

NPo-forskning fra Miljøstyrelsen

Nr. B6 1990

Transport og omsætning af N og P i Langvad Å opland. I



Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

Om NPo-forskningsprogrammet

NPo-forskningsprogrammet skal tilvejebringe viden om, hvordan kvælstof (N), fosfor (P) og organisk stof (o) omsættes i jord og påvirker søer, vandløb, fjorde, hav og grundvand.

Denne rapport er een af de ca. 50, der udsendes som et resultat af NPo-forskningsprogrammet. Med Miljøstyrelsen som ansvarlig for programmets gennemførelse er der sat ca. 70 NPo-projekter i gang ved 25-30 institutioner.

Op gennen 1970'erne og i 80'ernes begyndelse kom der en stigende erkendelse af, at udledninger af næringsstoffer kunne blive en trussel mod livet i vandløb m.v. – og af at der kunne ske en nitratforurening af grundvandet. Den eksisterende viden blev i 1984 samlet af Miljøstyrelsen i den såkaldte NPo-rapport.

Rapporten førte til, at Folketinget i 1985 vedtog de første indgreb for at begrænse forureningen med næringsstoffer – ved at stille krav om, hvordan landbruget skal opbevare og sprede husdyrgødningen.

For at skaffe en større viden om næringsstofferne indvirkning på naturen afsatte Folketinget samtidig 50 mill. kr. til dette forskningsprogram – som løber fra 1985 og frem til udgangen af 1990.

NPo-forskningsprogrammet blev yderligere aktuelt med Folketingets vedtagelse af Vandmiljøplanen i 1987. Her vil NPo-programmets resultater indgå som et vigtigt baggrundsmateriale for vurderingen af Vandmiljøplanens virkninger.

Til at sikre den faglige og økonomiske afvejning af forskningen blev der nedsat en styringsgruppe, som således har haft det øverste ansvar for NPo-programmets gennemførelse. Desuden blev der nedsat tre koordinationsgrupper, som hver har haft det faglige ansvar for deres område: jord og luft, grundvand og overfladevand.

Rapporterne udsendes i serien »NPo-forskning fra Miljøstyrelsen« – som er opdelt i A, B og C publikationer:

- A er rapporter om jord og luft
- B er rapporter om grundvand
- C er rapporter om vandløb, søer og marine områder

Miljøstyrelsen har været sekretariat for arbejdet og har sammen med koordinationsgrupperne stået for redaktionen af denne rapportserie.

Transport og omsætning af N og P i Langvad Å opland. I

Vibeke Ernstsén, Peter Gravesén,
Bertel Nilsson, Walter Brüsch
og Johnny Fredericia
Danmarks Geologiske Undersøgelse

Steen Genders
Isotopcentralen

MILJØSTYRELSEN
BIBLIOTEKET
Strandgade 29
1401 København K

Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

INDHOLD

Sammendrag

<u>1.</u>	<u>Indledning</u>	7
<u>2.</u>	<u>Materialer og metoder</u>	11
2.1	Geologi og geofysik	11
	2.1.1 Borearkiv og beskrivelse af boreprøver	11
	2.1.2 Geofysiske metoder	11
	2.1.3 EDB-behandling, kort og profiler	11
	2.1.4 Geologisk beskrivelse og model	12
2.2	Hydrogeologi	15
2.3	Boringer, prøvetagning og kemiske analysemetoder	16
2.4	Jordvand og drænvand	18
2.5	Tritium	19
<u>3.</u>	<u>Resultater</u>	21
3.1	Geologiske forhold	21
	3.1.1 Langvad å oplandet	21
	3.1.2 Geologisk model for Syv bæk oplandet	23
	3.1.3 Geologisk model for Glim	26
3.2	Hydrogeologi, Syv bæk	28
3.3	Geokemiske analyser, Syv bæk og Glim	32
	3.3.1 Lerindhold, vandindhold, carbonat og pH	32
	3.3.2 Forskellige kvælstofforbindelser	32

3.3.3	Forskellige jærnformer	36
3.3.4	Lermineralogi	38
3.3.5	Fosfor	38
3.4	Hydrokemi, jord- og drænvand, Syv bæk	40
3.5	Grundvandets alder bestemt ved tritium	44
<u>4.</u>	<u>Diskussion og konklusion</u>	47
	<u>Referenceliste</u>	59
	<u>Registreringsblad</u>	
<u>Bilag:</u>	1. Fence-diagram, Syv bæk	
	2. Lertykkelseskort, det nordlige opland til Langvad å (Glim)	
	3. Nitrat-, ammonium- og tritiumprofiler, Syv bæk	

Sammendrag

Geologiske typeområder	I et typisk østdansk morænelersområde, oplandet til Langvad å, er der gennemført undersøgelser af den umættede zone og det øvre grundvandsmagasin indenfor to geologiske typeområder: Syv bæk typen med tykke forholdsvis uforstyrrede morænelerslag over vandførende lag, stedvis med arte-siske reservoirer, og Glim typen med lerlag af varierende tykkelse over sand- og grusreser-voirer med frie vandspejl. De to typer repræsen-terer henholdsvis 45% og 5% af de morænelersdo-minerede områder i Danmark.
Andel af Dk's moræneler	
Fordelingen af nedsivende vand	I oplandet til Syv bæk skønnes fordelingen af det nedsivende vand at være ca. 30% (ca. 65 mm/år) til de primære og sekundære magasiner, og ca. 70% (ca. 120 mm/år) til dræn samt sand- og gruslag. I Glim området sker nedsivningen formodentlig næsten udelukkende til dybere magasiner.
Nitrat	Analyser af jordprøver fra borerer udført på agerjord viser, at nitrat normalt kun forekommer i den øvre oxiderede zone af jorden, og at indholdet aftager markant ved grænsen til den redu-cerede zone. Det oxiderede lag er i Syv bæk om-rådet 3-7 meter, og i Glim området 3-9 meter tykt.
Ammonium	Ombytteligt ammonium forekommer primært i den reducerede zone, hvor mængden bl.a. synes be-stemt af lerindholdet. Fixeret (ikke ombytte-ligt) ammonium findes i langt større mængder end nitrat og ombytteligt ammonium og formodes at udgøre et primært indhold i sedimentet.
Jernformer	Hovedparten af jernindholdet i de undersøgte jordlag findes strukturelt bundet i lerminera-ler, enten som ferrojern (FeII) eller som ferri-jern (FeIII). I den oxiderede zone udgør FeII 10-15%, og i den reducerede zone ca. 50%. Lettilgængeligt ferrojern findes til sammenlig-ning kun i ubetydelig mængde. Indholdet af frie

	ferrioxidhydroxider er større i den oxiderede zone end i den reducerede zone.
Ferrojern til brug for oxidationsprocesser	Mængden af ferrojern, der kan forbruges ved oxidationsprocesser, incl. nitratreduktion, er beregnet ved fordelingen af FeII. Beregningerne viser, at indholdet af FeII kan opbruges i et 1 cm tykt lerlag ved en udvaskning på 50 kg N/ha/år. Et skøn over den mængde ilt, der er transporteret ned gennem jordlagene siden sidste istid, viser, at forbruget af FeII i overvejende grad kan være knyttet hertil.
I lerlagene fjernes nitrat	I boreprofiler i agerjordsarealer viser indholdet af nitrat og tritium i forskellige dybder, at tritiumholdigt vand, yngre end 1950, er trængt ned til større dybde end nitratholdigt vand. Dette understreger, at det oprindelige indhold af nitrat er fjernet gennem kemiske processer. Tabet af nitrat antages at ske i den oxiderede zone eller ved overgangen til den reducerede zone.
Konsekvensen af en formindsket N-udvaskning i de to geologiske typeområder	Formindskes udvaskningen af kvælstof i et område som Syv bæk, vil det have en hurtig effekt på koncentrationen af nitrat i det vand, der strømmer gennem dræn og overfladenære sand- og gruslag samt en relativt hurtig effekt på koncentrationen i grundvand i sekundære reservoirer med en forholdsvis hurtig vandudskiftning. Ved Glim vil koncentrationen af nitrat på længere sigt formindskes i grundvandet. I områder med overdækkende lag med et stort lerindhold og med mægtigheder på mere end ca. 10 m synes det primære grundvandsmagasin godt beskyttet mod nedsivende nitratholdigt vand.
Fosfat i jordprøver og jordvand	Indholdet af fosfor i jordprøver ekstraheret med svovlsyre varierer mellem 110 og 460 ppm P. I jordlag som de undersøgte bindes fosfor meget effektivt, hvilket bl.a. ses ved lave indhold af opløst fosfat (<0.1 mg PO ₄ -P/l) i jordvand opsamlet indtil 1.6 m dybde.

