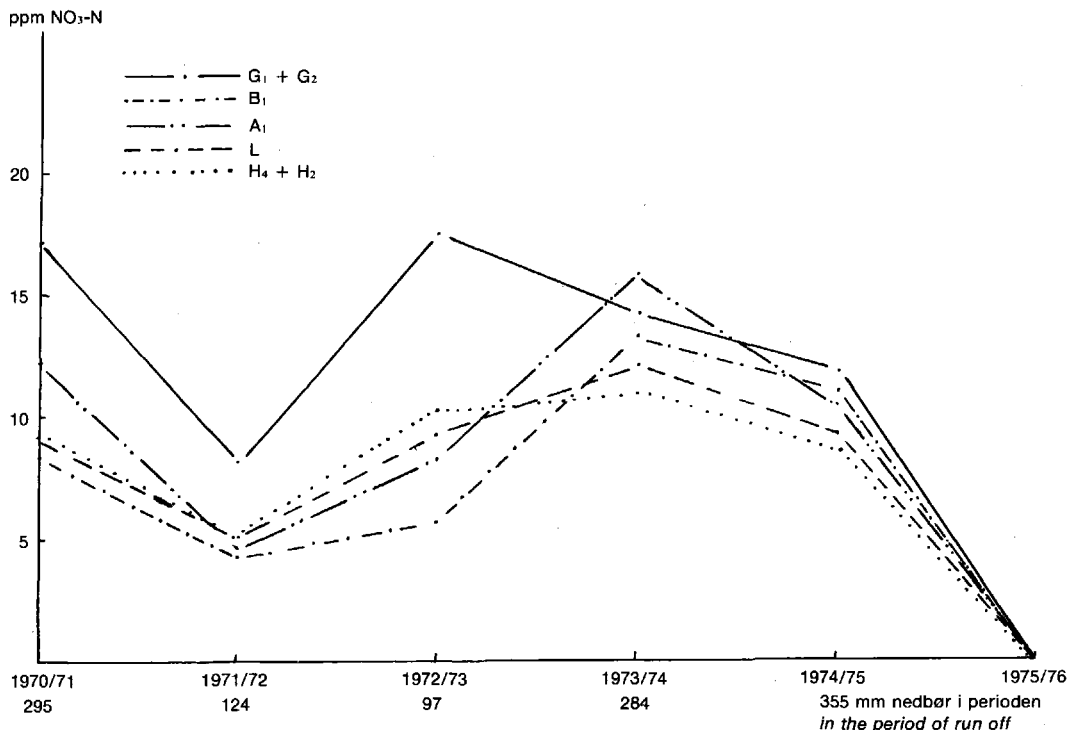


Fig. 2 Middelkoncentration af $\text{NO}_3\text{-N}$ i drænvand fra samlebrønde ved Askov forsøgsstation 1970 til 1975*).
Average concentration of $\text{NO}_3\text{-N}$ in drainage water from different fields at Askov Experimental Station, by years*).

*) 1975/76: ingen afstrømning: no run off.

eller tilføres med gødning. Da nitrationen praktisk taget ikke fastholdes af jordkolloiderne, vil den være udsat for udvaskning, når betingelserne herfor er til stede.

Udvaskning af $\text{NO}_3\text{-N}$ i efterår og vinterhalvåret hidrører især fra mineralisering af planterester, da kvælstofgødning, som tilføres planterne i vækstperioden optages af disse. Kofod og Kjellerup (1970) viste, at bygplanter optager tilført gødningskvælstof i løbet af 5–6 uger, men at nedvaskning af nitratgødning kan forekomme på let sandjord om foråret, når der efter gødningsudbringning, og før planterne kan optage kvælstof, falder et nedbørsoverskud på 50–60 mm.

Vandbalance

Da nitrationen findes frit bevægelig i jorden, kan der kun ske udvaskning, når der er nedadgående

vandbevægelse. Hvornår denne opstår afhænger af flere forhold.

Vandets kredsløb i naturen kan udtrykkes i følgende ligning:

$$N = Ea + Ao + Au + R$$

hvor N = nedbør, mm

Ea = aktuel fordampning, mm

Ao = overfladisk afstrømning, mm

Au = underjordisk afstrømning, mm

R = ændring i jordens vandindhold, mm

Når jorden er mættet til naturlig markkapacitet, kan man se bort fra ændringer i jordens vandindhold, og ligningen kan skrives som:

$$N = Ea + Ao + Au$$

Ea angiver den fordampning, der virkelig finder sted. Størrelsen af denne er bestemt af klimaet, vandmængden, der er til rådighed, og afgrødens art. Som gennemsnit for hele landet har den aktu-

elle fordampning over en tiårig periode været større end nedbøren fra omkring midten af april til midt i august måned (Aslyng, 1976).

Det første nedbørsoverskud om efteråret vil ikke give anledning til afstrømning, da jorden først skal fyldes op til naturlig markkapacitet. Når dette er sket, vil der med yderligere nedbør være mulighed for afstrømning.

Under danske forhold udgør den underjordiske afstrømning, Au, langt den overvejende del af afstrømningen. Den kan deles mellem afstrømning gennem dræn og afstrømning til dybere liggende grundvand. Hvor stor en del af afstrømningen der løber i drænene afhænger bl.a. af jordens gennemtrængelighed og nedbørsintensiteten. Bennetzen finder i sine undersøgelser på svær lerjord, at 30–40 pct. af nedbøren ledes bort gennem dræn (Bennetzen, 1978).

Med det formål at klarlægge et eventuelt sammenhæng mellem kvælstofgødningsintensitet og kvælstofudvaskning, blev der derfor 1972 ved Askov forsøgsstation anlagt markforsøg på svær

lerjord (Sdr. Stenderup v. Kolding), og til supplerende af markforsøget anlagdes lysimeterforsøg (ved Askov) med samme jord. Forsøget er planlagt til at strække sig over en 10-årig periode med forskellige afgrøder.

Nærværende beretning omfatter markforsøget 1973–77.

Forsøgets gennemførelse og teknik

I samarbejde med *Det danske Hedeselskab* blev et i 1946 systematisk drænet lerjordsareal valgt som forsøgsareal. Betingelserne var, at arealet skulle være ensartet og tydeligt afgrænset, med drænsystem i fuld funktion og med tilstrækkelig mange drænstrengte af samme længde.

Det udvalgte areal er 2,6 ha stort, beliggende i det sydlige Jylland, Sdr. Stenderup, øst for Kolding. Areal tilhører proprietær H. C. Juhl, »Lykkesgård«.

Teksturanalyse for arealet er for dybden indtil 110 cm vist i tabel 2.

Tabel 2. Texturanalyse 1973 af jord fra Sdr. Stenderup.
Texture 1973 for Sdr. Stenderup soil.

Dybde, cm Depth, cm	Pct.			
	ler clay	silt silt	finsand fine sand	grovsand coarse sand
0–20.....	15,2	22,7	42,0	20,1
20–40.....	23,6	24,4	33,9	18,1
40–60.....	24,9	23,2	33,2	18,7
60–80.....	24,8	25,1	31,9	18,2
80–100.....	23,5	25,8	33,0	17,7
100–110.....	22,2	22,5	35,4	19,9

Det ses, at det er en god lerjord med 15 pct. ler i pløjelaget og 24 pct. svær ler i undergrunden, fra 20 til 110 cm dybde.

Endvidere ses, at jorden er forholdsvis ensartet ned til en dybde af 100 cm, hvilket svarer til drændybden.

