

Vandbalance og kvælstofbalance ved optimal planteproduktion

Water-balance and nitrogen-balance by optimal plant-production

1. Introduktion om plantenæringsstoffer og vandforurening med beskrivelse af forsøgsarealerne

1. Introduction about plant-nutrients and water-pollution with description of the experimental areas

F. Bennetzen

INDHOLDSFORTEGNELSE

	Side
1. Sammen drag	82
2. Summary	82
3. Indledning	83
4. Plantenæringsstoffer og vandforurening	83
4.1. Jordbunden	83
4.2. Vandbalancen	84
4.3. De enkelte plantenæringsstoffer	84
5. Kvælstoffets kredsløb	86
5.1. Gødskning og N-frigørelse ved mineralisering	86
5.2. Afgrøde og driftsform	87
5.3. Nettonedbør	87
5.4. Kvælstofudvaskning – lysimeterforsøg	88
5.5. Kvælstofudvaskning – drænvandsundersøgelser	88
6. Projektets afgrænsning og sigte	89
7. Forsøgsplanen	89
8. Forsøgsarealerne	89
9. Jordprofilerne	90
9.1. Jordprofilernes fysiske karakteristik	91
9.1.1. Visuel beskrivelse	91
9.1.2. Jordfysiske analyser	91
9.2. Jordprofilernes kemiske karakteristik	93
9.2.1. Kvælstof og jern	93
9.2.2. De øvrige kemiske analyser	93
10. Diskussion og konklusion om forsøgsarealerne	97
11. Litteratur	98

1. Sammendrag

Beretningen er den første af tre fra projektet: Vandbalance og kvælstofbalance ved optimal planteproduktion. Formålet med projektet er at undersøge, hvor store mængder plantenæringsstoffer – primært kvælstof – der udvaskes til vandløb og grundvand fra dyrkede arealer.

I beretningen gives en problemstilling ud fra foreliggende danske og udenlandske undersøgelser, og forsøgsplanen og forsøgsarealerne beskrives.

Tilførsel af plantenæringsstoffer til vand kan kun betegnes som forurening, dersom næringsstofferne tilføres i mængder, der kan hindre anvendelse af vandet til vedtagne formål, f.eks. drikkevandsforsyning, fiskeri og badning.

Af plantenæringsstofferne er det kun kvælstof i form af nitrat, der udvaskes i en grad, som kan have uheldige miljømæssige konsekvenser. Faren for udvaskning er større på sandjorde end på lerjorde. Nedbørens størrelse spiller en rolle for udvaskningen.

Udvaskningen er størst efter afgrøder med en kort vækstsæson f.eks. vårsæd og mindst efter vedvarende afgrøder som f.eks. græs.

Gødskningens indflydelse på udvaskningen er tilsyneladende indirekte, idet den overvejende består i, at en velgødet afgrøde efterlader en stor mængde letnedbrydeligt organisk stof i form af rod- og stubrester.

Undersøgelserne gennemføres på to arealer. En svær lerjord ved Åbenrå og en grovkornet hedeslettesandjord på Jyndeved forsøgsstation.

Jordprofilernes tekstur, porøsitet og vandindhold er beskrevet. Profilernes pH og indhold af følgende stoffer er anført: nitrat, ammonium, ferrojern, fosfor, sulfat, chlorid, natrium, kalium, calcium, magnesium og mangan.

Nøgleord: Vandbalance, kvælstofbalance, næringsstofudvaskning, vandforurening.

2. Summary

This paper is the first of three presenting the project: Water-balance and nitrogen-balance by optimal plant-production. The main purpose of the project is to determine the amount of plant nutrients – primary nitrogen – lost by leaching from cropped, arable land.

There is given a literature review to introduce the subject, and the two experimental areas are described.

Leaching of plant nutrients can only be characterized as pollution, if the extent of the nutrients leaching can prevent the use of the water (recipient) for declared purposes such as drinking water, fishing, bathing etc.

Of the plant nutrients, it is only nitrogen which can have bad environmental consequences.

The risk of leaching losses is higher on light soils than on heavy soils.

Leaching of nitrogen is highest after crops with short growing season such as cereals and lowest from crops with long growing season e.g. grassland.

The influence of fertilization on leaching is apparent indirect, because it mainly consists in a large amount of crop residues from well fertilized crops. A part of the nitrogen in the residues will be mineralized again, and can be leached in autumn and winter.

The experiments are carried out on a coarse sand soil and on a clay loam soil. The soil profiles are described on basis of boring samples to a depth of 10 m on the sand soil and 30 m on the clay soil.

Following analysis are described: texture, porosity, water content, pH and the content of NO_3 , NH_4 , $\text{Fe}^{(++)}$, SO_4 , Cl , Na , K , Ca , Mg and Mn .

Key-words: Water-balance, nitrogen-balance, leaching, water-pollution.

3. Indledning

I et effektivt og moderne jordbrug kræves en stadig indsats for at vedligeholde og forbedre de naturgivne dyrkningsbetingelser. Indsatsen består bl.a. i at tilføre plantenæringsstoffer i form af husdyrgødning og handelsgødning. Forbruget af handelsgødning er da også steget betydeligt i de senere år. Især er kvælstofforbruget steget stærkt. Der anvendes i dag ca. 4 gange så meget kvælstof som i midten af 50'erne. Denne stigning har medført en væsentlig forøgelse af planteproduktionen, men den har også medført en stigende usikkerhed over for, hvilke uheldige miljømæssige konsekvenser en stor planteproduktion kan have.

I løbet af 60'erne blev det i det hele taget almindeligt erkendt, at det stigende forbrug og den stigende industrialisering og produktion kan medføre forurening af omgivelserne. Det førte i 1969 til nedsættelse af »Forureningsrådet«, som fik til opgave at kortlægge forureningen og fremsætte forslag til dens forebyggelse og bekæmpelse. En af »Rådets« konklusioner var, at der savnedes konkrete oplysninger om faren for forurening af omgivelserne ved anvendelse af plantenæringsstoffer. Resultatet blev nærværende og tre andre projekter med fællestitlen »planteproduktion og miljø«.

Formålet med nærværende projekt er at undersøge, hvor store mængder plantenæringsstoffer – primært kvælstof – der udvaskes til vandløb og nedsiver til grundvandet fra optimalt dyrkede marker og endvidere at opstille balancer for vand og kvælstof.

Projektet er økonomisk baseret på bevillinger fra Statens Jordbrugs- og Veterinærvidenskabelige Forskningsråd.

Denne beretning er den første i en serie på tre fra projektet. Der gives en problemstilling, og forsøgsplanen og forsøgsarealerne beskrives. I anden beretning beskrives teknik og metoder, og i tredje beretning præsenteres de første tre års resultater.

4. Plantenæringsstoffer og vandforurening

Plantenæringsstoffer, som findes opløst i jordvandet og som ikke optages af planterne eller

omsættes ved andre biologiske eller kemiske processer i jorden, vil for norges vedkommende kunne give anledning til vandforurening.

Afstrømningsvandet fra jorden vil altid have en vis koncentration af næringsstoffer. Tilførsel af plantenæringsstoffer til vand vil derfor kun kunne betegnes som forurening, hvis disse tilføres i mængder, der kan virke hindrende for anvendelse af vandet til erklærede eller planlagte formål, som f.eks. opretholdelse af en varieret flora og fauna, fiskeri, badning, drikkevandsforsyning og markvanding.

Risikoen for vandforurening ved anvendelse af plantenæringsstoffer er afhængig af flere faktorer, som jordbundens egenskaber, nedbør, fordampning og næringsstoffernes kemiske egenskaber.

4.1. Jordbunden

For at kunne vurdere de mulige uønskede virkninger af de gødningsstoffer, som tilføres jorden, behandles i dette afsnit de af jordbundens egenskaber, der har betydning for jordens næringsstoffeholdning.

Jordbunden er et kompliceret system bestående af en fast substans, jordvæsken og jordluften. Den faste substans udgøres af mineraler, humus og forskellige organismer. Jordvæsken indeholder bl.a. opløste plantenæringsstoffer i form af kationer og anioner.

Jordens sekundære mineraler – lerarterne – besidder de fysisk-kemiske egenskaber, som bestemmer en række plantenæringsstoffers tilstand i jorden. Lerarterne har dels en meget stor specifik overflade, og dels er de negativt elektrisk ladede. Det betyder, at de er i stand til at adsorbere og tilbageholde positivt ladede ioner, kationer, såsom kalium, magnesium, calcium m.fl.

Jordens humusfraktion har også en betydelig adsorptionskapacitet på grund af dens carboxyl- og fenolgrupper. Det vil sige, at et stort ler- og humusindhold betyder en god næringsstoffeholdning.

Negativt ladede ioner – anioner – frastødes fra lerpartiklerne og fastholdes derfor kun i ringe grad i jorden. Det gælder f.eks. plantenæringsstofferne nitrat og sulfat. Fosfat udgør imidlertid en undtagelse, idet fosfat danner meget tungtop-

løselige forbindelser med andre af jordbundens bestanddele.

Jordens evne til at opmagasinere vand – vandkapaciteten – stiger med indholdet af ler og humus. En morænelerjord kan opmagasinere næsten 300 mm nedbør i den øverste meter, og en hedeslettesandjord kan tilbageholde ca. 120 mm (Hansen 1976). Heraf kan henholdsvis 150 og 80 mm udnyttes af planterne.

4.2. Vandbalancen

En del af nedbøren fordampes igen hovedsageligt gennem planterne. En anden del strømmer gennem de øverste jordlag og dræner direkte til vandløbene. Den resterende del siver til grundvandet og følger grundvandsstrømmen til vandløbene og havet.