1. Indledning

Forsøgsområde	Oplandet til Langvad å er et typisk østdansk morænelersområde, dvs. med lerlag af varierende tykkelser over grundvandsreservoirere, der enten er artesiske eller frie. Fra oplandet løber Langvad å mod nord ud i Kattinge Vig i den sydlige del af Roskilde fjord.
Formål	Formålet med nærværende projekt har været at beskrive næringssaltbelastningen, specielt kvælstof og fosfor, af vandløb, drænsystemer samt primære og sekundære grundvandsmagasiner.
Datagrundlag	Rapporten er baseret på allerede eksisterende geologiske data for hele oplandet, samt resultater fra nye undersøgelser af geologi, hydrogeologi, geokemi og hydrokemi indenfor to mindre geologiske typeområder i oplandet.
To geologiske typeområder: Syv bæk og Glim	Den ene type er oplandet til Syv bæk, kommunevandløb (KVL) 39 og 40, der består af tykke sammenhængende morænelerslag. Den anden type er området ved Glim, der fremstår med lerlag af varierende tykkelse over sand- og gruslag. Undersøgelser gennemført i forbindelse med projektet har omfattet den umættede zone og det sekundære grundvandsmagasin.
Kvælstof og fosfor	I projektet er hovedvægten lagt på en beskrivelse af fordelingen af forskellige kvælstofforbindelser (N), mens fordelingen af fosfor (P) er tillagt en mindre betydning. Denne prioritering er foretaget på baggrund af tidligere undersøgelser, der har vist, at jordlag som de undersøgte normalt adsorberer fosfat meget effektivt, og udvaskningen derfor er ringe. (Hansen & Pedersen, 1975. Kjellerup og Kofoed, 1979 og Hansen, 1981).

Deltagende institutioner	Denne rapport indeholder en beskrivelse af de undersøgelser, der er udført af Danmarks Geologiske Undersøgelse (DGU), Instituttet for Teknisk Geologi (ITG) og Isotopcentralen (IC).
DGU's andel	DGU har foretaget en samlet geologisk beskrivelse af oplandet til Langvad å og opstillet en geologisk model for oplandet til Syv bæk. I værkstedsområdet er der udført hydrogeologiske undersøgelser indenfor et drænopland, for derigennem bl.a. at estimere fordelingen mellem vertikal nedsivning og sideværts afstrømning gennem dræn og sand- og gruslag. De geokemiske undersøgelser omfatter kemiske og lermineralogiske analyser af sedimentprøver til brug ved en vurdering af jordlagenes evne til at fjerne nitrat og adsorbere fosfor i det nedsivende vand, beregne nitratreduktionskapaciteten samt beskrive de kemiske ændringer der knytter sig til nitratfjernelsen. Fordelingen af belastningen mellem den overfladenære afstrømning til recipienten samt nedsivningen til dybere grundvandsmagasiner er beskrevet ved hydrokemiske undersøgelser af bl.a. nitrat og ammonium.
IC's andel	IC har bestemt indholdet af tritium i jordvand til brug for en vurdering af nedsivningshastigheden indenfor oplandet til Syv bæk.
ITG's andel	ITG har opstillet en geologisk model for Glim området, kortlagt tykkelsen af morænelerslaget over Hedeland Formationen samt udbredelsen af områder med gennemslag af nitrat og sammenholdt disse data med den konstaterede belastning af Hedeland reservoriet.
Andre projekter i tilknytning nærværende	I tilknytning til projektet har Instituttet for Strømningsmekanik og Vandbygning (DtH/ISVA) til foretaget en modellering af drænafstrømningen indenfor oplandet til Syv bæk (Engesgaard og Jensen, 1990), og Dansk Hydraulisk Institut

(DHI) har modelleret næringssaltbelastningen af grundvand og vandløb i oplandet til Langvad å (Storm og et al., 1990). Hedeselskabet har undersøgt afstrømningen og stoftransporten i oplandet til Syv bæk (Hansen, 1990), og Statens Plantæavlslaboratorium har undersøgt den mikrobielle denitrifikation i udvalgte prøver fra Syv bækområdet (Zeutchen et al., 1990).

2. Materialer og metoder

2.1 Geologi og geofysik

2.1.1 Borearkiv og beskrivelse af boreprøver

Boringer og
boreprøver

Datagrundlaget for den geologiske beskrivelse stammer fra boringer i DGU's borearkiv (Gravesen, 1986). Indenfor projektet er udført 19 boringer (afsnit 2.3), hvor boreprøverne er blevet bedømt geologisk i laboratoriet, efter proceduren for beskrivelse af boreprøver ved DGU's boreprøvelaboratorium. Prøvebeskrivelserne kan ses i Gravesen (1990) og Rasmussen (1989).

2.1.2 Geofysiske metoder

Linieprofiler

Geoel-sondering

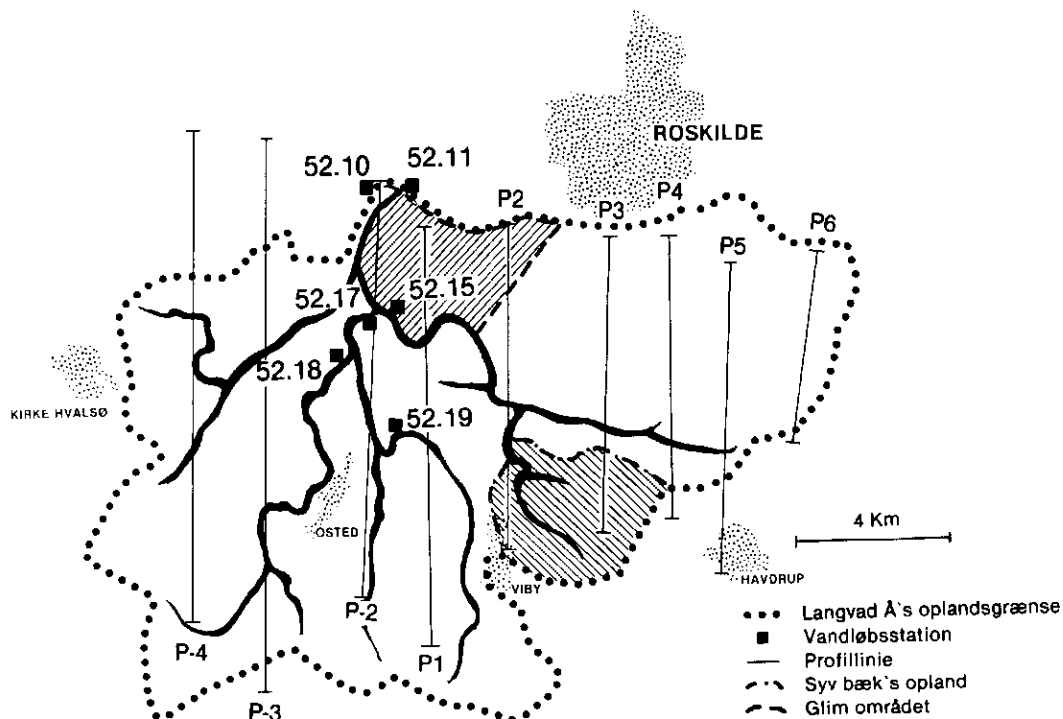
De geologiske forhold i Hedeland området blev kortlagt ved elektromagnetisk linjeprofilering og geoelektrisk sondering (geoel-sondering). Elektromagnetisk linieprofilering anvendtes for at vurdere karakteren og kontinuiteten af det overfladenære moræneler. Geoel-sonderinger blev udført ved boringerne Glim 1-7 for at bestemme lagenes resistivitet, specielt modstandsvariationen i moræneleret. Tolkning og følsomhedsanalyse er foretaget ved hjælp af "Geoelektrisk Inversions og Analyse program", Kosciński (1988) og Rasmussen (1989).

2.1.3 EDB-behandling - kort og profiler

Cirkeldiagram-
plot

Profiler

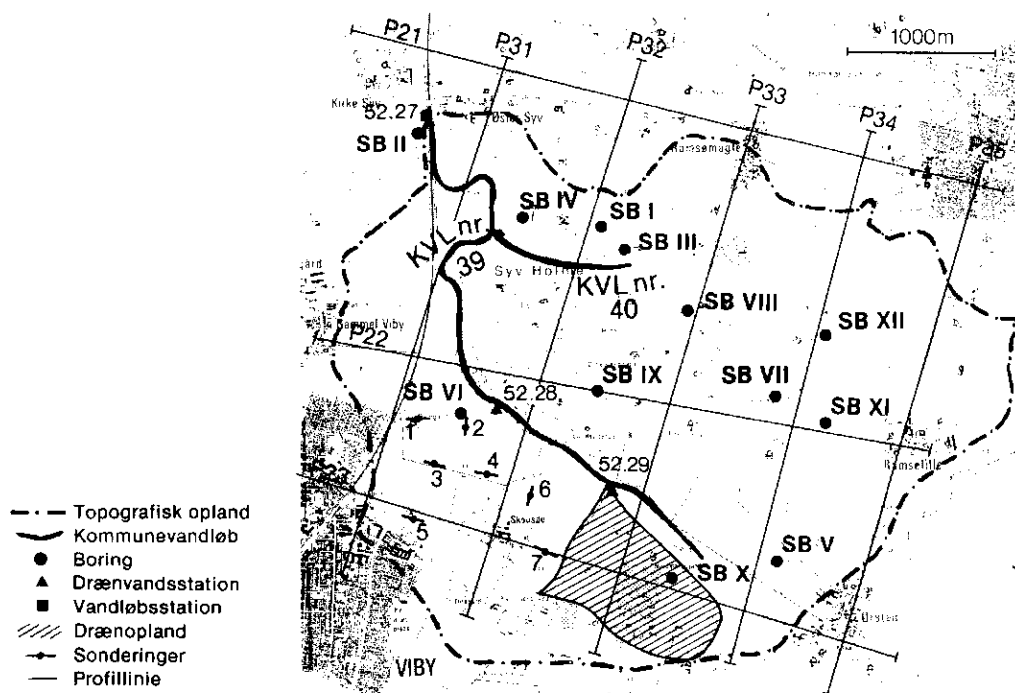
Ud fra DGU's boringsdatabase (ZEUS) er udtegnet cirkeldiagramplot for Langvad å området i målestok 1:25.000, som er blevet geologisk tolket. Der er desuden udtegnet profiler gennem områderne. For hele Langvad å oplandet er udtegnet 9 nord-sydgående profiler, figur 1. For Syv bæk værkstedsområdet er udtegnet tre vest-østgående profiler og fem nord-sydgående profiler, figur 2. Alle kort og profiler kan findes i Gravesen (1990).