I tabel 3 er vist resultat af jordbundsanalyser ved forsøgets anlæg og i 1977.

I drænsystemet, som er skitseret i figur 3, er valgt 8 sideledninger, hver 180 m lange, med en drænaftand på 18 m. Forsøgsarealet har 2 pct.

Tabel 3. Jordbundsanalyser Sdr. Stenderup, 0–20 cm.
Soil indices, Sdr. Stenderup, 0–20 cm.

	Rt	Kt	Ft	Mgt	Cut
1973	7,2	12,4	8,2	6,9	3,5
1977	7,6	11,9	9,6	7,3	4,0

fald med syd. De sideledninger, der ligger nord for forsøget, virker som vandskel for arealet. Mod vest er der, som det fremgår af figuren, naturligt vandskel.

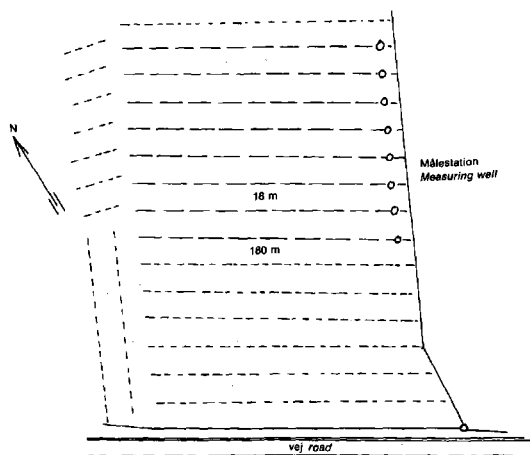


Fig. 3. Skitse over drænsystem ved Sdr. Stenderup.
Map showing drain system at Sdr. Stenderup.

Med det formål at bestemme den totale afstrømning fra de enkelte dræn så nøjagtigt som muligt blev der i vinterhalvåret 1972-73 i hver af de otte dræneledninger anbragt en specielt til formålet konstrueret prøveudtagnings- og målestation, hvis opbygning er vist i figur 4.

Nederst består den af et glasfiberarmeret

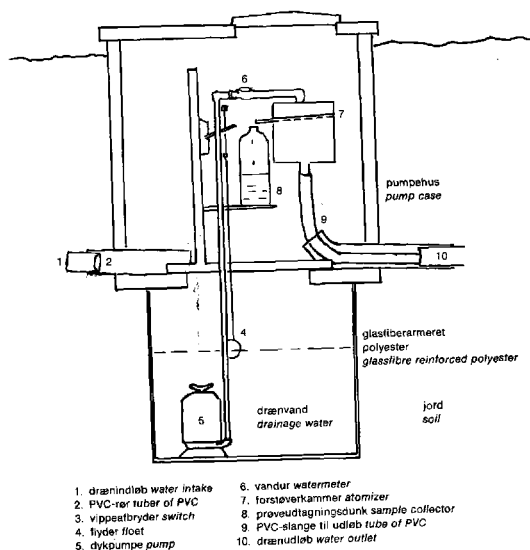


Fig. 4. Skitse af station til måling og prøveudtagning af drænvand.
Sketch of measuring well for sampling of drainage water.

PVC-kar, som er indifferent over for drænvandet. Ovenpå PVC-karret er anbragt en cementbeholder med et hul på 60 cm i diameter. Selve cementbeholderen er 120 cm i diameter, når ca. 10 cm op over jordoverfladen og er aldrig i forbindelse med drænvandet. Beholderen er dækket med et betondæksel med cirkulært mandehul.

I cementbeholderen findes ind- og udgang for drænelledning samt stativ til pumpe, vandur og prøveudtager. Desuden er der i forbindelse med pumpen anbragt en el-transformator, som styrer en stoptester, der registrerer på en papirstrimmel, når pumpen er i funktion.

Pumpen, som har en kapacitet på ca. 2000 liter i timen, aktiveres ved en bestemt fyldningsgrad i PVC-karret af en flyder.

Drænvandet pumpes gennem vanduret til registrering af vandmængde og derfra til prøveudtageren, som er således indrettet, at der automatisk udtages ca. 2 promille som en repræsentativ analyseprøve. Efter at vandet har passeret prøveudtageren, fortsætter det som afløb videre ud i drænsystemet.

Ved forsøgsarealet er anbragt fordampningsmåler, nedbørsmåler og pluviograf, hvorved nedbørsmængde og -intensitet registreres kontinuerligt.

Vandprøver til tungmetalbepæstelse er altid udtaget ved drænets tilløb til brønden for at undgå eventuelle forureninger af tungmetaller fra pumpen.



Forsøgsanlæg ved Sdr. Stenderup 1978. Stop-tester, fordampningsmåler, pluviograf og målestation.
Leaching experiments at Sdr. Stenderup 1978. Stop-tester, pan (0.315), pluviograph and measuring well.

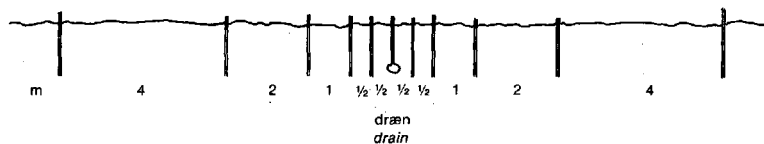


Fig. 5. Skitse over piezometrenes placering.
Sketch showing the location of the piezometer tubes.

I afstrømningsperioderne 1973–74 og 1974–75 er der foretaget måling af det øvre grundvandspejl i jorden ved hjælp af piezometerrør. Målepunkterne var placeret på tværs af drænene, som vist i fig. 5.

De anvendte piezometre består af plastikrør, »elektrikerrør«, med 19 mm lysning. Den nederste ende er lukket, og derover er boret 10 stk. 4 mm huller for passage af jordvand. Uden om hullerne er viklet fibertex for at hindre, at de fyldes med jordpartikler. Piezometrene er ført 130 cm ned i jorden.

Afstanden fra overkant til vandet i piezometret er målt med et tyndt rør med skalainddeling à 1 cm. Ved at sænke målerøret ned i piezometret og samtidig blæse i røret, kan man tydelig høre, når målerøret er i kontakt med vandspejlet i piezometret.

På grundlag af afstrømningsmålinger i 1972–73 er den endelige parcellfordeling foretaget. Parcelstørrelsen er $18 \text{ m} \times 180 \text{ m} = 3240 \text{ m}^2$. Den enkelte parcel er under hensyn til arealets fald på 2 pct. placeret således, at der er 8 m oven for og 10 m neden for drænledningen, i alt 18 m parcellbredde. Forsøget er gennemført med 2 fællesparceller.

Gødningsplan

Kvælstof blev tilført i kalkammonsalpeter efter følgende plan:

- 0 N
- 1 N
- 2 N
- 3 N

1 N svarer til 55 kg N/ha til byg og

75 kg N/ha til vinterhvede og raps.

Forsøgsgødningen til forårssåede afgrøder blev udbragt umiddelbart efter kornsåningen med gødningsspreder af radsåmaskintype. Til vinterhveden den 28. april.

Nedenstående ses datoerne for såning og høst i de enkelte år

År	Afgroede	Dato	
		sået	høstet
1973	byg	21/3	1/8
1974	byg	3/4	20/8
1975	byg	18/3	8/8
1976	raps	26/4	25/8 og 30/8
1976	hvede	28/9	30/8–77

Forsøgsarealet er i alle år grundgødet med P og K i form af 545 kg 0-5-13/ha undtagen 1977, hvor der er tilført 545 kg 0-6-10/ha. Grundgødningen er i alle år udstrøet om efteråret.