Fordampningen afhænger af klimaet, plantebestanden og af jordens vandkapacitet. Jo mere vand en jord formår at opmagasinere til nedbørsfattige perioder, jo større bliver fordampningen og jo mindre afstrømningen.

For at tilført gødning kan blive tilgængelig for planterne, skal den opløses i jordvandet og transporteres til rodzonen. Næringsstofudvaskningen er betinget af den samme proces. Det er dog sædvanligvis sådan, at der er et nedbørsunderskud i forårs- og sommermånederne, når gødningstilførslen sker. Nedbøren er normalt tilstrækkelig stor til, at gødningen kan opløses, men afstrømningen er sædvanligvis lille.

Plantenæringsstoffer, som findes opløst i jordvæsken ved vækstsæsonens afslutning, vil være tilgængelige for udvaskning, når der opstår et nedbørsoverskud i efterårs- og vintermånederne. For en given næringsstofmængde vil alt andet lige størrelsen af afstrømningen blive afgørende for udvaskningens størrelse. Risikoen for udvaskning af plantenæringsstoffer vil af den grund være forskellig i forskellige egne af Danmark. I egne af Østdanmark er årsnedbøren ca. 550 mm, fordampningen ca. 400 mm årlig og årsafstrømningen er ca. 150 mm. I Vestjylland er årsnedbøren ca. 770 mm, fordampningen ca. 340 mm og årsafstrømningen ca. 430 mm (Forureningsrådet 1971 a).

4.3. De enkelte plantenæringsstoffer

Kvælstof (N). Den oprindelige kilde for jordens kvælstof er atmosfæren. Jordens mineraler indeholder meget små mængder kvælstof. Totalindholdet af kvælstof i danske agerjorde varierer sædvanligvis mellem 5 og 10 tons N pr. ha i planternes rodzone. Hovedparten findes i forskellige organiske forbindelser, og kun en ringe og stærkt varierende mængde er til stede i uorganiske forbindelser.

Organiske N-forbindelser er ikke umiddelbart tilgængelige for planterne. De skal først mineraliseres ved hjælp af mikroorganismer. Mineraliseringshastigheden er stærk afhængig af temperatur og jordfugtighed. Det er derfor meget vanskeligt at vurdere, hvor meget N en jord kan stille til rådighed for planterne i en vækstsæson, idet det bl.a. ville kræve forudsigelse af vækstsæsonens klima.

De dominerende uorganiske N-forbindelser i jorden er ammonium, NH_4^+ og nitrat, NO_3^- . NH_4^+ dannes i jorden ved mineralisering og tilføres med gødning. NH_4^+ adsorberes til jordkolloiderne og udvaskes praktisk taget ikke. Hvis temperaturen er over 5°C , foregår der en oxidation af NH_4^+ til NO_3^- .

NO_3^- dannes i jorden ved nitrifikation af NH_4^+ og tilføres som gødning. NO_3^- findes udelukkende fritbevægelig i jordvæsken. Den vil derfor være udsat for udvaskning, når der forekommer et nedbørsoverskud.

Nitrat kan også tabes fra planternes rodzone ved denitrifikation, hvor nitrat reduceres til luftformigt kvælstof (N_2) eller i nogle tilfælde til luftformige forbindelser af kvælstof og ilt. Denitrifikation i planternes vækstsæson er uønsket, idet det betyder tab af et værdifuldt plantenæringsstof. Denitrifikation efter vækstsæsonen kan være ønskelig, idet det betyder bortskaffelse af nitratoverskud, som ellers ville blive udvasket.

Kalium (K.) Totalindholdet af kalium i bjergarterne er omkring 2,6 pct. I agerjorden er K-indholdet 1–2 pct. svarende til 25–50 tons pr. ha i pløjelaget. Heraf findes knap 1 pct. adsorberet til jordkolloiderne og i jordvæsken. De 99 pct. er fikseret i lermineralernes krystalgitter (Arnold 1962). Det bundne kalium frigøres meget lang-

somt, og det er derfor nødvendigt at tilføre K-gødning. Fra de fleste jorde udvaskes kun små mængder kalium (*Hansen og Pedersen 1975*).

Natrium (Na). Næsten hele den natriummængde, som frigøres ved forvitring af bjergarterne, går tabt ved udvaskning og genfindes næsten ikke i de sekundære mineraler (lerarterne). Det er en modsætning til det nærtstående stof, kalium. Årsagen er bl.a., at natriumionen er mindre end kaliumionen, og den fastholdes derfor ikke i lermineralernes krystalgitter. Det kan nævnes, at det er årsagen til, at havvand indeholder 25 gange mere Na end K. I bjergarterne er forholdet 1/1. – Na tilføres med visse handelsgødninger og med nedbøren.

Calcium (Ca). Calcium findes i jorden fast bundet i visse silikater og i lermineraler, men i væsentlig mindre mængde end kalium. Den lettere opløselige del findes som ombytteligt Ca eller som karbonat. Af de ombyttelige metalkationer udgør Ca langt den største del, ofte over 90 pct., svarende til 1–10 tons Ca pr. ha i jordens øverste 20 cm (*Forureningsrådet 1971b*). Hertil kommer en ret stor mængde som karbonat. Af kationerne udvaskes Ca normalt i størst mængde (*Hansen og Pedersen 1975*). Ca synes dog ikke at volde problemer i miljømæssigt henseende. Calcium tilføres jorden i jordbrugskalk og som følgestof med gødninger.

Magnesium (Mg). Det totale magnesiumindhold i jorden udgør 0,5–10 tons pr. ha i de øverste 20 cm. Den plantetilgængelige del findes adsorberet på ler- og humuspartikler og udgør 15–500 kg pr. ha i de øveste 20 cm (*Henriksen 1964*).

Magnesium frigøres lettere fra lermineralernes krystalgitter end kalium, idet magnesiumionen er væsentlig mindre end kaliumionen. Det er en af årsagerne til, at Mg er mere udsat for udvaskning end K. – Magnesium tilføres i dag med de fleste NPK-gødninger.

Fosfor (P). Danske agerjorde indeholder en meget varierende fosformængde, men i gennemsnit 0,04 pct. P. Mellem 20 og 80 pct. af total P i planternes rodzone er bundet i organiske forbindelser (*Damsgård-Sørensen 1946 og Lamm 1971*).

Jordens fosfater består af meget tungtopløseli-

ge forbindelser med jern, aluminium og calcium. Jordvæskens fosfatindhold er meget lille, som regel under 0,1 ppm. Der foregår derfor en meget ringe bevægelse af jordens fosfater, og risikoen for udvaskning er ringe. Transport af fosfor i jordprofilen sker overvejende ved hjælp af jordbundens organismer, især planterødder, der optager P og aflejrer det igen ved henfald (*Larsen 1967*). – Fosfor tilføres jorden som gødning. Et evt. P-overskud fastlægges hårdt i jorden.

Sulfat (SO₄). Jordens totale svovlindhold er 0,5–1 tons pr. ha. Hovedparten findes i organiske forbindelser og er beskyttet mod udvaskning. Af lettilgængeligt sulfatsvovl findes der som regel mellem 2,5 og 25 kg S pr. ha (*Forureningsrådet 1971a*). Sulfat tilføres jorden med en del gødninger.

Chlorid (Cl). Chlorid findes næsten udelukkende opløst i jordvæsken og vil derfor være udsat for udvaskning. Koncentrationen er dog som regel ret lav. – Chlorid er følgestof med en del gødninger.

Hydrogenkarbonat (HCO₃) er normalt den dominerende anion i jordvæsken. Den dannes som følge af humusomsætning og rodånding i jordbunden.

For så vidt angår jern (Fe), mangan (Mn), kobber (Cu), zink (Zn) og bor (B) kan nævnes, at de under almindelige jordbundsforhold ikke synes at blive udvasket i en grad, der skulle give særlige miljømæssige problemer.

De af ovennævnte stoffer, som har størst miljømæssig interesse, er kvælstof og fosfor. Fosfor fastlægges som nævnt meget hårdt i jorden, og P-udvaskningen fra landbrugsjorden er som regel ubetydelig (*Wiklander 1970, Kolenbrander 1972, Lønholdt 1973, Hansen og Pedersen 1975*).

Nitrat bindes ikke i jorden og er derfor udsat for udvaskning. Nitrat i drikkevand kan medføre forgiftninger, især af spæde individer. Store nitratmængder i vandløb og søer kan sammen med fosfor betyde en næringsstoffrigdom (eutrofiering), som medfører en total ændring af det vandige miljø. – Den efterfølgende gennemgang vil derfor i det væsentligste være koncentreret om kvælstof.