Figur 1. Oplandet til Langvad å opstrøms vandløbsst. 52.10 og 52.11 med profilinier, Glim området samt oplandet til Syv bæk.

2.1.4 Geologisk beskrivelse og model

Geologiske modeller	Der er foretaget en samlet geologisk beskrivelse af oplandet til Langvad å og opstillet en geologisk model for oplandet til Syv bæk og Hedeland området, specielt dets vestlige del kaldet Glim området.
Fence-diagram	Den rumlige opbygning af Syv Bæk oplandet er illustreret ved et fence-diagram, bilag 1. Diagrammet giver et billede af den geologiske model for Syv Bæk området. Diagrammet er konstrueret ud fra profilerne, der ligeledes kan genfindes på diagrammet, figur 3.
Litteratur og kort	Geologisk litteratur og kort indgår ved beskrivelserne, og der er især lagt vægt på de geologiske basisdatakort, som er udarbejdet over området (Salinas, in press, a,b).

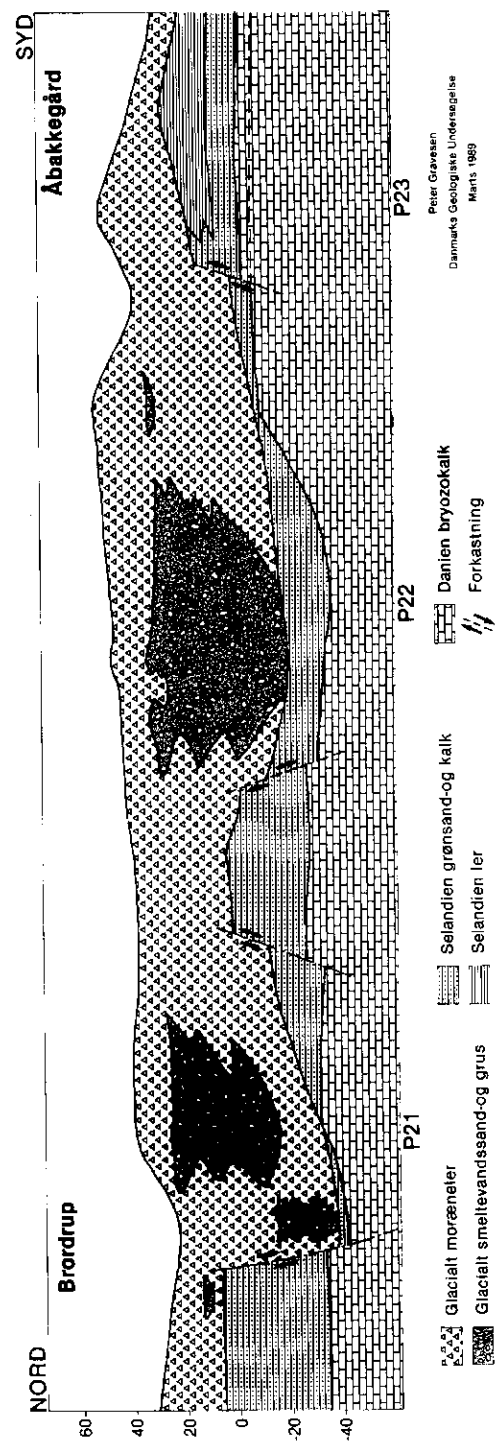


Figur 2. Kort over oplandet til Syvbæk opstrøms vandløbsst. 52.27 med borer, drænoiland, profilinier og sonderinger. Udsnit af 4 cm kortet 1513 III NØ. Reproduceret med tilladelse af Kort- og matrikelstyrelsen (A 204/87).

Sammenstilling af data

I Glim området er der foretaget en sammenstilling af opmålte og indsamlede geol-sonderinger, hvoraf en række er blevet genfortolket for at vurdere sammenligneligheden. Geol-sonderinger og boredata er sammenstillet i 10 profiler og 2 kort, visende tykkelsen af Hedeland Formationen og det overliggende morænelerslag (Kosciansky 1988). Erfaringsgrundlaget fra undersøgelsen er anvendt ved konstruktion af et lertykkelseskort, bilag 2, over den del af Hedeland området, der ligger indenfor Langvad å's opland. Sammenstillingen er baseret på NPo-projektets opmålinger, Jacobsen (1984a,b), R & H (1981) og på boredata.

Lertykkelseskort

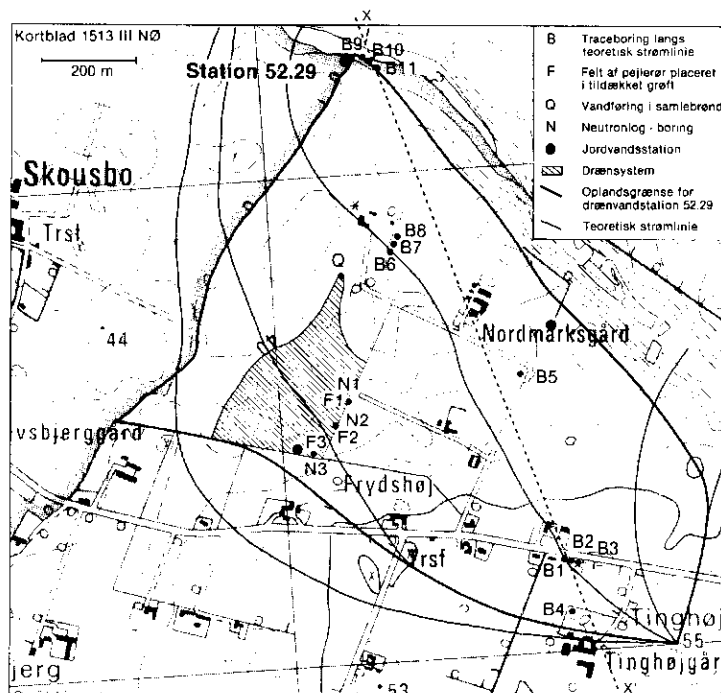


Figur 3. Et geologisk profil gennem Syv bæk området. P21, P22 og P23 henviser til profilinier, der findes indtegnet på figur 2.

2.2 Hydrogeologi

Monitering af grundvandszonen	Moniteringen af grundvandszonen blev udført i tre felter i et deldrænopland indenfor oplandet til drænvandsstation 52.29, figur 2 og 4. I en afstand af indtil ca. 25 meter fra markskel blev der i hvert felt gravet en rende. I bunden af renden, ca. 0.8 m u.t., etableredes 5 boringer med PVC-filtre i dybder fra ca. 0.7-2.4 m u.t., hhv. højeste niveau svarende til formodet drændybde, og formodet laveste niveau for grundvandsspejlet. Filterdiameter og længde var 75 mm og 0.9 meter. I hvert borerør blev monteret en 6 mm slange med lysningen nær filterbunden og en tilsvarende slange med lysning ved borerørets topstuds. I bunden af renden blev slangerne trukket ind til markskellet og samlet i en målebrønd. Renden blev dækket til umiddelbart inden efterårspløjningen i september 1988.
Grundvandsspejl	Grundvandsspejlets (GVSP) beliggenhed blev målt ved manometerprincippet, der er en indirekte målemetode til pejling af GVSP. Måleusikkerheden ved denne metode er 2-3 mm. I forbindelse med etableringen blev geologiske data indsamlet og sammenstillet i profiler, der sammenholdtes med potentialmålingerne.
Monitering af umættet zone	Ved hvert felt blev der etableret en boring i markskellet til monitering af den umættede zone. I borehullet blev nedpresset et vandtæt aluminiumsrør. Ved hjælp af en kombineret densitets- og neutronsonde blev jordens vandindhold målt ved neutron-spredningsmetoden og gamma-målinger i den umættede zone.
Teoretisk strømlinie	Langs en teoretisk strømlinie indenfor oplandet til station 52.29 blev etableret 5 grupper af 2-3 pejlerør (reder) til en dybde af ca. 3.5 m

u.t. Filtrene til potentialmåling var 30 cm lange og havde en diameter på 10 mm.



Figur 4. Syv bæk. Detailkort over oplandet til målestation 52.29. Lokaltiteter til hydrogeologisk undersøgelse og jordvandsstationer er angivet. Profillinien X-X' er vist i figur 8. Reproduceret med tilladelse af Kort- og matrikelstyrelsen (A204/87).

2.3 Boringer, prøveudtagning og geokemiske analysemetoder

Boringer	Indenfor projektet blev der gennemført 19 boringer i oplandet til Syv bæk og i Glim området til brug for de geologiske modeller og forskellige laboratorieundersøgelser, tabel 1.
Prøveudtagning	Sedimentprøverne blev udtaget i aluminiumsrør (intakte prøver) eller med snegl/kopbor. Prøver til geokemisk analyse blev hurtigst mulig konserveret ved frysning. Jordprøver til tritiumbe-

stemmelser blev opbevaret indpakket i plastposer i blikspande med tætsluttende låg, indtil afdestillationen af jordvand.