Høstning af forsøget er foretaget i samarbejde med Kolding Herreds Landbrugsforening.

Analysearbejdet

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

Afgrøden er analyseret for total-N, og i drænvand er der bestemt $\text{NO}_3\text{-N}$, vandopløselig P, K, Na, Ca, Mg, $\text{SO}_4\text{-S}$, Cl, HCO_3^- og ledningsevne (mho). Endvidere er der foretaget analyse for: Cu, Cd, Pb, Ni, Cr, Mn, Co og F. Sidstnævnte analyser er udført ved Centralanalytisk Laboratorium i Vejle.

For hver prøveudtagning er beregnet udvaskning af de nævnte stoffer i kg eller g pr. ha for den pågældende periode. Der er regnet med det hydrologiske år 1. juli–30. juni. Til kontrol af analyseresultaterne fra hver vandprøve er der foretaget beregning af anion/kation-balance.

Resultater

Nedbør og afstrømning

Beregning af nedbørsoverskud og nedbørsunderskud på grundlag af nedbør og potentiel fordamp-

Tabel 4. Nedbør og afstrømning, mm. Sdr. Stenderup 1973–77.
Precipitation and drainage water, mm.

	Nedbør <i>Precipitation</i> for hele året <i>full year</i> 1/7–30/6	i afstrømnings- perioden <i>for the period</i> of run-off	Afstrømning gennem dræn <i>Run-off</i> in drains	Årsnedbør ÷ afstrømning gennem dræn <i>Yearly preci- pitation – run-off in drains</i>
1973/74	736	383	148	588
1974/75	778	423	249	529
1975/76	574	112	6	568
1976/77	640	255	98	542
1977/78	756	479	207	549

ning fra april til november i forsøgsperioden viser, at der i 1973 og 1974 er målt nedbørsoverskud allerede i september-oktober. I 1975 er nedbørs-

overskud først konstateret i november og i 1976 og 1977 i oktober.

Efter at jorden er fyldt op til markkapacitet, er afstrømningen bestemt af nedbørens størrelse i afstrømningsperioden. Hvor stor en del af nedbøren, der afledes gennem dræn, er til dels bestemt af nedbørens intensitet.

I tabel 4 er årsnedbøren vist sammen med nedbøren i afstrømningsperioden og afstrømningen gennem dræn. Desuden ses differensen mellem årsnedbør og drænvandsmængde, den der repræsenterer summen af fordampet nedbør og vand sivet imellem drænene.

Det ses, at fordampning + nedsivning mellem drænene repræsenterer en ret konstant mængde fra år til år.

I fig. 6 er vist nedbørens og afstrømningens fordeling for de 5 år.

For de to første år 1973/74 og 1974/75 har der været afstrømning fra november til hen i april måned. For 1975/76 har der kun været meget lille afstrømning, og i 1976/77 er afstrømningen først begyndt i januar måned. Det ses endvidere, at for afstrømningsperioden 1977/78 er der i marts måned målt den største nedbør 147 mm og største afstrømning 82 mm.

Som et eksempel på sammenhæng mellem nedbørs- (mm) og afstrømningsintensitet (1/sec/ha) er resultaterne af målinger fra december 1974 vist i figur 7.

Det ses, at der har været stor variation i afstrømningsintensiteten, samt at der er nøje sammenhæng mellem nedbørs- og afstrømningsinten-

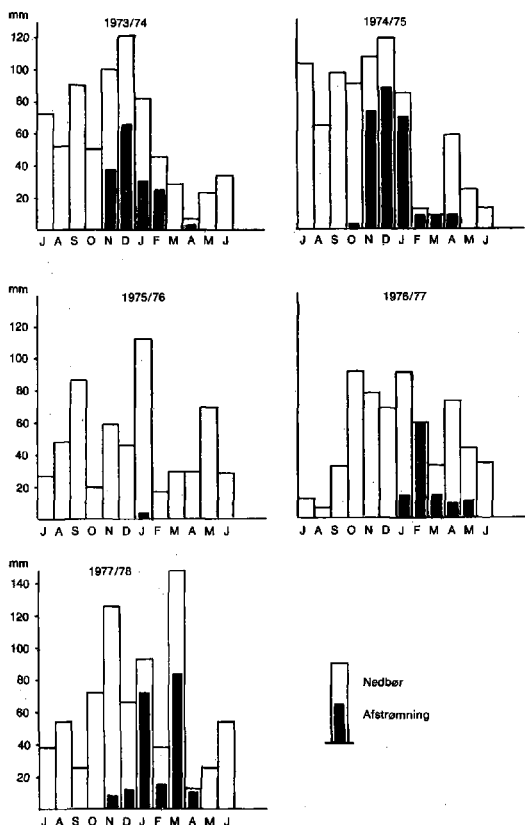


Fig. 6. Nedbør og afstrømning, Sdr. Stenderup 1973–78.

Precipitation and run-off, Sdr. Stenderup 1973–78.

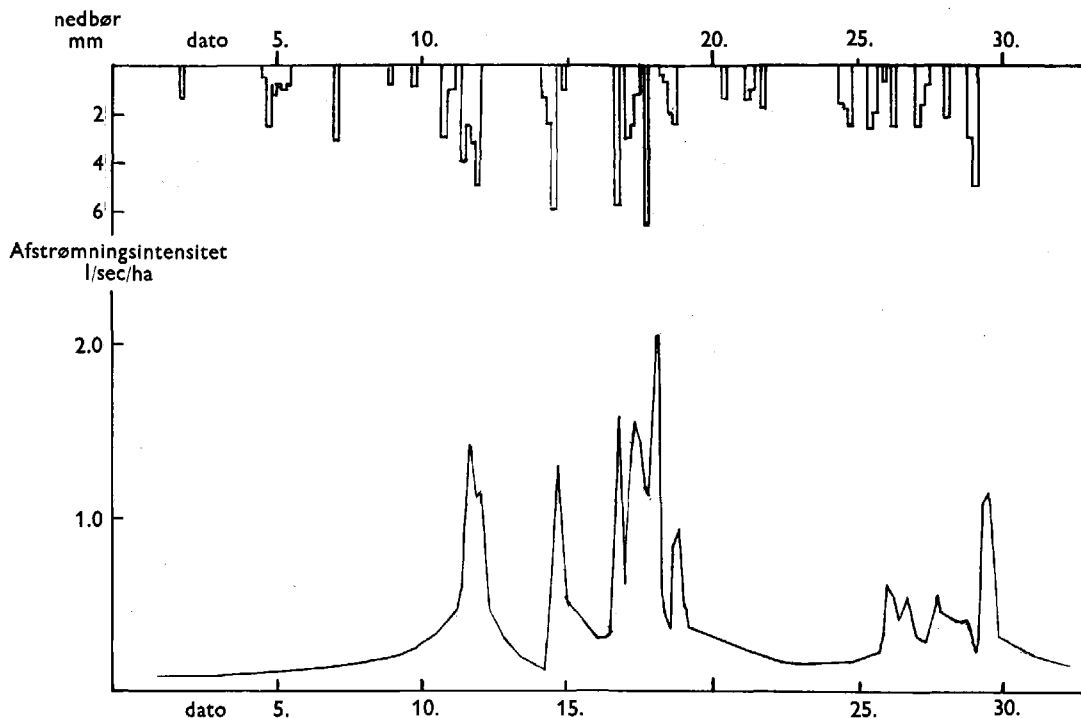


Fig. 7. Nedbør og afstrømningsintensitet, Sdr. Stenderup, december 1974.