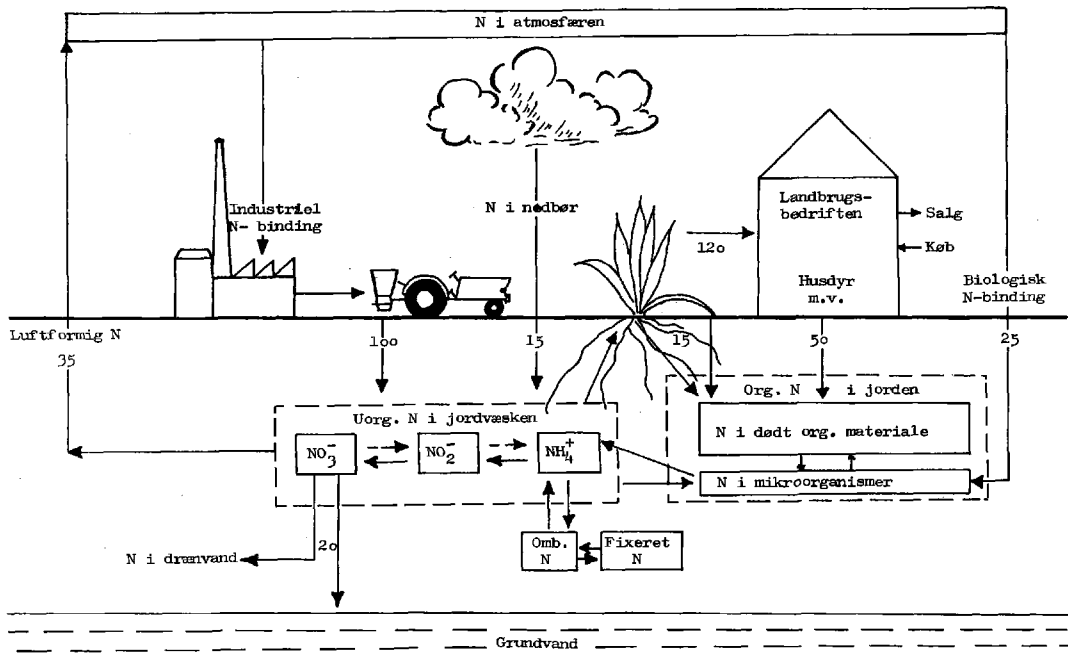


Fig. 1. Kvælstoffets kredsløb i landbruget. Tallene er delvis efter Aslyng (1973) og angivet i kg N pr. ha pr. år. Nitrogen-cycle in agriculture. The figures are from Aslyng (1973) and are kg N ha⁻¹ year⁻¹.

5. Kvælstoffets kredsløb

I figur 1 er vist kvælstoffets kredsløb inden for landbruget. Tallene på figuren er efter Aslyng (1973) og angiver kvælstofbalancen i kg N pr. ha pr. år som gennemsnit for danske landbrugsarealer. Der er i beregningen gået ud fra en arealfordeling på 60 pct. korn, 30 pct. græs og 10 pct. roer. Der tilføres 50 kg N i staldgødning, 100 kg N med handelsgødning, 15 kg N med nedbør og 25 kg N ved biologisk N-binding, overvejende ved hjælp af bælgplanternes knoldbakterier. Ud over de 120 kg N, som høstes med afgrøden, er der regnet med en forøgelse af N-lageret i jorden på 15 kg N. Resten må betegnes som tab. Tabet er angivet til 55 kg N fordelt med 20 kg N med afstrømningen og 35 kg N i luftform til atmosfæren. Det er kun den del, der tabes med afstrømningen, som kan have uheldige miljømæssige konsekvenser. Tabet størrelse afhænger af kvælstofgødskning, afgrødeart, dyrkningssystem og vækstbetingelserne.

5.1. Gødskning og N-frigørelse ved mineralisering

Forbruget af kvælstof i handelsgødning er steget stærkt i de sidste 25 år. I midten af 50'erne anvendtes der i gennemsnit knap 30 kg N pr. ha pr. år. I 1974/75 var forbruget steget til 103 kg N pr. ha i gennemsnit af hele landbrugsarealet. Tilførsel af kvælstof med staldgødning er i samme periode ikke ændret væsentligt. I 1974/75 tilførtes der 46 kg N pr. ha i staldgødning. Anvendelsen af fosfor- og kaliumgødning er i samme periode steget væsentlig mindre (Danmarks Statistik).

Ved den stigende kvælstofgødskning høstes der stigende kvælstofmængder i afgrøden. For korn er der balance mellem tilført og høstet kvælstof ved tilførsel af ca. 100 kg N pr. ha. For bederoer er det tilsvarende tal ca. 150 kg (Koføed et al. 1967). For græs er der ligevægt ved tilførsel af godt 300 kg N pr. ha (Skriver 1977). Tallene er gennemsnit af mange forsøg og dækker over store variationer.

Planternes kvælstofforsyning dækkes af gødningstilførsel, biologisk N-binding og af N-frigørelse ved nedbrydning af organisk stof i jorden. Størrelsen af denne frigørelse afhænger af vækstsæsonens klima og mængden af letomsætteligt organisk stof. Variationen i N-frigørelsen ved mineralisering og dermed vanskeligheden i at tilføre marken den rigtige N-mængde illustreres godt af et 18 årigt hollandsk gødningsforsøg i kartofler (*Kolenbrander* 1973). Forsøget viste, at den nødvendige N-tilførsel for at opnå maximum udbytte varierede mellem 100 og 250 kg N pr. ha pr. år.

Mineralisering af organisk materiale fortsætter efter afgrødehøsten. På grund af betragtelige mængder letomsættelige rod- og stubrester kan der frigøres en del N. *Kolenbrander* (1975) anfører, at der i et sædskifte med korn, kartofler og roer gennemsnitligt pr. år efterlades 30 hkg organisk stof pr. ha, svarende til 65 kg N pr. ha pr. år.

Omsætningshastigheden afhænger af, hvilket materiale det drejer sig om. *Kolenbrander* (1975) anfører, at der i løbet af det første år efter tilførsel af organisk stof til jorden nedbrydes 80 pct. af bladmassen, 70 pct. af halmen og 50 pct. af tilført staldgødning. Den kvælstofmængde, som frigøres ved mineralisering, kan blive udvasket med efterårs- og vinternedbøren. Udvasningens størrelse afhænger af mængden af letomsætteligt organisk stof, betingelserne for mineralisering og nedbørens størrelse. Kvælstofgødskningen vil forøge størrelsen af denne udvaskning, ved at der fra en større afgrøde efterlades en større mængde letomsætteligt organisk stof.

Kjellerup (1975) har undersøgt kvælstofgødskningens indflydelse på N-udvaskning med drænvand. I gennemsnit af de to første forsøgsår er der udvasket 14 kg N pr. ha, hvor der ingen gødning er tilført. Ved gødningstilførsel på 110 kg N er der udvasket 19 kg N pr. ha. Ved at tilføre 165 kg N pr. ha, som er mere end planterne kan forbruge, var udvasningen 25 kg N pr. ha. Lignende resultater er fundet under hollandske forhold (*Kolenbrander* 1969).

Gødningsformen spiller en rolle for risikoen for udvaskning. Nitrat følger vandets bevægelse og udvaskes let. Ammonium adsorberes til jordpar-

tiklerne og udvaskes kun i ringe grad (*Kofoed og Kjellerup* 1970).

Omsætningen af ammonium til nitrat sker meget langsomt ved temperaturer under 5°C. I almindelig NPK-gødning findes ca. halvdelen af kvælstoffet som nitrat og halvdelen som ammonium. For andre gødningsformer f.eks. urea og staldgødning gælder, at den overvejende N-mængde frigøres som ammonium og vil først være udsat for udvaskning efter omdannelsen til nitrat.

5.2. Afgrøde og driftsform

Afgrøde og driftsform spiller en betydelig rolle for udvasningen af kvælstof. I et dyrkningssystem med afgrøder, som dækker jorden hele året, er risikoen for udvaskning ringe. Det gælder f.eks. vedvarende græsmarker. Risikoen for kvælstofudvaskning er større efter afgrøder med kort vækstsæson, f.eks. vårsæd. Årsagen er primært, at der i $\frac{3}{4}$ af året ingen afgrøde er til at optage den N-mængde, som frigøres ved mineralisering af organisk stof i jorden. *Hansen* (1926) fandt i 1922-23 på Askov forsøgsstation, at nitratkoncentrationen i drænvand fra græsmarker i gennemsnit af en sæson var ca. 2 ppm og for sædskiftemarken i gennemsnit 10 ppm. Ved en afstrømning på 150 mm svarer disse tal til henholdsvis 3 og 15 kg N pr. ha. *Bolton et al.* (1970) anfører i gennemsnit af et 6-årigt forsøg i Canada, at der udvaskes 14 kg N pr. ha under vedvarende korndyrkning (majs) og ca. 1 kg N pr. ha under vedvarende græs.

Den største udvaskning må forventes efter en bælgplanteafgrøde. *Maschhaupt* (1941) fandt i lysimeterforsøg ved en afstrømning på 150 mm, at der udvaskedes ca. 22 kg N pr. ha pr. år efter vårsædsafgrøder uden bælgplanter og ca. 90 kg N i gennemsnit, hvor ærter havde været forfrugt.

5.3. Nettonedbør

Nettonedbøren er forskellen på nedbør og fordampning og svarer således til afstrømningen, hvoraf en del vil gå til vandindvindning. På sandjord vil hele nettonedbøren sive ned til grundvandet og følge grundvandsstrømmen til vandløbene.

På lerjord strømmer en del af vandet gennem de øverste jordlag og gennem dræn direkte til vandløb. Den resterende del siver til grundvandet. Det er en meget varierende del af nettonedbøren, som strømmer af gennem dræn, men i gennemsnit er det godt en trediedel (Forureningsrådet 1971a, Hansen og Pedersen 1975).

Som nævnt findes alt nitrat opløst i jordvandet. Jo større nettonedbøren er på en given jordtype, jo større del af den opløste nitrat vil blive udvasket (Wiklander 1974). Data fra lysimeterforsøg (Kolenbrander 1969) viser tilnærmelsesvis lineær sammenhæng mellem afstrømningsmængde og udvasket nitratmængde.

Denne lineære sammenhæng gælder kun til en vis afstrømningsmængde – i Kolenbranders data 600 mm – men jo mindre jordens vandkapacitet er, jo før vil den opløste nitratmængde være udvasket, og jo før ophører den lineære sammenhæng.

Sammenhængen betyder, at det for en given jordtype kan beregnes, hvor meget gødningskvælstof der udvaskes under planternes rodzone i en nedbørsrig forårsperiode. Ligeledes skulle det kunne beregnes, hvor stor en del af det kvælstof, som er frigjort ved mineralisering, der er tilbage i rodzonen efter vinterens nedbør.