Boring	DGU arkiv nr.	Udført
SB I	206.1104	August/september 1987
SB II	206.1105	September 1987
SB III	206.1107	September 1987
SB VI	206.1108	September 1987
SB V	206.1155	September 1988
SB VI	206.1156	Oktober 1988
SB VII	206.1157	Oktober 1988
SB VIII	206.1188	Oktober 1989
SB IX	206.1189	Oktober 1989
SB X	206.1190	Oktober 1989
SB XI	206.1191	Oktober 1989
SB XII	206.1192	Oktober 1989
Glim 1	206.1174	April 1989
Glim 1A	206.1175	April 1989
Glim 2	206.1176	April 1989
Glim 3	206.1177	April 1989
Glim 4	206.1178	April 1989
Glim 5	206.1179	April 1989
Glim 6	206.1180	April 1989
Glim 7	206.1181	April 1989

Tabel 1. Anvendte bogstavsymboler, DGU arkiv nr. samt tidspunkter for udførelse af de enkelte boringer.

Analysemetoder N-forbindelser	Nitrat og ammonium er bestemt på naturfugtige jordprøver efter udrystning med kaliumchlorid. Fixeret ammonium er bestemt ved oplukning af jordprøver med flussyre og saltsyre (Silva og Bremner, 1966).
Jernforbindelser	Lettilgængeligt ferrojern er bestemt på naturfugtige prøver efter udrystning med aluminiumchlorid (Lind og Pedersen, 1976). Frie oxider er bestemt ved dithionit/citrat/bicarbonatmetoden (Mehra og Jackson, 1960), og jordens totale indhold af jern er bestemt ved oplukning af jordprøver med kongevand og flussyre (Møberg et al., 1988). Jerns oxidationstrin og position i mineraler er bestemt ved ^{57}Fe Mössbauer spektroskopi, hvorved ændringer i atomkernernes energiniveauer undersøges ved resonans absorption af gammastråling (Murad, 1988).

Lermineralogi Indholdet af lerpartikler ($<2 \mu\text{m}$) i jordprøver fra Syv bæk området er bestemt ved brug af gennemløbscentrifuge, og i jordprøver fra Glim området ved hydrometermetoden. Lermineralsammensætningen er bestemt ved røntgendiffraktometrisk analyse (RDA), hvorved røntgenstråler, pga. deres bølgelængde, kan trænge ned i faste stoffer og reflekteres (diffrakteres) af krystallers gitterplaner. Identifikation af lerminerallerne bygger på Bragg's ligning, der beskriver sammenhængen mellem bølgelængden, glansvinklen og afstanden mellem gitterplanerne (Møberg et al., 1988).

2.4 Jordvand og drænvand

Jordvand To jordvandsstationer blev installeret indenfor oplandet til drænvandsstation 52.29, figur 4. Jordvandsstation 1 (St. 1) blev etableret tæt ved Felt 3 (F3), og jordvandsstation 2 (St. 2) etableredes ca. 125 meter øst for Nordmarksgård.

Metode til opsamling af jordvand Jordvand blev opsamlet kontinuerligt med teflon sugekopper, der i serier af 3-6 stk. var placeret i dybder fra 0.6-1.6 m u.t., sædvanligvis en sugekop i hvert niveau. Hver sugekop blev tilsluttet en flaske, der fungerede som reservoir, og som ved en slange blev forbundet med et pumpesystem - en jordvandsstation - med en indbygget vacuumstat. Denne sikrede et konstant vacuum igennem perioden, 1-3 uger, hvor prøven opsamledes. Sugekopperne blev installeret i perioden mellem høst og den efterfølgende jordbehandling.

Drænvand Til sammenligning med resultaterne fra St. 1 blev der udtaget vandprøver fra et deldrænområde (Q i figur 4) gennem to drænperioder: medio oktober 1988 til medio maj 1989 og medio oktober 1989 til primo maj 1990.

2.5 Tritium

Tritiums egenskaber	Tritium er en radioaktiv isotop af brint med en halveringstid på 12.43 år. Ved naturlige eller kunstige processer kan tritium indbygges i vandmolekylet i stedet for brint. De tritiummærkede vandmolekyler vil i kemiske reaktioner opføre sig som almindelige vandmolekyler. Dette gælder i overvejende grad også vandets fysiske transportforhold i naturen.
Naturligt tritium i nedbør	Tritium dannes naturligt i atmosfæren ved kosmisk stråling og indgår med en lav koncentration i nedbøren (baggrund).
"Bombetritium"	I perioden fra 1952/53 til 1963 blev atmosfærens indhold af tritium meget kraftigt forøget som følge af prøvesprængninger med brintbomber ("bombetritium"). De højeste indhold af tritium i nedbøren over Danmark blev målt i perioden 1962-65 med maximum i 1963 på ca. 400 gange baggrundskoncentrationen. I 1989 var koncentrationen faldet til 2-4 gange den oprindelige baggrundsværdi. Tritiumkoncentrationen i vand angives normalt i enheden TU (Tritium Units), hvor 1 TU svarer til 1 tritiumatom pr 10^{18} brintatomer. Før prøvesprængningerne lå indholdet af tritium i nedbør på 8-10 TU.
Udnyttelsen af "bombetritium" i grundvand	I denne undersøgelse udnyttedes den begrænsede periodes forhøjede tritiumindhold ved en vurdering af nettonedbørens og ledsagende stoffers strømning og omsætning under nedsivningen gennem jordlagene. Tritiumprofilerne kan bl.a. bruges til at lokalisere dybden med den højeste tritiumkoncentration, der med god tilnærmelse markerer niveauet for nedbøren fra 1963. Det forudsætter dog, at nedbøren er trængt ned langs strømlinier parallelt med boreprofilet (vertikalt). Hvis dette ikke er tilfældet, kan det

være vanskeligt at fastlægge 1963-niveauet på basis af en enkelt eller få borer.

I grundvand kan tritiumindholdet altid tolkes efter følgende kriterier (forudsat en detektionsgrænse på 1 TU):

- Jordvand med et ikke måleligt tritiumindhold er faldet som nedbør mindst ca. 40 år før analyse (målt i 1989).
- Jordvand med et tritiumindhold, der er måleligt i 1989, er enten faldet efter ca. 1950, eller består af en blanding af gammelt vand, og vand faldet som nedbør efter 1950.

Tritiumindholdet i jordvand er tidligere udnyttet ved studier af nedsivningen i Susåens opland (Sevel et al., 1981).

Analysemetoden
for tritium

Tritium er bestemt i afdestillerede prøver af jordvand. Efter elektrolyse af 300 ml vand for opkoncentrering af tritiumindholdet emulgeres 12 ml i scintillatorvæske og radioaktiviteten måles. Tritium udsender ved henfald en karakteristisk lavenergetisk betastråling. Detektionsgrænsen er i denne undersøgelse 1 TU, standardafvigelsen er 4% relativt, dog ikke mindre end 0.6 TU.

3. Resultater

3.1 Geologiske forhold

Den geologiske model for hele Langvad å oplandet vil blive gennemgået kortfattet, hvorefter de mere specielle forhold ved Glim og Syv bæk vil blive behandlet.

3.1.1 Langvad å oplandet

Danien og
selandien

Bryozokalk fra danien findes næsten overalt i oplandet under selandien grønsandslag bortset fra enkelte spredte steder, hvor den kvartære erosion har været så gennemgribende, at selandien lagene er borteroderet. Grænsen mellem danien og selandien er en pålejringsgrænse. Den forløber nord-syd og er delvis parallel med den markante Roskilde Forkastning (Bondesen, 1979).

Forkastninger

Danien og selandien aflejringerne er gennemskåret af andre tydelige forkastningszoner som Lejre Forkastningen, mens talrige mindre forkastninger har medvirket til dannelse af en række dalstrukturer i de prækartære aflejringer, figur 3, (Bondesen, 1979, Hovedstadsrådet, 1981. Jacobsen, 1984b). Dalene er overvejende parallelle med Roskilde og Lejre Forkastningerne eller vinkelrette herpå. Profilerne viser i næsten alle tilfælde en blokforkastning af danien aflejringerne. Forkastningerne kan for det meste også spores i selandien aflejringerne, figur 3, (Gravesen, 1990). Forkastningszonerne har været svaghedszoner, hvor vand- og iserosion har haft lettere ved at erodere i de prækartære aflejringer. De dybe kvartære erosionsdales beliggenhed kan derfor ofte være betinget af, at der findes forkastningszoner i prækartæret.