Intensity of run-off following rain fall. Sdr. Stenderup in December 1974.

sitet. Sammenligning af værdierne viser, at der går ca. 4 timer fra begyndende kraftig nedbør til begyndende stigning i afstrømningsintensitet. Endvidere ses, at afstrømningsintensiteten falder relativt hurtigt igen.

Periodevis er det temporære grundvandspejl målt ved hjælp af piezometerrør.

Eksempler på resultater fra disse målinger er vist i figur 8 for den 14. december, hvor det regnede, og hvor der var kraftig afstrømning, samt i

figur 9 for den 20. december, hvor der ingen nedbør var.

I figur 8 finder vi det højeste grundvandspejl, og det »dykker« ved hvert dræn. I figur 9 ses, at grundvandspejlet ligger nærmere drænene og er forholdsvis jævnt.

Som følge af varierende nedbør og afstrømning er der udtaget et varierende antal prøver i de 5 år. I tabel 5 vises afstrømningsperiodens længde i de enkelte år, samt antallet af udtagne prøver.

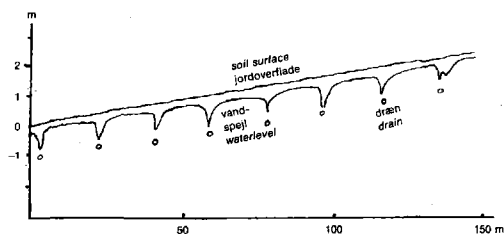


Fig. 8. Piezometermåling, Sdr. Stenderup 14/12-1973.

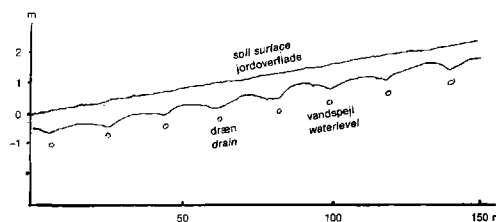


Fig. 9. Piezometermåling, Sdr. Stenderup 20/12-1973.

Tabel 5. Dato for første og sidste prøveudtagning og prøveantal.

Sampling period and number of samples.

		Antal prøver Number of samples
1973/74	01/11-73 – 03/04-74	20
1974/75	30/10-74 – 16/04-75	20
1975/76	09/01-76 – 28/04-76	4
1976/77	19/01-77 – 17/05-77	13
1977/78	01/11-77 – 18/04-78	19

Inden for den anførte afstrømningsperiode forekommer perioder uden afstrømning. Det gælder specielt for 1975-76, hvor der generelt var meget lille afstrømning.

Udbytte

I 1973-75 var afgrøden byg, 1976 sommerraps og 1977 hvede. Høsttidspunktet for de enkelte år er vist i teksttabel side 336. På grund af forskellig modningstid er rapsen i forsøget høstet ad 2 gange. Afgrøden i de to svagest gødede led var tidligere moden end den i de kraftigere gødede. Udbyttet i kerne og halm for de 5 år er vist i tabel 6.

Det ses, at der i alle årene er målt stigende udbytte med stigende N-tilførsel op til normalgødede led, hvilket for byg under de givne dyrkningsbetingelser har været 110 kg N/ha og for sommerraps og hvede 150 kg N/ha. Tilførsel af den største kvælstofmængde har i årene 1973, 1974 og 1977 givet lejesæd, og der er høstet lavere kerneudbytte sammenlignet med det normalgødede led.

I 1975 med den relativt tørre vækstperiode er der ikke konstateret lejesæd ved tilførsel af selv den største N-mængde, hvor der da også blev høstet det største kerneudbytte i byg, nemlig 71 hkg/ha.

Uden kvælstofanvendelse er der høstet mindre udbytte i 1975 end i de to foregående år.

Med stigende kvælstofgødskning har planterne haft betingelser for dannelse af et større rodnet og har dermed på den forholdsvis svære jord i den tørre vækstsæson 1975 kunnet klare vandforsy-

Tabel 6. Virkning af kvælstoftilførsel til byg, hvede og raps på høstudbyttet, Sdr. Stenderup 1973-77.

Effect on yield of nitrogen fertilizing to small grains and rape, Sdr. Stenderup 1973-77.

	0	1 N	2 N	3 N
	kerne og rapsfrø, hkg/ha grain and seeds, dt/ha			
1973, byg barley	35,6	48,0	52,1	45,5
1974, byg barley	40,8	56,7	61,2	59,2
1975, byg barley	26,2	50,1	64,2	70,8
1976, raps rape	17,2	27,2	33,1	34,3
1977, hvede wheat	32,0	61,2	88,4	79,5
	halm, hkg/ha straw, dt/ha			
1973, byg barley	—	—	—	—
1974, byg barley	20,1	31,5	29,2	28,9
1975, byg barley	13,7	38,1	50,6	54,4
1976, raps rape	41,1	51,1	63,1	67,0
1977, hvede wheat	26,6	41,6	70,4	84,5

1 N er 55 kg N/ha til byg og 75 kg N/ha til raps og hvede. Kerne og halm er angivet med 15% vand, rapsfrø med 9% vand.

1 N comprises 55 kg/ha for barley and 75 kg/ha for rape and wheat. Weight of grain and straw includes 15% of water, seeds 9%.

ningen. I forbindelse med megen varme og sol dette år, har det givet gode vækstbetingelser, hvorved der er høstet store udbytter og merudbytter for kvælstoftilførsel.

En beregning efter hyperbelligningen (*Bondorff*, 1935) af den økonomisk optimale gødningsmængde viser følgende for de 5 år:

	kg N/ha
1973, byg	85
1974, byg	108
1975, byg	150
1976, raps	190
1977, hvede	165

Kvælstofoptagelse

I tabel 7 er vist det procentiske N-indhold i afgrøden.

Det ses, at det procentiske indhold i kerne og halm i alle årene er stigende med stigende N-tilførsel.

Tabel 7. Kvælstofindhold i afgrøderne, pct. N i tørstof.
Nitrogen content in crops, pct. N in dry matter.

	0	1 N	2 N	3 N
	kerne og frø grain and seeds			
1973, byg barley	1,38	1,49	1,57	1,87
1974, byg barley	1,46	1,58	1,80	1,89
1975, byg barley	1,44	1,48	1,59	1,69
1976, raps rape	2,63	2,92	3,52	3,72
1977, hvede wheat	1,39	1,65	2,12	3,72

	halm straw			
1973, byg barley	—	—	—	—
1974, byg barley	0,41	0,49	0,67	0,77
1975, byg barley	0,35	0,32	0,42	0,61
1976, raps rape	0,29	0,36	0,63	0,84
1977, hvede wheat	0,23	0,27	0,44	0,59

Afgrødernes kvælstofoptagelse i kerne (frø) og halm, er vist i figur 10.