Jensen (1974) anfører ud fra teoretiske og eksperimentelle resultater, at en nettonedbør svarende til ca. markkapacitet er nødvendig for at udvaske 50 pct. af en nitratmængde, som findes i overfladelaget af en jordprofil. Hvis tallene fra Hansen (1976) anvendes for markkapacitet, skal der for at vaske 50 pct. af tilført nitrat under 70 cm dybde bruges ca. 100 mm på hedeslettesandjord og ca. 200 mm på morænelerjord svarende til henholdsvis 1,4 og 2,8 mm overskudsnedbør pr. cm jorddybde. Lignende resultater er fundet i lysimeterforsøg af Kofoed og Kjellerup (1970).

5.4. Kvælstofudvaskning – lysimeterforsøg

Der foreligger en del resultater om kvælstofudvaskning fra undersøgelser i lysimetre. Udvasningstallene fra lysimetrene omfatter hele den N-mængde, som udvaskes fra planternes rodzone. En del heraf ville under naturlige forhold følge vandstrømmen direkte til vandløbene. Den resterende del ville sive til grundvandet. Under passa-

gen gennem jordlagene ville en del af nitratkvælstoffet blive omdannet til luftformigt kvælstof og vende tilbage til atmosfæren, hvor det oprindeligt kommer fra (Lind og Pedersen 1975 a og b).

Lindhard (1975) har i et 10-årigt lysimeterforsøg på tre jordtyper fundet, at der i gennemsnit er udvasket 41 kg N pr. ha med en gennemsnitlig koncentration på 12 ppm. Det svarer til en afstrømningsmængde på 344 mm pr. år.

Köhnlein et al. (1966) og Köhnlein og Weichbrodt (1971) har opstillet kvælstofbalancer for seks jordtyper. I gennemsnit af alle jordtyperne over 9 år er der udvasket 37 kg N pr. ha pr. år. Kolenbrander (1972) har på grundlag af lysimeterundersøgelser (Kolenbrander 1969) beregnet den gennemsnitlige udvaskning for Holland til 32 kg N pr. ha ved en afstrømning på 350 mm.

Disse få tal fra lysimeterundersøgelser, som dækker over meget store variationer, er tilsyneladende repræsentative for mange lysimeterforsøg. Det gennemgående træk i lysimeterundersøgelserne er, at der udvaskes mindst fra græsafgrøder og mest fra kortvarige afgrøder.

5.5. Kvælstofudvaskning – drænvandsundersøgelser

Som nævnt ovenfor omfatter drænvandet kun den del af afstrømningen, som strømmer direkte til vandløbene. Det må derfor forventes, at udvasningstallene er mindre end fra lysimeterundersøgelser.

Hansen og Pedersen (1975) angiver som gennemsnit af 4 år og 15 lokaliteter fordelt over hele Danmark, at der udvaskes 21 kg N pr. ha med drænvand. Kjellerup (1975) finder i gennemsnit af to år 19 kg N pr. ha pr. år.

I afstrømningsundersøgelser, hvor et helt nedbørsområde betragtes, og afstrømningen måles i vandløbene, finder man tal af samme størrelsesorden eller lidt mindre (Lønholdt 1973 og VKI 1976).

Wiklander (1970) anfører som gennemsnit for Sverige, at udvasningen svarer til nedfaldet med nedbør, men i landbrugsområder er udvasningen større. Gustafson (1975) angiver for 4 lokaliteter og 2 år i Sverige en udvasning på 20 kg N pr. ha pr. år. Schreven (1970) nævner for hollandske

forhold, at der i gennemsnit af 9 år er udvasket 25 kg N pr. ha pr. år.

Der er meget stor variation i de N-mængder, som udvaskes med drænvand. Det hænger i nogen grad sammen med en meget stor variation i drænvandsmængden. F.eks. var der i vinterhalvåret 1975/76 mange drænsystemer, som næsten intet vand gav. Det vil sige, at næsten hele netto-nedbøren er sivet til grundvandet.

6. Projektets afgrænsning og sigte

I undersøgelser af jordbrugets forurening af vore vandressourcer er det meget vigtigt at skelne mellem den del af de forurenende stoffer, som kommer fra selve landbrugsbedriften, og den del, der stammer fra de dyrkede arealer, idet løsning af et eventuelt forureningsproblem i de to tilfælde vil have vidt forskellige dimensioner. I nærværende projekt undersøges kun udvaskningen fra de dyrkede arealer. Jordtypens og afgrødens indflydelse på udvaskningen belyses.

Som nævnt bliver næringsstofferne transporteret med jordvandet. Der er derfor i projektets udformning lagt megen vægt på at opstille en vandbalance, således at hele jordprofilen fra jordoverfladen til grundvandet betragtes.

Gødsning i kg pr. ha:

År	N			P			K		
	Åbenrå	Jynde vad		Åbenrå	Jynde vad		Åbenrå	Jynde vad	
	A	A	B	A	A	B	A	A	B
1974	140	80	80	45	35	35	110	190	190
1975	50	110	300	6	35	65	20	84	200
1976	125	110	300	15	35	110	45	84	260
1977	110	110	300	35	35	110	90	84	260

Målinger:

Der gennemføres følgende målinger: nedbør, fordampning fra fordampningsmåler, grundvandsstandspegling, drænafstrømningsmåling, tensiometermåling og måling af jordens vandindhold med neutronspredning. Til kemiske analyser udtages der vandprøver med et specielt sugekopudstyr i den vandumættede zone over grundvandspejlet og i flere dybder i grundvandet.

Det er sigtet uge for uge at følge, hvordan det vand, som tilføres marken ved nedbør og vanding, fordeles mellem planternes forbrug, afstrømning til vandløb og nedsivning til grundvandet. Samtidig at følge vandets koncentration af næringsstoffer, beregne næringsstoftransporten og opstille balancer for vand og næringsstoffer.

7. Forsøgsplanen

Undersøgelserne gennemføres på et drænet morænelerareal (lerjord) på ca. 4 ha ved Åbenrå og på et knapt 3 ha stort udrænet hedesletteareal (sandjord) på Jynde vad forsøgsstation.

Afgrøder og vanding:

Lerjord:	A1 Korn, uvandet
Sandjord:	A1 Korn, uvandet
	A2 Korn, vandet
	B1 Græs, uvandet
	B2 Græs, vandet

Disse afgrøder blev først etablerede i 1975. I 1974, som var første år med markforsøg, var der græs på lerjorden og vinterrug i hele sandjordsmarken med græsudlæg i led B.

8. Forsøgsarealerne

I figur 2 er vist forsøgsarealernes geografiske placering og placering i forhold til grundvandsstrømmen.

Åbenrå: Arealet ved Åbenrå består af svær morænelerjord. Lerlaget under arealet er godt 20 meter tykt. Umiddelbart derunder findes lagdelt sand. Den geologiske forklaring herpå er, at der under isens tilbagetrækning efter sidste istid her

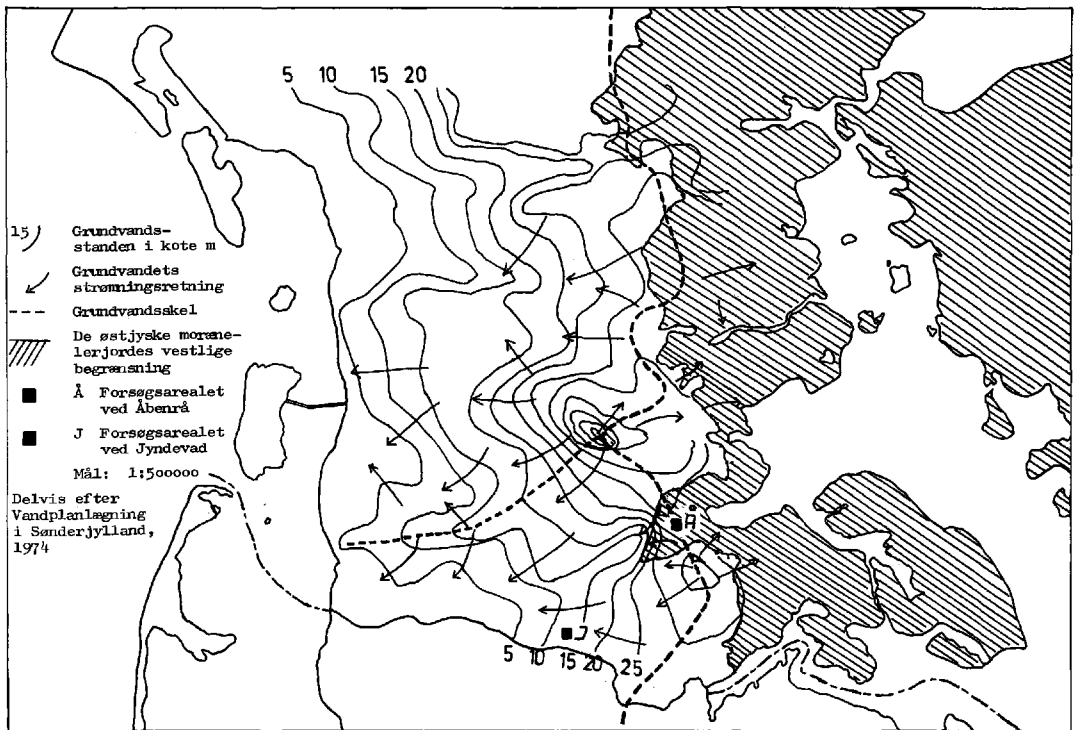


Fig. 2. Sydvestdanmark. Forsøgsarealernes placering.
 South-west Denmark. The location of the experimental areas.

igen er sket et isfremstød. Ismasserne er herved blevet skudt i en tunge ind over hedesletten og har aflejret et lerlag af varierende tykkelse. Det egentlige grundvandsspejl er frit, ca. 25 meter under terræn. Afhængig af nedbørsforholdene findes der temporære grundvandsreservoirs nærmere overfladen. Det var tilstræbt at finde et areal med frit grundvandsspejl for at være sikker på, at der under arealet foregår en nedadgående vandbevægelse. (På mange lerjorde står grundvandet under tryk og betegnes artesiske grundvand).