Danien-selandien grænsen	Danien-selandien grænsen træffes således i dalene under kote -40 m og i de særligt dybe dale ned til -80 m. Udenfor dalene ligger fladen omkring kote -20 m til -30 m i det meste af området, men over kote ± 0 på den østlige side af Roskilde Forkastningen. Selandien aflejringerne består af tre sedimenttyper: grønsand, grønsandskalk og grønsandsler. Det er ofte således, at de tre sedimenttyper veksler med hinanden.
Prækvartær-overfladen	Prækvartæroverfladen ligger dybest mod vest (ned til kote -30 m), mens den træffes i kote +40 m mod øst. Overfladen er betinget af de mange forkastninger i prækvartæret og af en lang række erosionsdale, der lokalt når ned til mellem kote -40 og -70 m.
Kvartære aflejringer	Moræneler er den dominerende kvartære sedimenttype i området. I morænelerslagene optræder talrige isolerede smeltevandssand- og gruslegemer i forskellige niveauer. To større legemer af smeltevandssand og -grus er derudover tilstede: Torkilstrup Formation mod nordvest og Hedeland Formation mod nord og nordøst.
Torkilstrup Formationen	Torkilstrup Formation (Schrøder & Bondesen, 1978) har en lateral udbredelse fra Gammel Lejre til Torkilstrup og sydpå til Kirke Hvalsø. Formationen træffes i oplandets nordvestlige del mellem kote -20 m og +40 m, og den er op til 40 meter tyk. Vest for Svogerslev begynder Hedeland Formationen, som strækker sig mod øst til Hede- husene. Formationens udbredelse indenfor oplandet er vist på bilag 2. De to formationer kan opfattes som en enhed kun afbrudt af et erosionsområde omkring Gammel Lejre (Jacobsen, 1984b).
Hedeland Formationen	
Morænelers-tykkelser	Morænelerstykkelserne over Hedeland Formationen findes beskrevet i afsnit 3.1.3. Over Torkilstrup Formationen er lerdækket op til 30 meter tykt. Syd for Torkilstrup Formationen kan moræ-

nelerstykkelsen nå op på 80 meter, og leret hviler direkte på selandien lagene. Syd for Hedeland Formationen kan morænelerstykkelsen blive op til 40 meter, endog stedvis indtil 50 meter. Alle de glaciære aflejringer i oplandsområdet regnes for at være af weichsel alder, Jacobsen (1984b).

3.1.2 Geologisk model for Syv bæk oplandet

Den geologiske model er udarbejdet ud fra alt det foreliggende materiale (Gravesen, 1990).

Prækvarter aflejringer

Bryozokalken og grønsandssedimenterne er marine aflejringer og kan forventes at have en større horisontal udstrækning. Bryozokalken indeholder flintlag og flintnoder. På overgangen til selandien skete en submarin erosion af toppen af bryozokalken, og de ældre lag fra selandien består ofte af rullesten og konglomeratagtige sedimenter.

Grønsands- aflejringer

Selandien sedimenterne er mere sandede, ofte bestående af kalksandkorn og kvartssandkorn med noget lerslam samt glaukonit. Uhærdnet grønsand og let hærdnet grønsandskalk med få flintlag dominerer den nordlige og midterste del af området med forekomst af få større lerlegemer samt en del tynde begrænsede lerlag. Helt ned mod syd og sydvest træffes en større forekomst af uhærdnet grønsandsler, bilag 1.

Forkastninger og sprækker

Danien og selandien aflejringerne er gennemsat af forkastninger og sprækker. På fence-diagrammet, bilag 1, ses, at to dalstrukturer med nedforkastede blokke strækker sig øst-vest gennem området med højereliggende blokke liggende nord og syd for samt imellem dem. Der er sandsynligvis betydelig flere forkastninger igennem aflejringerne end de, som er angivet på diagrammet. Nord-sydgående findes også mindst en dalstruktur. Forkastningsbevægelserne har således betydelig

ning for beliggenheden af danien-selandien grænsen, der befinder sig mellem kote -40 m og -20 m alt efter, om grænsen træffes i en dal eller på en højdestruktur, figur 3.

Prækvartær- overfladen

Grænsefladen mellem selandien lagene og kvartær lagene (undtagelsesvis danien-kvartær) varierer en del i højden, og den er især betinget af de prækvartære strukturer. De største kvartære lagtykkelser findes over de nedforkastede dalstrukturer i prækvartæret, hvor også prækvartær-overfladen ligger dybest, stedvis ned til kote -40 m. Dette skyldes antagelig, at de prækvartære aflejringer i dalstrukturerne er gennemsat af sprækker og forkastninger, der har medført, at de har været lette at borterodere for floder og gletschere før og under istiderne. Udenfor de dybeste dale ligger prækvartær-overfladen almindeligvis over kote ± 0 m.

Kvartære aflejringer, moræner

De kvartære lag er mellem 10 og 60 meter tykke. Moræner er det mest udbredte kvartære sediment, og dets karakterer har kunnet iagttages i de tolv borer, der er blevet udført (Gravesen, 1990). Leret er for det meste sandet og siltet med et indhold af grus, men indslag med mere fedt moræner træffes også. I lerlagene træffes både tynde lag af morænesand og -grus, ligesom flager af grønsandskalk også optræder. Moræneret kan undertiden være lagdelt i centimeter tynde lag. Oxidationsgrænsen i lerlagene, dvs. grænsen mellem det oxiderede rødbrune ler og det reducerede grå ler, ligger i borerne fra 3.0 m til 7.0 m under terræn.

De undersøgte lerprøver har karakterer, der sandsynliggør, at de overvejende er dannet som bundmoræne, dog er de øverste forvitrede lerlag vanskelige at bestemme.

Smeltevands-sand og -grus	Lag af smeltevandssand og -grus findes som relativt små isolerede legemer spredt i morænelerslagene, men med en del større sand- og gruslegemer, som ligger i bunden af dalstrukturerne. Det mest markante sand-gruslegeme træffes i områdets østlige ende, hvor det kan følges i en nord-sydgående dalstruktur. Smeltevandslagene ligger mellem kote -10 m og +35 m, og legemet formodes at være en sydgående udløber af Hedeland Formationen. Små forekomster af smeltevandssilt og -ler findes øverst i profilerne, og de er formodentlig dannet i små søer.
Kvartære aflejringer, alder og dannelse	De glaciale aflejringer stammer alle fra weichsel istiden. Morænelerslagene under Hedeland Formationen kan ifølge Jacobsen (1984b) relateres til hoved-isfremstødet i mellem-weichsel. Ved denne gletschers bortsmelten blev der foran isranden aflejret sand, grus og sten i flettede flodsystemer på en hedeslette (Hedeland Formationen). Disse aflejringer synes at fortsætte mod vest i Torkilstrup Formationen. Ved den endelige bortsmeltning af nordøstisen havde hedesletten sin største udbredelse, og den lange sydgående kanalstruktur i Syv Bæk området blev dannet i denne fase, formodentlig ved, at kanalen delvis er blevet nederoderet og aflejret i de tidligere dannede Hedeland Formation aflejringer samt i de ældre morænelerslag. Isranden stod på dette tidspunkt øst for området (Hedehusene, Reerslev, Stærkende, Tune) (Jacobsen, 1984b).
Postglaciale, gytje og tørv	I løbet af postglacialtiden er der blevet dannet gytje og tørv i små søbassiner og omkring åer og bække.
Reservoirer	Af de kvartære aflejringer har kun smeltevands-sand- og gruslagene betydning som grundvandsreservoirer, men i Syv bæk området har de sekundær betydning. De små isolerede legemer har kun lo-

kal betydning, men hvis de er terrænnære, kan de fungere som dræn for den overfladenære afstrømning. Det store kanallegeme fungerer som et lokalt artesisk reservoir.

3.1.3. Geologisk model for Glim

Den geologiske model for området omfatter dels selve Glim området, hvor der er foretaget feltundersøgelser, figur 1, dels resten af den del af Hedeland, der ligger indenfor Langvad å's opland. De prækvartære forhold er beskrevet i afsnittet om geologien i Langvad å's opland.

Kvartære
aflejringer,
moræner

Den kvartære lagserie indledes af en nedre ret fed til siltet moræneler. Tykkelsen af leret tiltager fra øst mod vest, og fra det centrale Hedeland mod syd. Mod øst, hvor de store grusgravsområder findes, bilag 2, er tykkelsen generelt 5-10 m, men i nogle områder mangler moræneleret. I Glim området er tykkelsen ca. 10 m i de områder, hvor Hedeland Formationen er tyk, mens den mod vest og syd, hvor gruset tynder ud, er 20-30 m, sjældent 40 m tyk (Koscianski, 1988).

Hedeland
Formationen

Over moræneleret følger Hedeland Formationen. Mellem Darup og Tjæreby er formationen tynd eller mangler. Ved Tidselhuse-Tune ligger formationens bund over eller tæt ved grundvandsspejlet. Sydpå mod Viby optræder sandlagene pga. erosion som diskontinuerte legemer, bilag 2. I Glim området er den vestlige og sydlige begrænsning af Hedeland Formationen undersøgt, da dette har betydning for en eventuel grundvands-tilstrømning til Langvad å. Koscianski (1988) viste, at et sandlag, der kunne forbinde Hedeland Formationen og Kornerup å mod vest, maksimalt kunne være 2 m tykt. Boringen Glim 5 viser imidlertid, at der ikke træffes sand, hvorfor en vest-sydvestlig forbindelse næppe eksisterer. Mellem Øm og Lejre viser boringer og geoelektriske

deringer (Koscianski, 1988), at sandet i dalen ikke fortsætter ind under moræneleret, men er en terrassedannelse.

Hedeland Formationen ligger mellem kote 0 m og +40 m og kan blive op mod 40 m tyk. Østligst mellem Vindinge og Tune ligger hovedparten af formationen over grundvandsspejlet, mens den mod vest i Glim området hovedsageligt ligger under grundvandsspejlet. I Glim området varierer tykkelsen mellem 0 og 40 m, og det er især undergrænsens niveau, der er varierende.