Af figuren fremgår, at der er høstet stigende merudbytter i kvælstof med stigende gødskning, også i de år, hvor den største kvælstofmængde har

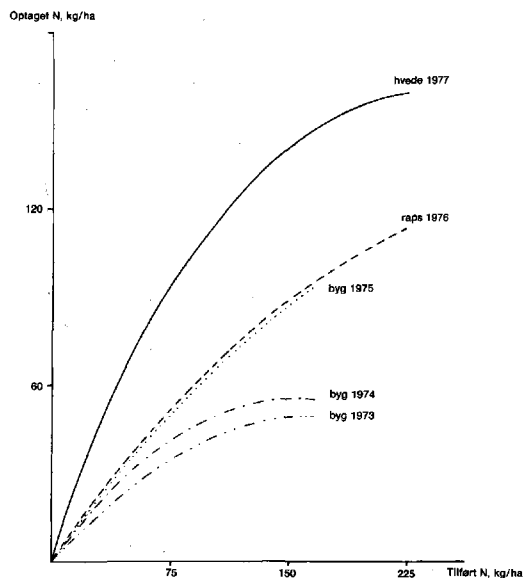


Fig. 10. Meroptagelse af kvælstof i afgrøden. Sdr. Stenderup 1973-77.

Additional removal of nitrogen in the crop. Sdr. Stenderup 1973-77.

givet nedgang i afgrødeudbyttet set i forhold til normalgødgede led.

Straks efter at rapsen var mejetærsket, blev halm og stub findelt ved hjælp af grønthøster og derpå pløjet ned. De nedpløjede kvælstofmængder er vist nedenstående:

Forsøgsled	0 N	1 N	2 N	3 N
Kvælstof kg/ha	10	16	35	48

Der er en tydelig stigning i indhold med stigende kvælstoftilførsel.

Kvælstofudvaskning

Udvaskningen af kvælstof er vist i tabel 8.

Ved sammenligning mellem de fem års afstrømningsperioder ses, at kvælstofudvaskningen er afhængig af den afstrømmede vandmængde. Hvor der har været størst afstrømning, er der udvasket mest kvælstof.

Tabel 8. Afstrømning og kvælstofudvaskning gennem dræn i Sdr. Stenderup.

Drainage water and leaching of nitrogen at Sdr. Stenderup.

	Afstrømning, mm Drainage water, mm	Udvaskning af NO ₃ -N, kg/ha Leaching of NO ₃ -N, kg/ha			
		0 N	1 N	2 N	3 N
1973/74	148	12,8	14,3	16,1	17,6
1974/75	249	15,1	17,1	20,9	31,1
1975/76	6	2,0	0,9	0,4	0,1
1976/77	98	3,4	4,9	5,6	15,4
1977/78	207	16,2	18,6	21,3	37,7

Inden for de enkelte afstrømningsperioder er der målt stigende kvælstofudvaskning med stigende kvælstofgødskning, bortset fra 1975-76. Forskellene er små, men hvor der er givet væsentligt større kvælstofmængder, end planterne har kunnet udnytte, stiger kvælstofudvaskningen.

Afstrømningen i 1975-76 var meget lille, gennemsnitlig 6 mm, men dog størst efter det ikke kvælstofgødgede led, da vandforbruget den fore-

gående vækstperiode her var mindst som følge af den mindre planteproduktion.

Den større afstrømning fra led 0 N har givet den største kvælstofudvaskning dette år.

Lignende forhold har gjort sig gældende for de øvrige år. Afstrømningen er begyndt lidt senere på de arealer, hvor der har været kraftigst gødet og dermed større rodintensitet.

Kvælstofkoncentration i drænvandet

Det er af stor interesse at kende koncentrationen af $\text{NO}_3\text{-N}$ i drænvand, da udvaskningen af kvælstof medfører uønsket tab af et værdifuldt plantenæringsstof, og samtidig kan vore vandressourcer påvirkes i uheldig retning, bl.a. i forbindelse med eutrofiering.

I figurene 11–14 er kvælstofkoncentrationen i

drænvandet vist for hver af de 4 afstrømningsperioder 1973/74, 1974/75, 1976/77 og 1977/78.

Af figurene ses, at prøveudtagningen er begyndt og sluttet på forskellige tidspunkter fra år til år, og at der er forskel på N-koncentrationen imellem de forskellige forsøgsled inden for samme afstrømningsperiode.

For 1973/74, hvor der lige før og under afstrømningens begyndelse var kraftig nedbør, ses, at koncentrationen i drænvandet for alle forsøgsleds vedkommende havde et relativt højere niveau ved afstrømningens begyndelse. For de tre år, hvor der var moderat nedbør i begyndelsen af perioden, ses, at koncentrationen ved første prøveudtagning lå på et relativt lavt niveau, for derefter at stige ved næste prøveudtagning. Det ses tydeligst for det stærkest gødede led. For 1974/75

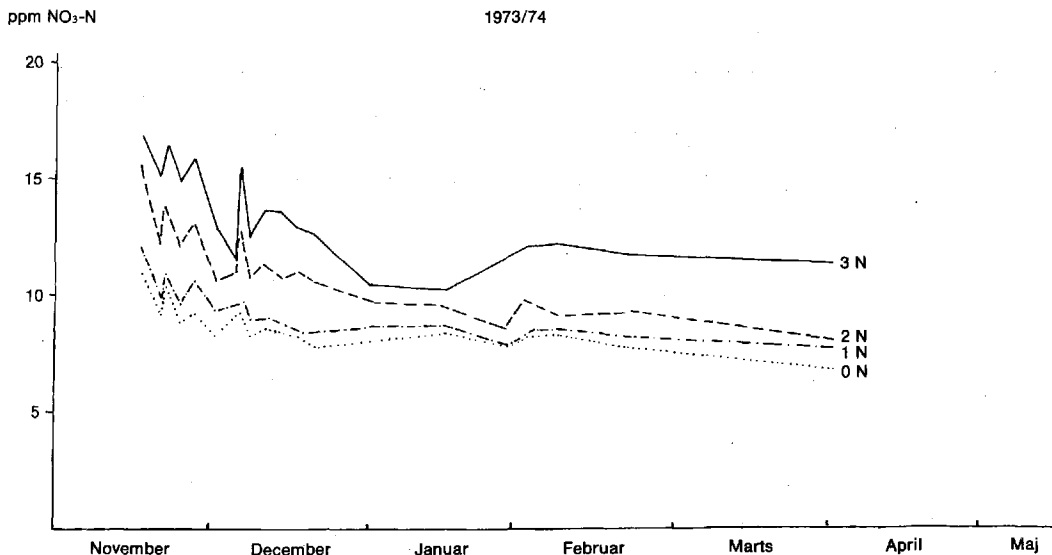


Fig. 11. $\text{NO}_3\text{-N}$ -koncentration i drænvand, Sdr. Stenderup 1973/74.

Concentration of $\text{NO}_3\text{-N}$ in drainage water, Sdr. Stenderup 1973/74.