Aralet er, som det fremgår af figur 2, placeret ved et grundvandsskel for at have en lille grundvandstilstrømning. Det har dog nok kun begrænset betydning, idet der altid vil være en grundvandsstrøm langs med og ud fra grundvandsskellet, desuden er et grundvandsskel ikke stationært. Pilene i figuren angiver grundvandets strømning.

Jydevad: Jydevadarealet er en typisk hedeslettesandjord beliggende på en af de største af vore hedesletteflader. Grundvandstanden er hyppigst 2-3 meter under terræn. Grundvandets strømning under arealet fremgår af figur 2.

9. Jordprofilerne

Der er gennemført borer til under grundvandsspejlet på de to arealer dels for at placere grundvandstandspegler og instrumenter og dels for at fremskaffe jordprøver til beskrivelse af jordprofilerne.

Der blev udtaget jordprøver i naturlig lejrning ved en del af borerne. Prøverne blev taget med en stålcyllinder, der er 7 cm i diameter og 50 cm lang. Cyllinderen trykkes i jorden med en hydraulisk presse. Den kan både anvendes til prøveudtagning på jordoverfladen og i dybden. Ved borerne blev den anvendt ned til 22 meter un-

der terræn. De dybeste og vanskeligste borer er gennemført af et vandboringsfirma som tørboringer med vejledning fra Geoteknisk Institut. De øvrige borer er gennemført med eget materiel, som maksimalt kan anvendes til 15 meter under terræn. Der er i øvrigt anvendt samme teknik, som er beskrevet af Lind og Pedersen (1975a). Jordprøverne til fysiske analyser er – for at holde dem fysisk intakte – opbevaret i lufttætte beholdere, som er sat under argonatmosfære, som omtalt af Lind og Pedersen (1975a). Jordprøverne til kemiske analyser er opbevaret i dybfryser for at undgå oxidation specielt af ferrojern.

De kemiske analyser er gennemført ved Centralanalytisk Laboratorium i Vejle og SPL i Lyngby efter »Fælles arbejdsmetoder for jordbundsanalyser (1972)«. Ferrojernanalysen er beskrevet af Lind og Pedersen (1975b).

9.1. Jordprofilernes fysiske karakteristik

9.1.1. Visuel beskrivelse

I figur 3 er givet en kort beskrivelse af de to profiler. Beskrivelsen er dels egne iagttagelser og dels en beskrivelse, Danmarks geologiske Undersøgelser har foretaget af nogle indsendte jordprøver.

Åbenrå: De øverste 3,5 meter af åbenråprofilen er delt i to, idet der lokalt i marken findes et lag meget svær issøler. Søndergård (1975) anfører, at issøler findes i omkring 1 pct. af det danske morænelerareal. Medregnes fedt, stenfrit senglacialt og glacialt smeltevandsler, vil det udgøre 2–3 pct. af morænelerarealet. Søndergård anfører videre, at morænelerprofilen må anses for typisk moræneler for det sydøstjyske område.

Jyndeved: Jyndevedprofilen består, som det fremgår af figur 3, af afvekslende lag af groft og fint hedeslettesand.

9.1.2. Jordfysiske analyser

Ved bestemmelse af jordens porevolumen (vand + luft) er der kun anvendt 2 fællesprøver og i en del tilfælde kun en prøve. Årsagen er de tekniske vanskeligheder, der er forbundet med at udtage jordprøver i naturligt lejring i stor dybde.

Partiklernes massefylde er for åbenråprofilen ret høj og varierer mellem 2,72 og 2,79 g/cm³. For

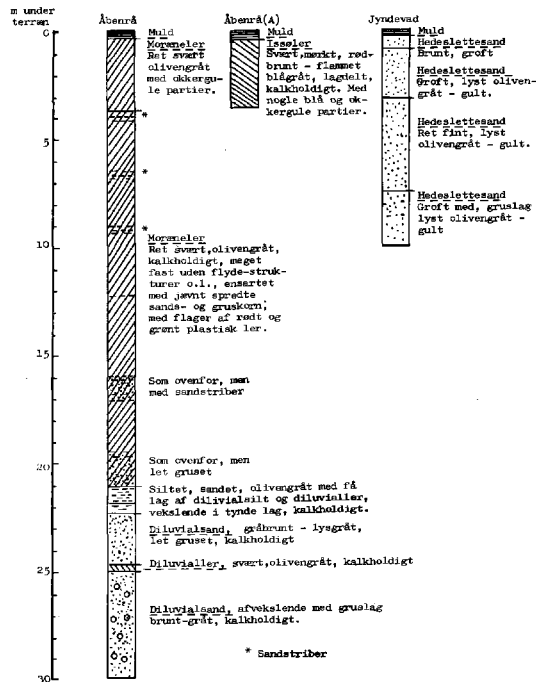


Fig. 3. Beskrivelse af jordprofilerne.
Description of the soil profiles.

jyndevedprofilen varierer partiklernes massefylde mellem 2,59 og 2,69 g/cm³.

Åbenrå: I figur 4 er vist åbenråprofilens luft- og vandindhold i maj 1974. De stiplede linier øverst i figuren angiver luft- og vandindholdet i issølerlaget. Det ses, at det finkornede ler er mere porøst end moræneleret.

Der findes tilsyneladende to temporære grundvandsreservoirs i henholdsvis 6 og 17 meters dybde. Dette stemmer overens med iagttagelser under borearbejdet, idet der strømmede vand ind i boringen i netop disse to dybder. Det egentlige grundvandsspejl var i maj 1974 ca. 26 meter under terræn.

I figur 5 er vist åbenråprofilens tekstur. Det fremgår, at lerfraktionen i lerlaget udgør fra knap 20 til 40 pct. af de faste partikler. Analysen er foretaget uden fjernelse af CaCO₃, som udgør mellem 19 og 25 pct. Under lerlaget, svarende til 21,5 meters dybde, er materialet groft bortset fra et tyndt lerlag i knap 25 meters dybde. De grov-

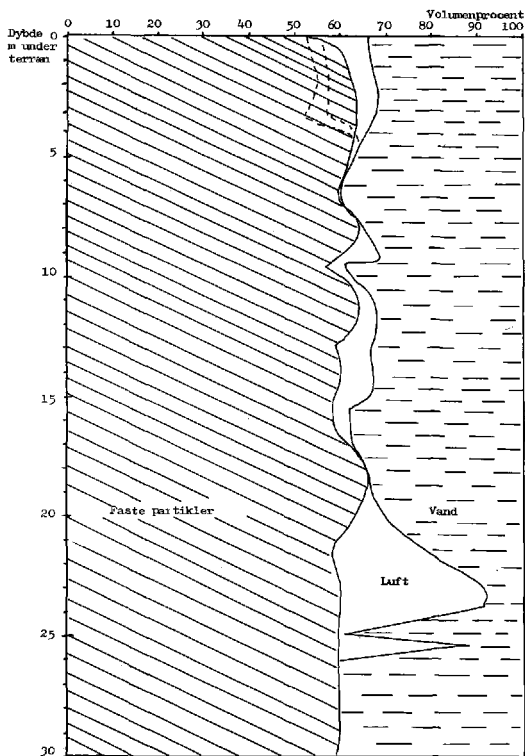


Fig. 4. Jordprofilens vand- og luftindhold i maj 1974. Lerjord, Åbenrå.
Water and air content in the clay loam profile in May 1974.

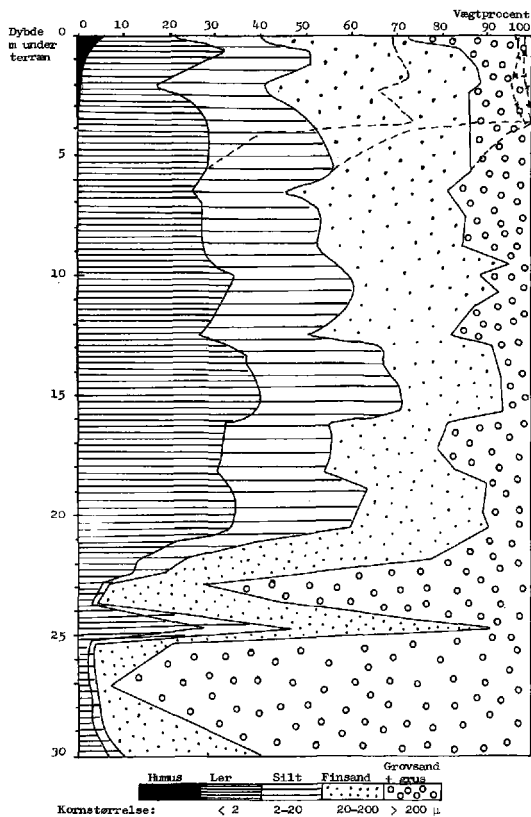


Fig. 5. Jordprofilens tekstur. Lerjord, Åbenrå.
Texture in the clay loam profile.

kornede sandlag er meget tørre (figur 4). De stippled kurver øverst i figur 5 viser forholdene i issølerlaget. Det er meget finkornet med et lerindhold på omkring 70 pct.