Morænelers- tykkelser

Over Hedeland Formationen træffes op til 3 moræner af moræneler, der ofte ikke lader sig adskille visuelt. Tykkelsen af moræneleret er kortlagt og vist på bilag 2.

Lertykkelsen varierer fra ca. 2 m til 16 m. Ved større lertykkelser er Hedeland Formationen tynd og tilsvarende vanskelig at eftervise geofysisk. I Glim området blev lertykkelsen efterkontrolleret ved udførelsen af borerne Glim 1-7, figur 10, og afvigelserne var mindre end 2 m.

Syd for Hedeland Formationens udbredelse er lertykkelsen kortlagt ud fra borerne. Kortområdet dækker tillige den nordlige del af Syv baks opland. Lertykkelsen over sandlag, der kunne fungere som sekundære reservoirer, eller over de prækvartære lag er angivet. I den største del af området forekommer sandlag i morænen, men disse anses for relativt isolerede. Indenfor de områder, hvor kortet viser tykkelse til sandlag i morænen, træffes enkelte borer uden sandlag og med stor tykkelse til prækvartæret. Disse er angivet med særlig signatur, og lertykkelsen kan være 40-50 m.

På grund af afgrænsningsproblemet er kurver på over 20-24 m ler ikke angivet. Kortet viser, at der syd for Hedeland Formationen kun forekommer større områder med sand under lerlag, der er mindre end 8-16 m tykke, langs Langvad å fra Snoldelev og syd om Øm. Øvrige områder med tynde

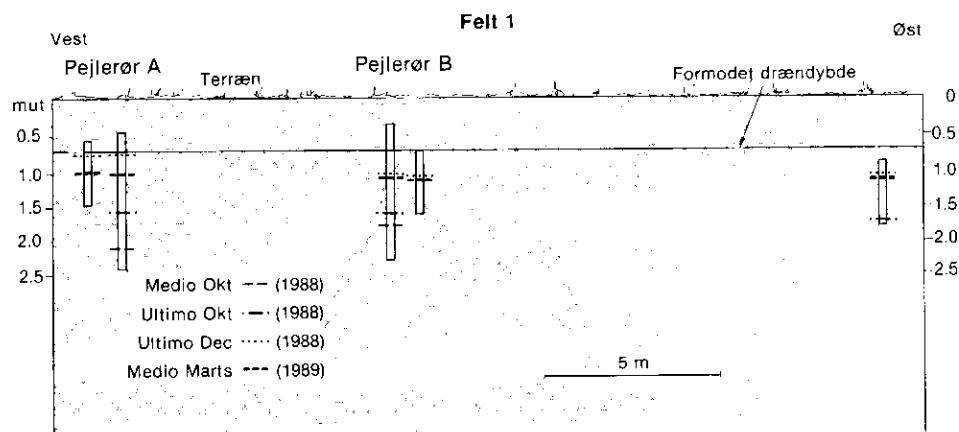
lerlag over sand træffes ved Skjalstrup, Snoldelev, Tune Søndermark og Gl. Viby. I næsten hele dette sydlige område er de overfladenære sandlag mættede og reservoirmæssigt artesiske i modsætning til i Hedeland, hvor sandlagene hovedsageligt udgør frie reservoirer.

Boringer	Moræneleret over Hedeland Formationen kendes fra boringerne Glim 1-7. Den er siltet eller sandet og svagt gruset til gruset. I lagene umiddelbart over gruslagene kan leret være stærkt gruset og stenet. I boringerne Glim 1, 2, 4, 6 og 7 er moræneleret oxideret gennem hele profilet, figur 10. I alle disse boringer optrådte rustfarvede sprækkeflader fra ca. 1.5 m's dybde og til bund af ler. Gråfarvede sprækkeflader optrådte fra ca. 1-2 m's dybde, men karakteren af disse er ikke undersøgt nærmere. Oxidationsgrænsen blev fundet i boring Glim 3 og 5. I Glim 5 var grænsen skarp og fandtes i 4.5 m, men enkelte rustpletter fandtes til 5.5 m. Gråfarvede partier fandtes i 1.0-3.0 m. I Glim 3 fandtes en mere gradvis overgang, fra 6.0-7.5 m u.t., mellem den oxiderede og reducerede moræneler. Rustsprækker fandtes til 7.5 m u.t. samt fra 9.8-10.3 m u.t. Boringer 1-4 og 6-7 afsluttedes alle i Hedeland Formationen, der var umættet.
Oxidations-/reduktionsforhold	

3.2 Hydrogeologi, Syv bæk

Pejlehyppighed	Grundvandsspejlet (GVSP) indenfor deldrænoplandet til station 52.29 blev pejlet gennemsnitligt 1-2 gange pr. måned i perioden september 1988 til maj 1990.
GVSP i moræneler	Pejlingerne viste, at GVSP i filtre, der var sat i moræneler uden mellemlejlrede terrænnære sand- og gruslag, gav kraftigere respons, steg hurtigere ved begyndelsen af drænsæsonen og sank hurtigere ved slutningen af drænsæsonen end filtre,

GVSP i moræner der var placeret i moræner med mellemlejlrede med sand/gruslag sand- og gruslag samt -kiler. Ydermere stod GVSP i pejlerør med filtre i samme dybde højere i moræner uden sand- og gruslag end i sand/grus i perioden (primo november til ultimo april), hvor jorden er vandmættet. Potentialgradienten var i denne periode nedadrettet mod sand- og gruslagene, se figur 5.



Figur 5. Geologisk tolket detailprofil, Felt 1. Udvalgte grundvandspotentialer, pejlerør og formodet drændybde er vist.

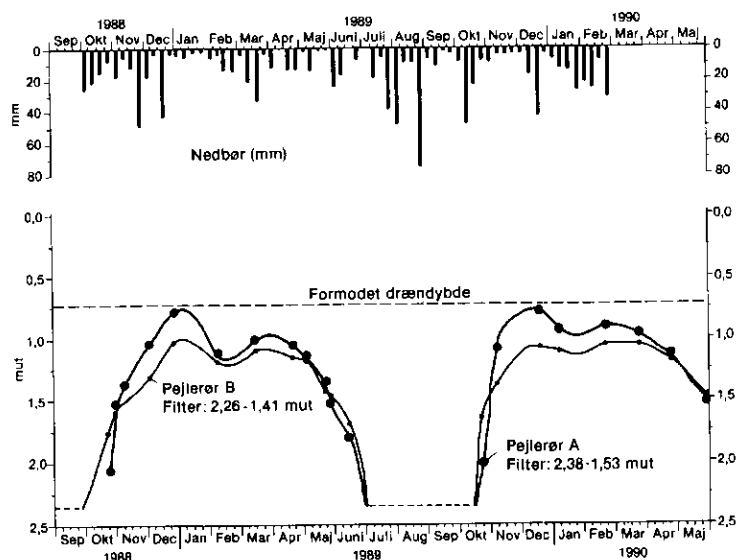
GVSP's fluktuationer

Grundvandsspejlets fluktuation gennem forsøgsperioden ved pejlerør A og B, Felt 1, er vist i figur 6. Pejlerør A repræsenterer situationen med moræner uden terrænnære sand- og gruslag, og pejlerør B situationen med drænende sand og gruslag, figur 5. Det ses, at GVSP i Felt 1 kun i kortere perioder steg til den formodede drændybde, 0.7 m u.t. I december 1988 - januar 1989 fortsatte GVSP med at stige i begge rør indtil omkring den 8. januar 1989, hvorefter GVSP faldt markant.

Magasinets responstid

Sammenholdt med nedbørsfordelingen giver det en responstid på ca. 10 døgn. Responstiden skal dog opfattes som et gennemsnitligt respons for magasinet, og ikke som responstiden for ændringen i vandføringen i drænsystemet. En tilsvarende re-

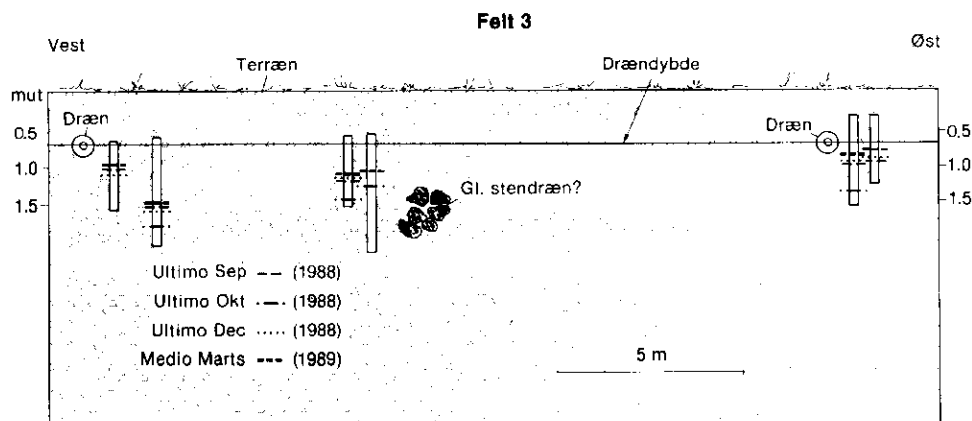
sponstid kunne ses i marts-april 1989 og i starten af drænperioden i oktober 1989, hvor drænene begyndte at være aktive 8-10 døgn efter en regnperiode (13-16. oktober 1989).