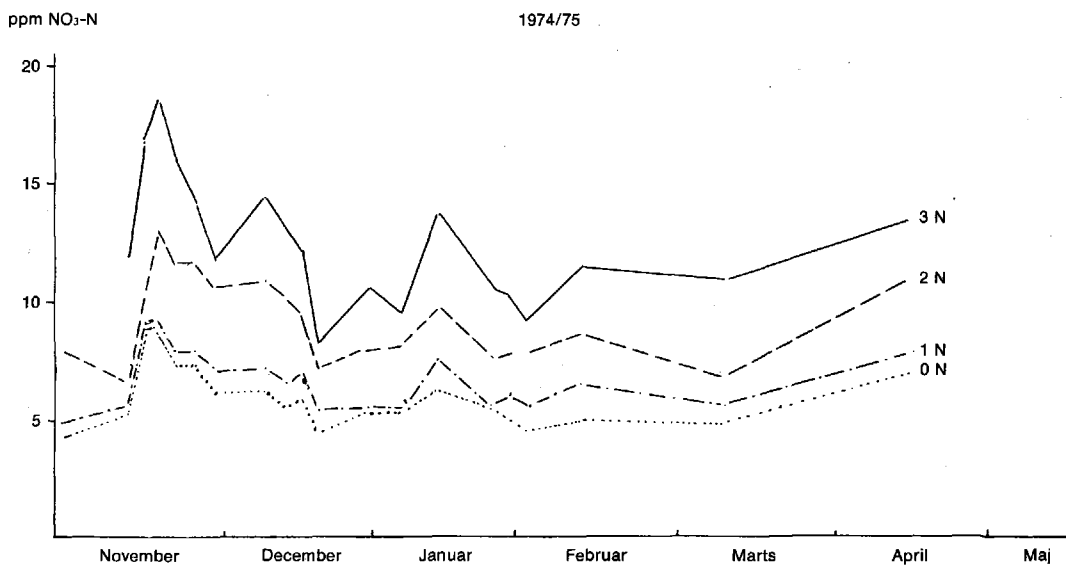


Fig. 12. $\text{NO}_3\text{-N}$ -koncentration i drænvand, Sdr. Stenderup 1974/75.
Concentration of $\text{NO}_3\text{-N}$ in drainage water, Sdr. Stenderup 1974/75.

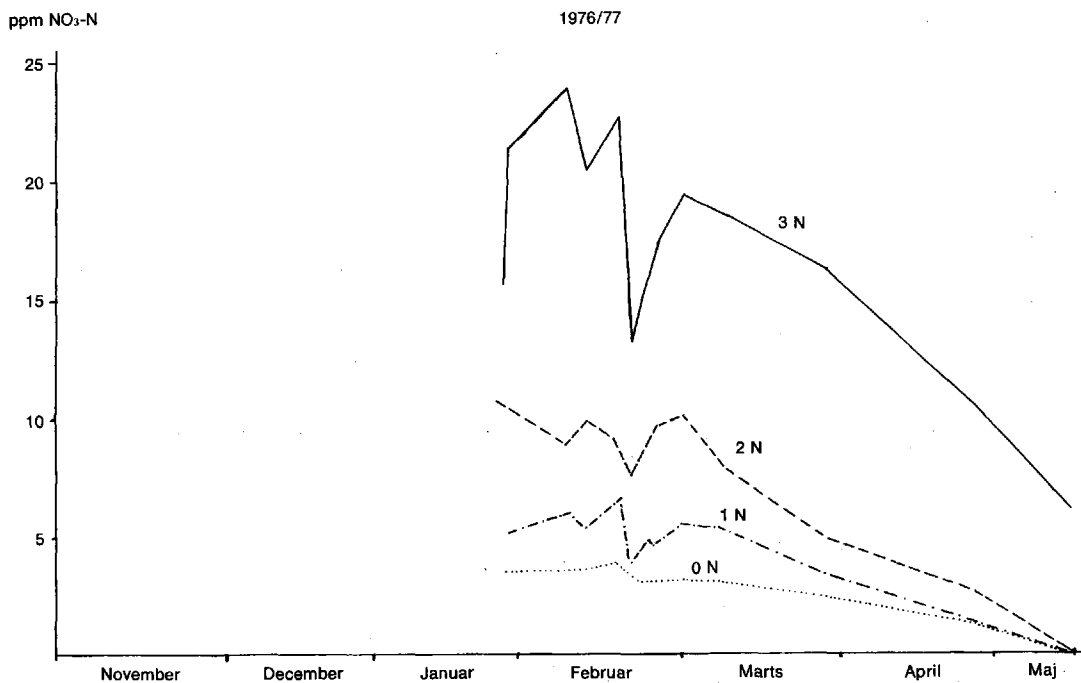


Fig. 13. NO₃-N-koncentration i drænvand, Sdr. Stenderup 1976/77.

Concentration of NO₃-N in drainage water, Sdr. Stenderup 1976/77.

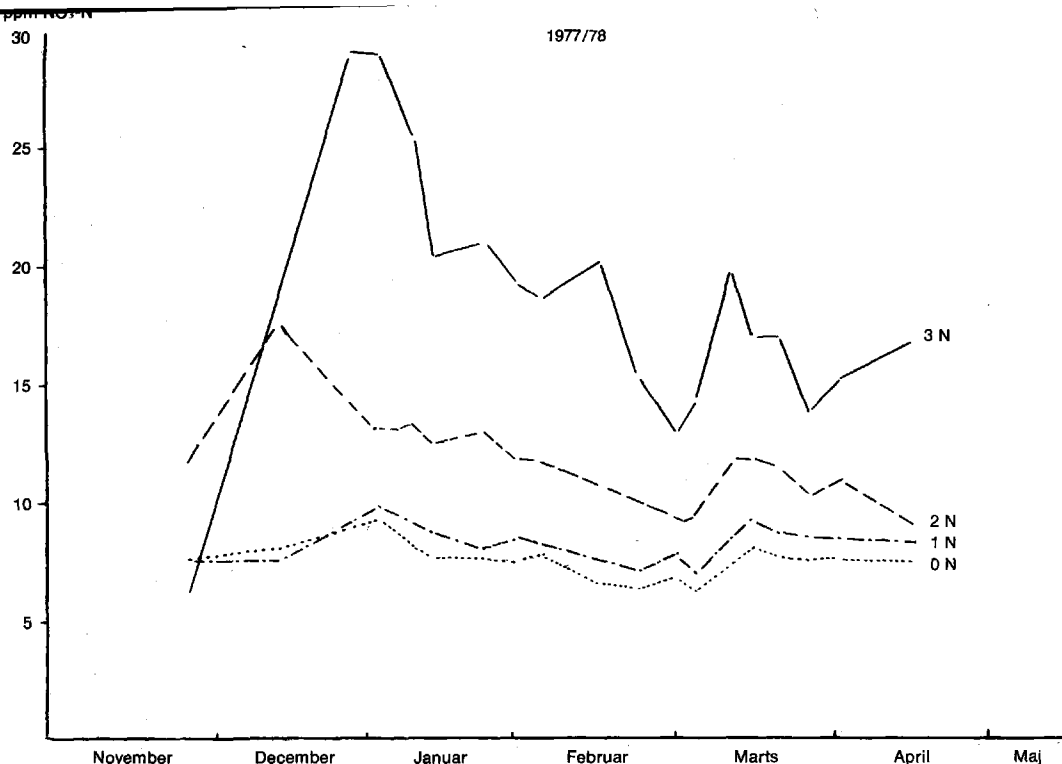


Fig. 14. NO₃-N-koncentration i drænvand, Sdr. Stenderup 1977/78.

Concentration of NO₃-N in drainage water, Sdr. Stenderup 1977/78.

ses endvidere, at afstrømningen fra det stærkest gødede led er begyndt ca. en uge senere end fra de øvrige.

Generelt finder man de højeste koncentrationer i begyndelsen af perioden, og der ses stigende koncentration med stigende kvælstoftilførsel med en kraftig forøgelse, når man går fra normal gødsning til overgødsning.

Koncentrationen ligger konstant højere for det stærkest gødede led end for de øvrige led hele perioden igennem. Forskellen mellem det stærkest gødede led og de øvrige er mindst i 1973/74 og størst i 1977/78.