Jynde vad: Figur 6 viser profilens porevolumen og vandindhold i maj 1974. Porevolumen udgør godt 40 pct. til 3 meters dybde og knap 40 pct. derunder. Vandindholdet over grundvandsspejlet er lavt i denne grovkornede jord. Grundvandstanden er knap 3 meter under terræn.

Figur 7 viser tekturen for sandjordsprofilen i Jynde vad. Jorden er meget grovkornet med et ler- plus siltindhold på kun 1-8 pct. Fordelingen mellem fin- og grovsandsfraktionen varierer meget med dybden.

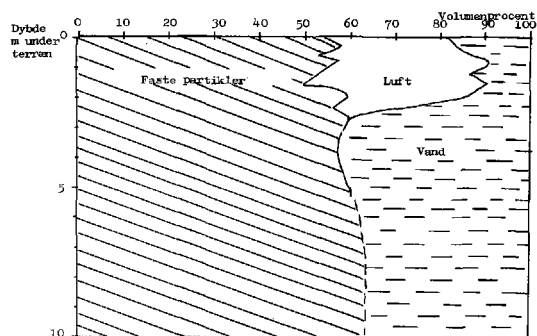


Fig. 6. Jordprofilens luft- og vandindhold i maj 1974. Sandjord, Jynde vad.
Water and air content in the coarse sand profile in May 1974.

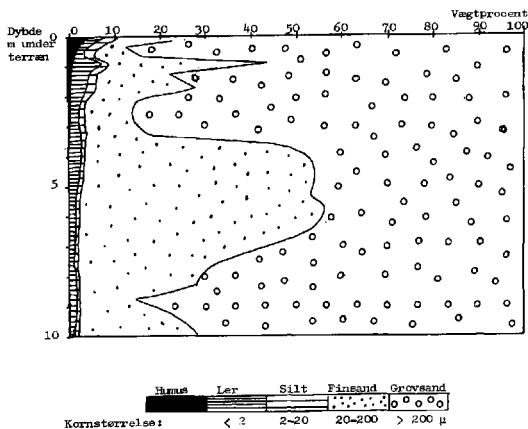


Fig. 7. Jordprofilens tekstur. Sandjord, Jyndeved.
 Texture in the coarse sand profile.

9.2. Jordprofilernes kemiske karakteristisk

9.2.1. Kvælstof og jern

Åbenrå: I figur 8 er vist åbenråprofilens indhold af Fe^{++} (ferrojern), NH_4^+-N og NO_3^-N .

Der er ikke en skarp grænse mellem oxiderede og ikke oxiderede lag. Ved den visuelle bedømmelse af jordprøverne blev det iagttaget, at der mellem jordoverfladen og 1,5 meters dybde næsten kun fandtes okkergult ler, farvet af oxiderede jernforbindelser (ferrijernforbindelser – Fe^{+++}). Ferrojernindholdet er lavt, og nitratinholdet er ret højt. Mellem 1,5 og 3,8 meters dybde forekom de okkergule partier hyppigt som »rustgange«, som vandet øjensynligt havde fulgt. Ferrojernindholdet er her højere – omkring 25 ppm – og nitratinholdet er lavt. Under 3,8 meter stiger Fe^{++} -indholdet stærkt, og det kan undre noget, at der stadig findes nitrat i hele profilen. Årsagen kan være morænelerets heterogene struktur med sandgange og sandlommer, hvor vandbevægelsen er stor.

Som nævnt ovenfor findes der i en mindre del af marken et 3,5 meter tykt lag af issøler. Det er bemærkelsesværdigt ved at have et meget højt indhold af ferrojern næsten helt til jordoverfladen. Samtidig er nitratinholdet lavt.

Ammoniumindholdet i de øverste lag er ret højt (figur 8), hvilket må tilskrives tilførsel med gødning og mineralisering af organisk stof. Under den zone, som er direkte påvirket af mineralisering af

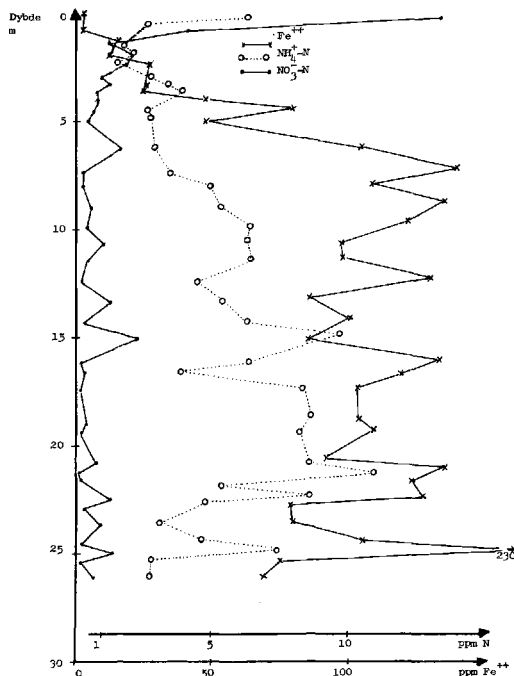


Fig. 8. Profilen indhold af Fe^{++} , NH_4^+-N og NO_3^-N , angivet som ppm i tør jord. Lerjord, Åbenrå.
 Content of Fe^{++} , NH_4^+-N and NO_3^-N in clay loam profile. ppm in dry soil.

organisk stof, stiger koncentrationen noget. Mulighederne for nitrifikation af ammonium er her ringe. Ammoniumkoncentrationen varierer med dybden, men der er en positiv, signifikant korrelation mellem størrelsen af jordens lerfraktion og indholdet af NH_4^+-N . Det tages som udtryk for, at ammonium her udgør en del af jordens ionbytter-komplex.

Jyndeved: I jyndevedprofilen er der kun udtaget få jordprøver i naturlig lejring, og der er kun boret til 10 meters dybde. Fe^{++} -koncentrationen ligger på 4 til 6 ppm på basis af tør jord i de øverste 8 meter. I 9,5 meter er indholdet steget til 16 ppm. Der findes nitrat i hele jordprofilen, koncentrationen er 1,5 til 4,5 ppm i tør jord. Ammoniumindholdet svinger mellem 0,8 og 1,5 ppm i profilen.

9.2.2. De øvrige kemiske analyser

Åbenrå: I tabel 1 er anført resultaterne af de øvrige kemiske analyser i åbenråprofilen. Nederst i tabellen er angivet spredningen (standardafvigelse-

Tabel 1. Jordkemiske analyser i lerprofilen, Åbenrå. Profilens heterogenitet er angivet som pct. spredning af gennemsnit

Soil chemical analyses in the clay loam profile

gns. dybde meter	pH(H ₂ O)	mg/33,3 g jord Ft	mg/100 g jord						mg/1000 g jord Mnt
			SO ₄ -S	Clt	Nat	Kt	Cat	Mgt	
0,2	7,7	5,0	1,2	2,7	5,3	28,0	405	11,5	19,1
0,7	7,8	8,3	0,8	2,1	5,5	10,7	390	13,5	1,3
1,3	8,2	9,5	0,9	2,3	5,1	10,7	390	11,5	1,3
1,9	8,2	10,8	0,6	3,2	4,8	11,3	380	12,0	0,4
2,8	8,0	8,7	1,3	2,7	5,6	18,9	350	17,0	18,9
3,5	8,0	0,5	2,2	3,3	7,5	25,0	238	45,0	27,6
4,2	8,0	0,5	5,5	3,4	6,4	20,3	176	33,5	23,0
4,8	8,0	0,4	5,0	3,8	6,4	20,3	180	35,0	25,1
5,8	8,0	1,6	2,6	3,2	5,0	17,1	128	26,0	23,3
7,0	8,0	1,1	5,6	3,3	5,5	20,0	149	28,0	24,8
7,8	8,0	0,5	2,1	3,2	5,7	19,7	146	28,0	25,5
8,6	8,0	0,4	4,6	3,2	5,9	20,0	148	27,0	26,7
9,5	8,0	6,4	7,8	3,2	6,0	22,7	201	30,0	28,0
10,3	8,0	0,6	2,8	3,1	5,3	21,3	184	30,0	32,0
11,0	8,1	0,6	2,7	3,5	5,7	22,0	173	29,0	31,0
12,0	8,1	5,8	1,7	3,4	5,8	21,3	140	27,5	28,0
13,0	8,1	0,6	3,5	4,4	5,9	26,7	186	35,0	24,0
13,7	8,1	0,5	4,1	3,5	6,7	32,0	186	41,0	25,0
14,7	8,2	0,5	3,8	3,9	6,8	32,7	184	42,5	41,0
15,7	8,2	0,6	1,1	3,0	7,0	31,3	180	42,0	21,0
16,4	8,1	9,0	2,5	3,0	10,6	28,7	154	35,0	20,8
17,2	8,2	1,1	3,2	3,5	7,1	26,7	166	40,0	27,0
18,7	8,2	0,6	7,7	3,2	6,8	27,3	166	41,0	28,0
19,2	8,2	0,6	4,6	3,1	6,6	27,3	178	38,5	20,0
20,5	8,3	0,6	7,1	3,0	6,7	28,0	186	38,5	18,0
20,9	8,2	10,0	3,6	3,0	5,6	22,7	132	30,5	22,1
21,6	8,1	9,9	20,2	2,6	4,0	14,0	65	13,5	17,2
22,3	8,2	10,0	7,0	4,8	6,9	22,7	124	22,0	17,5
22,7	8,2	8,3	4,2	2,2	3,6	12,0	70	12,0	14,3
23,6	8,2	5,0	2,6	2,5	2,7	8,8	69	7,5	12,0
24,4	8,0	7,1	5,3	2,3	4,6	18,4	158	15,5	16,3
gns.	8,1	4,0	4,1	3,2	5,9	21,6	193	27,7	21,3
s %	2	99	88	19	23	31	48	41	42
gns. 4,2-20,9 m	8,1	2,1	4,1	3,3	6,4	24,4	167	33,9	25,7
s % 4,2-20,9 m	1	145	47	11	18	19	12	17	20

sen) i pct. af gennemsnittet på de enkelte stoffer i hele profilen samt spredningen i pct. i den mest ensartede del af lerprofilen, nemlig fra 4,2 til 20,9 meters dybde. Det fremgår, at pH ligger over 8 bortset fra rodzonen, i gennemsnit 8,1 og med en meget lille variation. Mængden af fosfor, der er opløselig i 0,2 n svovlsyre (Ft) er stor i de øverste 3 meter. Desuden er variationen meget stor, dog

således at de høje værdier forekommer, hvor leret er sandblandet eller i sandlagene, f.eks. omkring 7, 9,5, 16 og under 21 meter (sammenlign figur 3). Sulfatindholdet er mindst i og umiddelbart under rodzonen. Der er en ret stor variation i tallene. Ses bort fra de øverste lag er spredningen 47 pct. Chlorindholdet er lidt lavere i de øverste meter end i resten af lerlaget, men variationen er lille.