Figur 6. Grundvandsspejlets fluktuation i 2 udvalgte pejlerør i perioden september 1988 til maj 1990 sammenholdt med forløbet af nedbørsfordelingen. Placeringen af pejlerør A og B fremgår af figur 5.

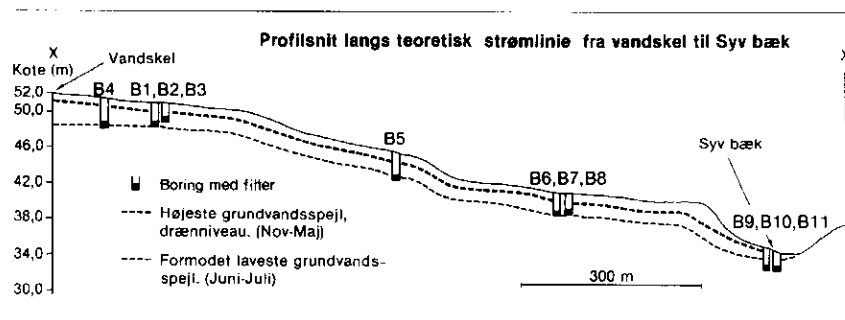
I Felt 3 i dybden 0.7 m u.t. blev to drænrør (indre diameter 1") med en afstand af 20 meter fundet under gravearbejdet. Drænrørene fremstod som nye og havde tilsyneladende aldrig været vandførende. I denne del af drænomlandet sker afstrømningen antageligt primært gennem overfladenære sand/gruslag og -kiler, samt gennem ældre stendræn.

Dette fremgår af figur 7, hvor GVSP står ca. 1 meter højere i moræneleren end i og ved sandlagene. Vandet fra de lavere liggende dele af drænsystemet afledes formodentligt gennem drænrør.



Figur 7. Geologisk tolket detailprofil, Felt 3, med udvalgte grundvandspotentialer, pejlerør, drænrør og gammelt stendræn.

GVSP-fluktuation Boringstracéen, der blev etableret fra vandskel-
 langs teoretisk let til Syv Bæk nær station 52.29, figur 8, vis-
 strømlinie te, at GVSP stod højest, i eller nær drænniveau,
 i perioden november-maj. Fra midten af juni til
 slutningen af juli formodes GVSP at stå lavest,
 idet reserven af tilgængeligt vand antagelig er
 opbrugt. Af figur 8 ses, at dybden til det
 formodede laveste GVSP er størst nær vandskellet
 og mindst nær Syv Bæk.



Figur 8. Boringstracéen B1-B11 langs teoretisk strømlinie fra vandskel til Syv bæk projiceret ind i profilsnittet X-X', der er vist i figur 4. Højeste og formodet laveste grundvandsspejl er skitseret.

Alle pejledata, jordfugtighedsmålinger, vandføringssmålinger og lokaliseringsskemaer findes i Ernstsens et al., (1990).

3.3 Geokemiske analyser, Syv bæk og Glim

3.3.1 Lerindhold, vandindhold, carbonat og pH

Ler	I borerne SB I, SB VI og SB VII er indholdet af ler i finjord (partikler <2 mm) bestemt til 7-11% i prøver af smeltevandssilt og -sand, og 7-18% i prøver af moræner. I borerne Glim 1-7 varierer lerindholdet i prøver af moræner mellem 13 og 23%, typisk 17-20%.
Syv bæk	
Glim	
Vandindhold	Vandindholdet i jordprøver fra oplandet til Syv bæk, beregnet i henhold til vægten af tør finjord (<2mm), varierer mellem 8 og 31 vægt-%. Moræner, der udgør den overvejende del af de undersøgte prøver, indeholder almindeligvis 12-14 vægt-% vand. I Glim 1-7 varierer vandindholdet mellem 12 og 24 vægt-%, men er i hovedparten af prøverne 12-16 vægt-%.
Syv bæk	
Glim	
Carbonat	Indholdet af carbonat, omregnet til CaCO_3 , er bestemt til 14-35 vægt-% i moræner, 17-42 vægt-% i smeltevandsand iblandet -silt og 12-23% i smeltevandssand, tabel 2. $\text{pH}(\text{CaCl}_2)$ i disse prøver varierer mellem 7.6 og 7.8. I enkelte af de undersøgte profiler kan en begyndende kalkudvaskning iagttages til ca. 1 m u.t. (pH værdier fra ca. 6 til 7.3). Analyseresultaterne af lerindhold, vandindhold og pH findes i Ernstsens et al., (1990).
Syv bæk	

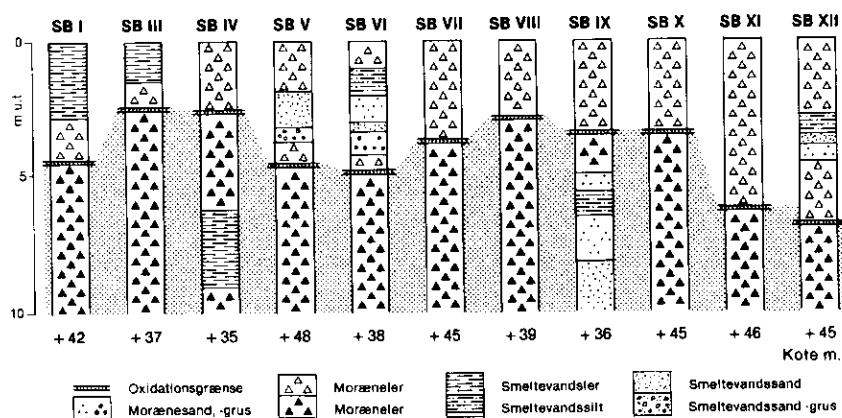
3.3.2 Forskellige kvælstofforbindelser

Nitrat og ombytteligt ammonium blev bestemt i prøver af finjord fra borerne udført i oplandet til Syv bæk og Glim området. Desuden blev fordelingen af fixeret ammonium bestemt i prøver

fra borerne, SB I, SB X og SB XI. Datagrundlaget findes i Ernstsens et al., (1990).

Boringer i oplandet til Syv bæk	På bilag 3 findes en skitse med placeringen af borerne indenfor oplandet til Syv bæk, og for hvert profil er desuden vist en forenklet geologisk lagfølge, oxidationsgrænse (redoxfront), fordelingen af nitrat og ombytteligt ammonium samt fordelingen af tritium. Samtlige borer blev udført på agerjord.
Mængde og fordeling af nitrat	Mængde og fordeling af nitrat i de undersøgte jordlag viser, at denne kvælstofform kun er tilstede i målbare mængder i den oxiderede zone. De største mængder nitrat, maksimalt 17 ppm NO ₃ -N (mg NO ₃ -N/kg finjord), er typisk målt indenfor den øverste meter. Dybere i den oxiderede zone er indholdet af nitrat, med undtagelse af SB IV, 2-4 ppm NO ₃ -N. Ved overgangen til den reducerede zone (oxidationsgrænsen) er der i samtlige profiler konstateret et tydeligt fald i indholdet af nitrat.
Bestemmelse af oxidationsgrænse	Oxidationsgrænsen er fastlagt på grundlag af matrixfarve og/eller farvetegninger, der er bestemt efter Munsell Soil Color Charts. Ved SB III og SB IV er matrixfarven gennem hele profillet grå, og oxidationsgrænsen udtrykker her den nedre grænse for rød/gulbrune farvetegninger, ca. 3 m u.t. I de øvrige profiler er grænsen mellem den oxiderede og den reducerede zone fastlagt på grundlag af matrixfarven - ved skiftet fra rødbrune til grå farver. Oxidationsgrænsen i lerede profiler ligger 3-4 m u.t. og i lerede profiler med indslag af sand/silt eller gruset moræne i max. 7 m u.t., figur 9.
Mængde og fordeling af ombytteligt ammonium	Oxidationsgrænsen afspejler ligeledes fordelingen af ombytteligt ammonium. I de overfladenære lag, til maksimalt ca. 0.5 m u.t., optræder der i nogle af profilerne højere værdier, sandsynlig-

vis fordi, at der samtidig med kraftig mikrobiel aktivitet dannes ammonium, der bindes til jordens kolloider og/eller bevarer i anerober mikro-nicher, der opstår som følge af stor mikrobiel aktivitet kombineret med en utilstrækkelig tilførsel af ilt. I den dybere del af den oxiderede zone findes der kun mindre mængder ammonium. Eneste undtagelse er SB IV, hvor der findes store grå partier i den oxiderede zone. Ved overgangen til den reducerede zone stiger indholdet almindeligvis til 1-3 ppm $\text{NH}_4\text{-N}$ (mg $\text{NH}_4\text{-N/kg}$ finjord). Stigningen er mest udtalt for SB I, SB III og SB IV i den NV-lige del, og SB X i den sydlige del af oplandet. En enkelt prøve af smeltevandssler indeholdt ca. 10 ppm, prøver af smeltevandssand 0.5 ppm, og maximumsværdien, 28 ppm $\text{NH}_4\text{-N}$, blev målt i 29 m u.t. i det paleocæne grønsandskalk/-ler.



Figur 9. Boringerne SB I-SB XII. Geologisk lagfølge og oxidationsgrænse.