I 1974/75 blev der i alle forsøgsleddene målt højere nitratkoncentration i drænvandet ved sidste prøveudtagning. Dette skyldes sandsynligvis, at med den stigende temperatur i jorden i forårs-månederne er der sket en stigende mineralisering af planterester, og da der ingen afgrøde fandtes til at optage det frigjorte kvælstof, er der sket en stigende udvaskning. Modsat i 1976/77 blev der

ikke fundet NO₃-N i drænvandet i de 3 svagest gødede led ved sidste prøveudtagning, medens der for det stærkest gødede led er målt en koncentration på 6 ppm NO₃-N.

Forklaringen på det relativt lave kvælstofindhold kan være, at den i efteråret såede hvede delvis har optaget noget af det mineraliserede kvælstof fra den nedpløjede rapshalm (se s. 340), en antagelse der støttes af, at der tydeligt kunne iagttages forskel i hvedens vækst før kvælstoftilførsel. I de parceller, som til den forrige afgrøde, raps, havde fået tilført størst mængde kvælstof, stod hveden kraftigst.

Udvaskning af andre plantenæringsstoffer end kvælstof

Interessen for udvaskning af andre næringsstoffer end kvælstof knytter sig for fosfors vedkommen-de til eutrofiering, medens kalium ikke regnes som et forurenende stof i denne sammenhæng.

Kendskab til udvaskning under markforhold af

Tabel 9. Indhold af andre plantenæringsstoffer i drænvand, årsgennemsnit, mg/l.
Average concentration of other plant nutrients in drain water, by years, mg/l.

	P	K	Na	Ca	Mg	Cl	SO ₄ -S
1973/74	0,056	0,4	10,0	114,8	4,9	38,5	24,1
1974/75	0,063	0,4	9,5	108,2	4,6	35,9	23,4
1975/76	0,054	0,3	10,2	98,9	4,7	33,9	28,2
1976/77	0,028	0,4	10,0	100,0	4,4	35,4	27,1
1977/78	0,047	0,4	10,9	107,3	4,5	36,5	28,5

en række andre stoffer er ligeledes af megen betydning i forbindelse med overvejelser om eventuel vandforurening.

I det følgende redegøres der for udvaskningen af P og K samt en række andre stoffer, tabel 9.

Der er ikke fundet signifikante forskelle mellem forsøgsleddene i koncentrationen af andre plan-

tenæringsstoffer i drænvandet. Udvasningen er hovedsagelig afhængig af drænvandsmængden, da koncentrationen af næringsstoffer i drænvandet er relativt konstant fra år til år.

I tabel 10 er vist, hvor mange kg, der er udvasket i alt pr. ha af de enkelte næringsstoffer.

Tabel 10. Udvasning af andre plantenæringsstoffer kg/ha.
Leaching of other plant nutrients, kg/ha.

	P	K	Na	Ca	Mg	Cl	SO ₄ -S
1973/74	0,04	0,5	12,6	149	6,1	50	32
1974/75	0,18	1,1	24,4	276	11,7	90	59
1975/76	0,00	0,0	0,6	5	0,2	2	1
1976/77	0,03	0,3	9,8	97	4,3	34	26
1977/78	0,03	0,9	22,5	221	9,5	75	59

Det ses, at der generelt er meget lille udvaskning af fosfor og kalium. De øvrige næringsstoffer udvaskes i betydeligt større mængder, og navnlig calciumudvaskningen er stor. Udvasningen af 149 kg Ca (1973-74) svarer til ca. 400 kg jordbrugs kalk pr. ha.

Udvaskning af tungmetaller

Som tidligere omtalt er drænvand til analyse for tungmetaller udtaget direkte fra drænudløb. Der er ikke fundet signifikante forskelle mellem forsøgsleddene i koncentrationer af tungmetaller i drænvand. I tabel 11 er vist koncentration i drænvand udtaget i 1974/75 og i 1976/77.

Tabel 11. Koncentration af tungmetaller i drænvand, årsgennemsnit.
Average concentrations of heavy metals in drainage water, by years.

	Cu	Cd	Pb	ppb Ni	Cr	Mn	Co	ppm F
1974/75	7	0,9	7	12	7	65	1	
1976/77	8	0,2	1	<10	5	<5	0,17	

Af tabel 12 fremgår, at det er meget små mængder tungmetaller, der udvaskes med drænvandet.

Kvælstofanvendelse i større eller mindre mængder har således ikke påvirket udvasningen.

Tabel 12. Udvaskning af tungmetaller, g/ha
Leaching of heavy metals, g/ha.

	Cu	Cd	Pb	Ni	Cr	Mn	Co	F
1974/75	17	2	17	30	17	165	3	
1976/77	8	0,2	1	<10	<10	5	<5	167

Diskussion

I de foran omtalte forsøg er vist sammenhængen mellem stigende kvælstofgødskning til afgrøden og udvaskning af plantenæringsstoffer og andre stoffer med drænvand.

Tørstofudbyttet har i alle år været stigende med stigende kvælstofgødskning op til det normalgødgede led (tabel 6). I 1975 var der dog størst udbytte af det stærkest gødgede led. Ved stærkere gødskning har der i tre af årene været lejesæd i kornet med lavere kerneudbytte til følge. For rapsens vedkommende har der kun været en ubetydelig stigning i tørstofudbyttet ved at overdosere med kvælstof.

I modsætning til tørstofudbyttet er der i alle år høstet stigende kvælstofudbytte med stigende gødskning, også i de år, hvor størst kvælstofmængde til afgrøden har givet nedgang i afgrødeudbyttet set i forhold til normalgødgede led (figur 10).

Kvælstofudvaskningen gennem dræn er vist at være afhængig af afstrømningsmængden. Hvor der har været størst afstrømning, er der udvasket mest kvælstof.

En beregning over sammenhæng mellem årsnedbør og drænvandsmængde er medtaget i figur 15.

De gennemførte målinger har vist, at ved en årsnedbør på ca. 560 mm vil der under de givne betingelser ikke forekomme afstrømning gennem dræn og dermed ingen N-udvaskning med drænvand.

Af tabel 8 fremgik, at selv uden kvælstoftilførsel til afgrøden er der kvælstofudvaskning gennem drænene. Ved N-gødskning op til normaldosering er der kun målt ringe stigning i kvælstofudvaskningen. Ved relativt kraftig kvælstofgødskning ses der en stærk stigning i kvælstofudvaskningen, bortset fra forsøgets første år, hvor over-

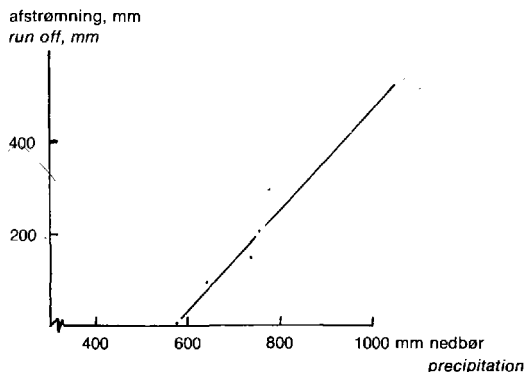


Fig. 15. Forholdet imellem nedbør og afstrømning, Sdr. Stenderup 1973-77.

Relation between precipitation and run-off, Sdr. Stenderup 1973-77.

gangsphenomena gør sig gældende, og for året uden afstrømning. (Se figur 16).

Den mængde kvælstof, der udvaskes fra rodzonen, er afhængig af den vandmængde, der passerer gennem jordlaget. For en given jord vil mængden af gennemsivningsvand således blive afgørende for udvaskningstabets størrelse alle andre forhold lige. Gennemsivningsvandet fremkommer som difference mellem nedbør og fordampning.