Mellem 4,2 og 20,9 meter er spredningen kun 11 pct. Natriumindholdet er i gennemsnit 5,9 mg pr. 100 g jord med en spredning på omkring 20 pct. Kaliumindholdet er højt, i gennemsnit et Kt på 21,6 med en spredning på ca. 30 pct. Calciumtallene og magnesiumtallene er i hele profilen høje. I de øverste 3 meter er Cat relativt høje og samtidig

er Mgt relativt lave. Spredningen på tallene i den mest ensartede del af profilen – 4,2 til 20,9 meter – er 12 pct. for Cat og 17 pct. for Mgt. Mangantallene er høje bortset fra den nederste del af rodzonen og umiddelbart derunder.

I tabel 2 er anført kationernes procentvise fordeling på grundlag af mæq. pr. 100 g jord. Ca er

Tabel 2. Kationfordeling i procent i jordprofilen, lerjord, Åbenrå. Profilens heterogenitet er angivet som pct. spredning af gennemsnit

Distribution of cations in per cent in the clay loam profile

gns. dybde meter	pct. kationer						mæq kationer pr. 100 g jord
	Na	K	Ca	Mg	Mn	NH ₄	
0,2	1	3	91	4	0,3	0,1	22,2
0,7	1	1	92	5	0,0	0,1	21,1
1,3	1	1	93	5	0,0	0,1	20,9
1,9	1	1	93	5	0,0	0,1	20,5
2,8	1	3	89	7	0,3	0,1	19,7
3,5	2	4	71	22	0,5	0,2	16,7
4,2	2	4	71	22	0,6	0,2	12,4
4,8	2	4	70	23	0,6	0,2	12,8
5,8	2	5	69	23	0,8	0,2	9,3
7,0	2	5	70	22	0,8	0,2	10,6
7,8	2	5	70	21	0,8	0,2	10,5
8,6	3	5	71	21	0,8	0,2	10,5
9,5	2	4	75	18	0,7	0,2	13,5
10,3	2	4	73	20	0,8	0,3	12,6
11,0	2	5	72	20	0,8	0,3	12,0
12,0	3	5	69	22	0,8	0,3	10,2
13,0	2	5	70	22	0,7	0,3	13,2
13,7	2	6	67	24	0,6	0,3	13,9
14,7	2	6	66	25	1,0	0,4	14,6
15,7	2	6	66	25	0,5	0,3	14,7
16,4	4	6	65	24	0,5	0,2	11,9
17,2	2	5	65	26	0,7	0,4	12,7
18,7	2	5	65	26	0,7	0,4	12,8
19,2	2	5	68	24	0,5	0,4	13,2
20,5	2	5	69	23	0,5	0,4	13,6
20,9	2	6	66	25	0,7	0,7	10,1
21,6	4	7	66	22	0,8	0,7	4,9
22,3	3	7	69	20	0,6	0,6	9,0
22,7	3	6	70	20	1,0	0,3	5,0
23,6	3	5	77	14	0,9	0,2	4,5
24,4	2	5	80	13	0,5	0,2	9,9
gns.							
s %	37	31	12	36	40	56	35
gns. 4,2–20,9 m	2	5	69	23	0,7	0,3	12,2
s % 4,2–20,9 m	18	12	4	10	20	41	13

den dominerende ion og udgør i gennemsnit 73 pct. Herefter kommer Mg, som udgør knap 20 pct. I laget fra 4,2–20,9 meter er Ca og Mg's procentvise andel meget konstant med en spredning på henholdsvis 4 og 10 pct. Kalium udgør i gennemsnit 5 pct. og natrium 2 pct. af de anførte kationer. Variationen er lidt større end for Ca og Mg. Mangan og ammonium udgør kun henholdsvis 0,6 og 0,3 pct. i gennemsnit. Jern er ikke medregnet i den procentvise fordeling.

I tabel 2 er der endvidere anført summen af mæq. kationer.

Jynde vad: I tabel 3 er anført resultaterne af de kemiske analyser i jynde vadprofilen. De to dybeste prøver 8,8 og 9,3 meter afviger fra de øvrige ved at have et højere pH og Cat. Det er en af årsagerne til den ret store spredning, der er på tallene. pH er iøvrigt ret konstant, i gennemsnit

5,6. Fosforsyretallene er relativt høje i rodzonen og varierer noget derunder. Sulfatanalysen er kun gennemført på 5 prøver: SO₄-indholdet er i gennemsnit 1,2 mg pr. 100 g jord. Chloridindholdet er lidt lavere i den ikke vandmættede zone end i grundvandet, men er iøvrigt ret ensartet. Profiliens natrium og magnesiumindhold er lavt og variationen ret stor. Kt aftager tydeligvis med dybden og er i hele profilen lave. Calciumtallenes variation bliver meget stor på grund af et relativt højt indhold ombytteligt Ca i de aller øverste lag samt i ca. 9 meters dybde. Mangantallene er meget lave i rodzonen, men til gengæld høje derunder.

I tabel 4 er kationernes procentvise fordeling i jynde vadprofilen anført. Ligesom for åbenråprofilen er Ca den dominerende kation. En væsentlig forskel på denne sandjordsprofil og lerjordspro-

Tabel 3. Jordkemiske analyser i sandjordsprofilen, Jynde vad. Profilens heterogenitet er angivet som pct. spredning af gennemsnit

Soil chemical analyses in the coarse sand profile

gns. dybde meter	pH(H ₂ O)	mg/33,3 g jord		mg/100 g jord					mg/1000 g jord
		Ft	SO ₄ -S	Cl	Nat	Kt	Cat	Mgt	Mnt
0,2	6,1	5,8		2,2	2,1	6,7	52	1,9	0,6
0,3	5,7	2,4		1,4	1,0	2,3	12	0,7	0,0
0,6	5,8	4,0		1,4	0,9	1,6	5	0,3	0,1
0,9	5,7	1,4		1,5	1,2	4,4	11	1,2	1,6
1,3	5,9	0,8	1,2	1,6	1,0	2,5	7	0,7	4,6
1,8	5,3	0,8		1,5	1,2	3,1	11	1,3	5,9
2,3	5,1	1,7		1,4	1,0	1,1	4	0,4	9,8
2,8	5,3	2,2		1,5	1,1	1,2	7	0,4	15,0
3,3	5,3	1,7	2,1	1,8	0,9	1,7	10	2,7	18,7
3,8	5,3	2,2		2,0	2,1	1,9	10	3,6	15,2
4,3	5,3	2,6		2,1	1,4	1,6	9	3,2	22,1
4,8	5,4	3,2		2,3	2,2	1,3	8	2,7	18,7
5,3	5,4	3,3	1,1	2,2	1,1	0,8	6	1,5	14,3
5,8	5,6	2,8		2,4	1,5	0,9	6	1,3	17,2
6,3	5,7	2,6		2,0	1,6	0,6	6	0,9	12,4
6,8	5,6	2,5		2,0	0,9	0,6	6	0,9	12,4
7,3	5,5	2,3	0,7	2,2	0,9	0,6	4	0,8	12,4
7,8	5,4	2,2		1,7	1,0	0,6	4	0,6	11,5
8,3	5,6	2,1		1,9	1,0	0,5	7	0,8	20,8
8,8	6,5	2,3		1,8	1,2	0,6	60	1,5	5,6
9,3	7,0	3,3	0,9	2,0	2,5	1,2	87	2,0	7,7
gns.	5,6	2,5	1,2	1,9	1,3	1,7	16	1,4	10,8
s %	8	44	45	18	37	88	140	68	65

Tabel 4. Kationfordeling i procent i jordprofilen, sandjord, Jyndevad. Profilens heterogenitet er angivet som pct. spredning af gennemsnit

Distribution of cations in per cent in the coarse sand profile

Gns. dybde meter	pct. kationer						mæg kationer pr. 100 g jord
	Na	K	Ca	Mg	Mn	NH ₄	
0,2	3	6	85	5	0,1	1,5	3,06
0,3	5	7	76	8	0,0	4,0	0,79
0,6	11	11	69	6	0,0	2,8	0,36
0,9	6	13	66	12	1,2	1,2	0,74
1,3	8	11	65	11	3,2	1,9	0,54
1,8	6	10	67	13	2,6	1,2	0,82
2,3	12	9	59	9	10,6	1,5	0,34
2,8	10	6	67	6	10,0	1,0	0,52
3,3	5	5	57	25	7,8	0,7	0,87
3,8	9	5	50	30	6,4	0,6	1,01
4,3	7	5	50	29	8,9	0,7	0,90
4,8	12	4	49	27	8,3	0,7	0,82
5,3	9	4	55	22	9,5	1,1	0,55
5,8	12	4	53	19	11,1	1,1	0,57
6,3	14	4	59	14	8,8	1,4	0,51
6,8	8	4	62	15	9,3	1,5	0,48
7,3	11	5	52	18	11,8	1,8	0,38
7,8	11	6	56	14	11,7	1,9	0,36
8,3	7	2	63	13	13,7	1,4	0,55
8,8	2	1	93	4	0,6	0,3	3,21
9,3	2	1	93	3	0,6	0,2	4,68
gns.	8	6	64	14	6,1	1,4	1,1
s %	43	60	21	58	74	63	109

filen er, at mangans pct. andel i sandjorden er 10 gange så stor som i lerjorden. Endvidere udgør natrium en væsentlig større del i sandjorden end i lerjorden. Variationen i profilen er i alle tilfælde stor.