Hvor stor en del af gennemsivningsvandet, der afledes gennem drænene, har det med den anvendte teknik ikke været muligt at bestemme, idet differensen N-Ad, der omfatter summen af fordampning og afstrømning imellem dræn, ikke kan opdeles.

Piezometer- og intensitetsmålinger tyder på, at vandet ved stor nedbørsintensitet kan løbe langs plovsaalen til nærmeste dræn, hvor jorden som følge af nedlægning af drænet er lettere gennemtrængelig for vand, end hvor den henligger i uforstyrret lejrning.

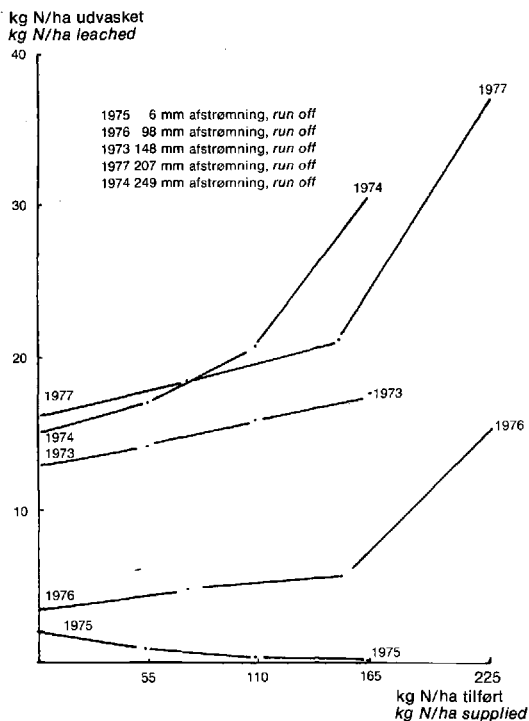


Fig. 16. Sammenhæng mellem gødskning og N-udvaskning ved forskellig afstrømningsmængde.
Relations between nitrogen fertilizing and nitrogen leaching at varying run-off values.

Det må antages, at dette giver en relativ større afstrømningsintensitet ved kraftig nedbør end ved mere jævn nedbør, hvor vandet kan nå at sive direkte ned gennem jorden, og hvor således en mindre del af vandet vil afstrømme gennem dræne.

For nitratmængden i det vand, der ikke fjernes med dræn, men siver ned i de dybere liggende jordlag, må det antages, at der sker en geokemisk nitratreduktion (A. M. Lind, 1976), da ca. 90 pct. af drikkevandet i Danmark er nitratfrit.

Resultaterne fra de gennemførte forsøg viser svag stigende koncentration med stigende kvælstofanvendelse. Forskellene er dog små mellem det ikke kvælstofgødgede og normalt kvælstofgødgede forsøgsled. Med tilførsel af kvælstof derudover er der målt en kraftig forøgelse af $\text{NO}_3\text{-N}$ -koncentrationen i drænvandet, og koncentrationen ligger konstant højere end ved de øvrige led afstrømningsperioden igennem.

Generelt finder man den største kvælstofkoncentration ved 1. eller 2. prøveudtagning. Det skyldes sandsynligvis i lighed med tidligere resultater (Bennetzen, 1978), at kvælstof fra de mineraliserede rod- og stubrester er nedvasket til drændybde.

Efter at denne nitratmængde har passeret dræne, falder nitratkoncentrationen til et lavere niveau, hvor den holder sig nogenlunde konstant. Kun i 1976/77 faldt koncentrationen i løbet af afstrømningsperioden, for ved de tre lavest gødede led at blive 0. Det skyldes sandsynligvis, at vinterhveden har optaget noget af det frigjorte kvælstof. Det har derfor stor betydning, at jorden er bevokset så lang tid som muligt.

Behov for fortsatte forsøg og undersøgelser
De her omtalte forsøg er gennemført på forholdsvis svær lerjord og med afgrøder, der har forholdsvis kort vokseperiode.

Tilsvarende forsøg er i 1977 anlagt på let lermuldet jord. Ved begge forsøgsarealer er det hensigten at gennemføre forsøg, hvor jorden er græsdækket med henblik på belysning af, hvor stor udvaskningen er under sådanne forhold.

I nært samarbejde med Statens Marskforsøg er der indledt undersøgelser og forsøg på begge arealer for at få et kvantitativt mål for vandbalance og kvælstofbalance som funktion af jord- og afgrødetype og kvælstofniveauer til opbygning af en generel kvælstofmodel.

Konklusion

Udvaskning af plantenæringsstoffer er afhængig af den afstrømmende vandmængde.

Ved økonomisk optimal kvælstofanvendelse (110 kg N/ha) til vårsæd har der været lidt større kvælstofudvaskning, end hvor der ikke er anvendt kvælstofgødning, men det har kun medført en lille ændring i kvælstofkoncentrationen, der næppe kan tillægges særlig betydning. Ved relativt kraftig kvælstofgødskning må der regnes med stigende kvælstofudvaskning og stigende kvælstofkoncentration i drænvandet.

Tilførsel af kvælstof til afgrøden har ikke influeret på udvaskning af andre plantenæringsstoffer end kvælstof.

Udvaskning af fosfor og kalium er meget lille henholdsvis 56 g/ha og 0,5 kg/ha. For calciums vedkommende er der målt relativt kraftig udvaskning, gennemsnitlig 150 kg Ca/ha, svarende til ca. 400 kg jordbrugskalk/ha.

Erkendtlighed

Anlægget er oprettet med økonomisk støtte fra Statens jordbrugs- og veterinærvidenskabelige Forskningsråd, som vi hermed bringer vor bedste tak.

En særlig tak rettes til forsøgsværten proprietær *H. C. Juhl*, »Lykkesgård«, fordi han har stillet areal til rådighed.

Desuden takkes planteavlskonsulent *Karl Sørensen*, Kolding Herreds Landbrugsforening for arbejdet med høstning af forsøgene.

Litteratur

- Aslyng, H. C.* (1976): Tidsskrift for Landøkonomi 163, 345–358.
- Bennetzen, F.* (1978): Vandbalance og kvælstoffbalance ved optimal planteproduktion. Tidsskrift f. Planteavl 82, 191–220.
- Bertilsson, G.* *Supra*. Refensen nr. 3 1977.
- Bondorff, K. A.* (1935): En udbytteligning. Tidsskrift f. Planteavl 40, 824–834.
- Hansen, F.* (1926): Om bestemmelse af nitratkvælstof i regnvand, drænvand og jord. Tidsskrift f. Planteavl 32, 69–120.
- Hansen, Lorens og E. F. Pedersen* (1975): Drænvandsundersøgelser 1971–74. Tidsskrift f. Planteavl 79, 670–688.
- Kofoed, A. Dam og V. Kjellerup* (1970): Nedvaskning af kvælstofforbindelser i jord. Tidsskrift f. Planteavl 73, 659–686.
- Lind, A. M. og M. B. Pedersen* (1977): Nitrate reduction in the subsoil; III. Nitrate reduction experiments with subsoil samples. Tidsskrift f. Planteavl 80, 100–106.
- Wiklander, L.* (1977): Leaching of plant nutrients in soils. IV. Content in drainage water and ground water. Acta Agriculturae Scandinavica 27, 175–189.
- Williams, R. J. B.* (1970): The chemical composition of water from land drains at Saxmundham and Woburn, and the influence of rainfall upon nutrient losses. Rothamsted Report for 1970, Part 2, 36–67.