10. Diskussion og konklusion om forsøgsarealerne

Det skal understreges, at de eksakte talværdier fra analyserne kun gælder for det ene sted i marken, hvor boringen er foretaget, men tendensen i talmaterialet må formodes at gælde for hele marken.

Åbenråarealet må betegnes som en svær morænelerjord. Vandbevægelsen i en så finkornet jord er langsom, og det må derfor forventes, at udvaskningen er lille.

Det er konstateret, at det issølerlag, der findes

lokalt i marken, har et højt indhold af Fe⁺⁺, og samtidig er NO₃-indholdet lavt. Fe⁺⁺-indholdet i de øverste 3 til 4 meter uden for issøleret er meget lavere, og NO₃-indholdet er noget højere. Dette tyder på en kemisk nitratreduktion og er i overensstemmelse med *Lind og Pedersens (1975)* iagttagelser.

Grænsen mellem oxiderede og reducerede jordlag er ikke skarp, men ligger mellem 3,5 og 4 meters dybde.

Den spredning, der er på resultaterne af de kemiske analyser i lerjordsprofilen, må tages som et udtryk for morænelerets heterogenitet. Betragtes laget fra 4,2 til 20,9 meters dybde, må profilen karakteriseres som ret ensartet.

Jyndevadarealet er en typisk grovkornet hedeslottesandjord. Vandbevægelseshastigheden

er stor, og det kan forventes, at et nitratoverskud i rodzonen hurtigt vil blive vasket ned til grundvandet.

Grænsen mellem oxideret og reduceret materiale må ligge under de 9,5 meters dybde, der er boret til eller måske omkring denne dybde, idet ferrojernindholdet i den dybeste prøve er tre gange så højt som i lagene oven over.

For sandjordsprofilen i Jyndevad kunne der forventes store dybdevariationer på grund af hedeslettens opbygning i lag med forskellig tekstur. Det er også kommet til udtryk i nogle høje værdier for talmaterialets spredning.

Fosforsyretallene er forholdsvis høje i de øverste jordlag i begge profiler. Det antages at skyldes fosforgødskning og biologisk aktivitet.

Calciumtallene er relativt høje i de øverste jordlag. Det modsatte er tilfældet med Mg og Mn. En af årsagerne er formodentlig en mere rigelig tilførsel af Ca end Mg og Mn.

Resultaterne afspejler lidt af den heterogenitet, som kan forventes i jordbunden inden for en mark. Det kan give en vanskelighed i tydning af resultaterne af nedsvivningsundersøgelser under markforhold. Som modvægt til at opveje denne vanskelighed står de fordele, at undersøgelserne foregår på de steder og under de forhold, som konklusionerne drages for.

11. Litteratur

- Arnold, P.W., 1962. Soil Potassium and its availability to plants. Outlook on agriculture, 3, 263-267
- Aslyng, H.C., 1973. Miljø og jordbrug. D.S.R., Den kgl. Vetr. og Landbohøjskole, København, pp 67
- Bolton, E.F., Aylesworth, J.W., Hore, F.R., 1970. Nutrient losses through tile drains under three cropping systems and two fertility levels on a Brookston clay soil. Can. J. Soil Sci., 50, 275-279
- Damsgård-Sørensen, 1946. Studier over jordens fosforsyreindhold. IV. Det organisk bundne fosfor. Tidsskr. f. Planteavl, 50, 653-675
- Forureningsrådet, 1971a. Vandressource, publikation nr. 14
- Forureningsrådet, 1971b. Plantenæringsstoffer, publikation nr. 16.
- Fælles arbejdsmetoder for jordbundsanalyser. Landbrugsministeriet 1972
- Gustafson, A., 1975. Läckage av kväve från åker. Nordisk Jordbrugsforskning, 57, 148-149
- Hansen, F., 1926. Om bestemmelse af nitratkvælstof i regnvand, drænvand og jord. Tidsskr. f. Planteavl, 32, 69-120
- Hansen, L., 1976. Jordtyper på statens forsøgsstationer. Tidsskr. f. Planteavl, 80, 742-759
- Hansen, L., Pedersen, E.F., 1975. Drænvandsundersøgelser 1971-74. Tidsskr. f. Planteavl, 79, 670-688
- Henriksen, Aa., 1964. Om danske landbrugsjordes magnesiumtilstand og afgrødernes magnesiumforsyning. Tidsskr. f. Planteavl, 67, 773-783
- Jensen, H.E., 1974. Vand og kvælstofbalance i lysimeterforsøg. Nordisk Hydrologisk Konference 1974, 1, 165-187
- Kjellerup, V., 1975. Kvælstofgødskningens indflydelse på drænvandsindhold af nitratkvælstof. Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur. 1220. Medd., 77 Årg.
- Kofoed, A. Dam, Kjellerup, V., 1970. Nedvaskning af kvælstofforbindelser i jord. Tidsskr. f. Planteavl, 73, 659-686
- Kofoed, A. Dam, Lindhardt, J., Klausen, P.S., 1967. Forsøg med flydende vandfri ammoniak. Tidsskr. f. Planteavl, 71, 145-226
- Kolenbrander, G.J., 1969. Nitrate content and nitrogen loss in drainwater. Neth. J. Agric. Sci., 17, 246-255
- Kolenbrander, G.J., 1972. The eutrophication of surface water by agriculture and the urban population. Stikstof, 15, 55-67
- Kolenbrander, G.J., 1973. Fertilizers, farming practice and water quality. Proc. Fertilizer Society, 135, pp 36
- Kolenbrander, G.J., 1975. Nitrogen in organic matter and fertilizer as a source of pollution. Conference on nitrogen as a water pollutant. Vol. 1, København.
- Köhnlein, J., Oehring, N., Spielhaus, G., 1966. Nährstoffauswaschung aus der Ackerkrume von sechs schleswig-holsteinischen Böden in den Unterboden. Zeitschr. f. Acker- und Pflanzenbau, 124, 212-233
- Köhnlein, J., Weichbrodt, H.H., 1971. Die Nährstoffauswaschung aus der Ackerkrume in den Unterboden und ihr Einfluss auf die Nährstoffbilanz. Neunjährige Untersuchungen an sechs verbreiteten Bodentypen Schleswig-Holsteins mit Hilfe der Krumen-Lysimeter-Anlage. Zeitschr. f. Acker- und Pflanzenbau, 134, 58-82
- Lamm, G.G., 1971. Det danske Jordarkiv. Tidsskr. f. Planteavl, 75, 703-720
- Larsen, S., 1967. Soil Phosphorus. Advances in Agronomy, 19, 151-210
- Lind, A.M., Pedersen, M. Brink, 1975a. Nitrate reduction in the subsoil. II. General description of boring profiles and chemical investigations on the profile cores. Tidsskr. f. Planteavl, 80, 82-99
- Lind, A.M., Pedersen, M. Brink, 1975b. Nitrate reduction in the subsoil. III. Nitrate reduction experiments with subsoil samples. Tidsskr. f. Planteavl, 80, 100-106

- Lindhard, J.*, 1975. Kvælstof i afgrøde og gennemsvinningsvand efter tilførsel af nitrat- og ammoniumkvælstof. Lysimeterforsøg 1962-72 Tidsskr. f. Planteavl, 79, 536-544
- Lønholdt, J.*, 1973. Landbrugets bidrag til N og P -belastning af vore recipienter. Stads- og Havneingeniøren, 64, 191-195
- Maschhaupt, J.G.*, 1941. Lysimeter-ondersoekingen aan het Rijklandsbouwproefstation te Groningen en elders. II. De scheikundige samenstelling van het drainwater. Versl. landbouwk. onderz., 47, 165-528
- Schreven, D.A. van*, 1970. Leaching losses of nitrogen and potassium in polders reclaimed from lake Ijssel. Plant and Soil, 33, 629-643
- Skriver, K.*, 1977. Planteavlsarbejdet i landbo- og husmandsforeningerne 1976. 88-103
- Søndergård, B.*, 1975. Personlig kommunikation. Danmarks Geologiske Undersøgelser. Vandplanlægning i Sønderjylland. Sønderjyllands amtsskommune, 1974
- V.K.I.*, 1976. Gudenåundersøgelsen 1973-1975. Stoftransport. Rapport nr. 12. Vandkvalitetsinstituttet, pp 92
- Weise, K.*, 1972. N-, K-, Ca- und Mg Auswaschungsverluste aus verschiedenartigen Ackerböden. Arch. Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde, 16, 319-328
- Wiklander, L.*, 1970. Utlakning av näringsämnen. 1. Halten i dräneringsvatten. Grundförbättring, 23, 117-142.
- Wiklander, L.*, 1974. Leaching of plant nutrients in soils. Acta Agriculturae Scandinavica, 24, 349-356

Manuskript modtaget den 25. november 1977.