Mængde og fordeling af fixeret ammonium

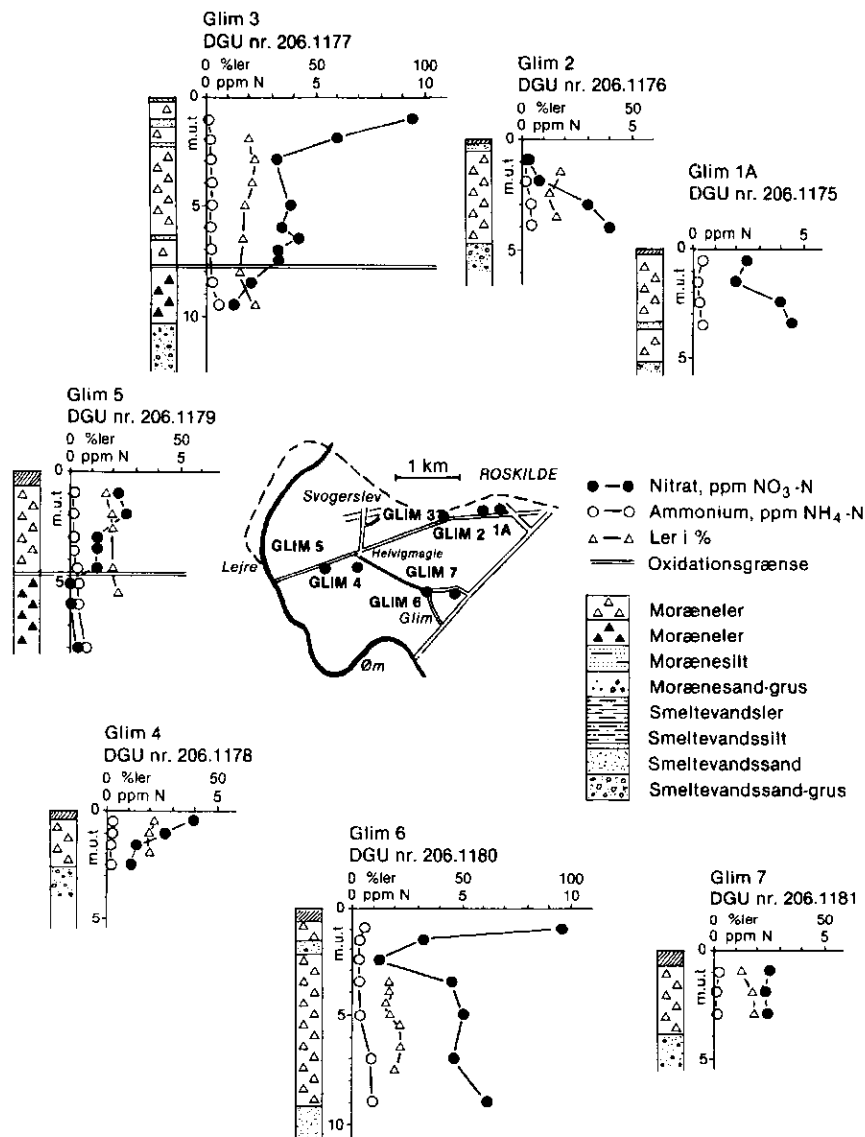
Fixeret - ikke ombytligt - ammonium findes indbygget i forskellige lermineraler og frigives antagelig først, når mineralerne forvitrer og krystalstrukturen ødelægges. Indholdet af denne kvælstofform varierer mellem 60 og 120 ppm $\text{NH}_4\text{-N}$ og udgør således en langt større mængde end den, der består af de lettilgængelige kvælstofformer

nitrat og ombytteligt ammonium. Indholdet af fixeret ammonium varierer ned igennem profilerne, antagelig grundet forskellige indhold af lerpartikler (Ernstsen et al., 1990). Fordelingen, uden noget tydeligt maximum i de øverste jordlag, synes ligeledes at bekræfte, at denne form for ammonium ikke hidrører fra de seneste års intensive landbrugsdrift, men må være et primært indhold i lermineraleterne på aflejrings-tidspunktet (Schachtschabel, 1961).

Boringer i Glim
området Indenfor Glim området blev indholdet af nitrat og ammonium bestemt i jordprøver fra 7 boringer. Glim 1-5 og 7 udførtes på agerjord, og Glim 6 blev udført i en tidligere mødding, der i perioden 1986-89 ikke blev belastet i nævneværdig grad.

Mængde og forde-
ling af nitrat Indholdet af nitrat varierer i de undersøgte prøver fra 0.1-10 ppm $\text{NO}_3\text{-N}$ i den oxiderede zone og op til 2 ppm $\text{NO}_3\text{-N}$ i den reducerede zone, figur 10. I Glim 5 ligger oxidationsgrænsen i ca. 5 m u.t., og fordelingen af nitrat er som i SB boringerne. I Glim 3 findes nitrat også i den reducerede zone, omend i mindre koncentrationer end i den oxiderede zone. I Glim 6, der gennem en årrække havde været udsat for en massiv påvirkning fra husdyrgødning, var hele det undersøgte profil gennemiltet, og mængden af nitrat var relativt høj, typisk 3-10 ppm $\text{NO}_3\text{-N}$.

Mængde og forde-
ling af ammonium I de oxiderede jordlag er indholdet af ammonium mindre end 0.5 ppm $\text{NH}_4\text{-N}$. Eneste undtagelse er Glim 6, hvor der samtidig findes høje indhold af nitrat. I den dybe, delvist reducerede zone i Glim 3, og i den reducerede zone i Glim 5 er indholdet 0.5-0.7 ppm $\text{NH}_4\text{-N}$, og i den dybe del under den tidligere mødding (Glim 6) er de største indhold målt, ca. 0.9 ppm, figur 10.



Figur 10. Glim området. Forenklet geologisk lagfølge samt nitrat-, ammonium- og lerprofiler.

3.3.3 Forskellige jernformer

Forskellige jernformer udgør mulige komponenter i forbindelse med nitratreduktionsprocessen. I nærværende undersøgelse er fordelingen af let-tilgængeligt ferrojern, DCB-jern, strukturbundet

jern og det totale jernindhold bestemt. Analyse-
resultaterne findes i Ernstsens et al., (1990).

Lettilgængeligt ferrojern	Indholdet af lettilgængeligt ferrojern blev be- stemt i profilerne SB V og SB VI. Resultaterne afspejler oxidationsgrænsen med værdier på <1-22 ppm (mg/kg finjord) i den oxiderede zone og max. ca. 100 ppm ferrojern i den grå reducerede zone.
DCB-jern	Dithionit-Citrat-Bicarbonat (DCB) ekstraherbart jern, Fe_d , er bestemt på prøver af fin- og grov- ler fra jordlagene ved SB I, SB VI og SB VII. Resultaterne viser et forøget indhold i den oxi- derede zone sammenlignet med den reducerede zone.
Strukturbundet jern	Ved Mössbauer spektroskopi er fordelingen af forskellige jernformer undersøgt i prøver af finjord (<2 mm) fra profilerne SB I, SB IV, SB VIII og SB X. Resultaterne viser, at den over- vejende del af jern i de undersøgte jordlag fin- des gitterbundet i lerminerallerne, enten som ferro- (Fe^{II}) eller som ferrijern (Fe^{III}). For- holdet mellem disse to komponenter ændres ved overgangen fra den oxiderede til den reducerede zone, således udgør Fe^{II} i profilerne SB I, SB VIII og SB X 10-20% i den oxiderede zone og 45- 50% i den reducerede zone. Den dybere del af moræneleret ved SB I fremstår ved et lavere indhold af Fe^{II} end det overlig- gende moræneler. Dette kan skyldes, at lagene stammer fra forskellige isfremstød, eller at der i den nedre del af profilet er sket en opbland- ing med underliggende selandien aflejringer. Samtidig med den ændrede fordeling af Fe^{II} og Fe^{III} ændres også lermineralsammensætningen (Ernstsens et al., 1990). I SB IV, der gennem hele profilet er gråt, udgør Fe^{II} 30 og 48% af det samlede jernindhold i

prøver fra henholdsvis den oxiderede zone med røde farvetegninger og fra den reducerede zone.

Total jern

Det totale jernindhold (Fe-tot) i prøver af moræner og i en enkelt prøve af smeltevandssilt og -sand udgør 1.3-3.8 vægt-% Fe_2O_3 . I prøver af moræner er Fe-tot typisk 1.8-2.7 vægt-% Fe_2O_3 . Fordelingen og indholdet af de forskellige jernformer stemmer overens med tidligere undersøgelser (Ernstsen, 1990, Ernstsen og Lindgreen, 1985 og Lind og Pedersen, 1976).

3.3.4 Lermineralogi

Fordelingen af forskellige lermineraler blev bestemt i borerne SB I, SB VI og SB VII.

Kaolinit, illit, vermiculit, smectit samt veksellagsmineralet af typen illit-smectit udgør hovedkomponenterne. Desuden findes mindre mængder chlorit.

Kornstørrelse, den geologiske lagfølge samt fordelingen af oxideret og reduceret sediment synes at være af betydning for lermineralsammensætningen. Eksempelvis er indholdet af smectit generelt lavere i prøver af grovler end i prøver af finler. I prøverne af smeltevandssilt er indholdet af vermiculit markant højere end i moræner eller morænesand, og chlorit ses kun tæt på oxidationsgrænsen eller i den reducerede zone (Ernstsen et al., 1990).

3.3.5 Fosfor

Fosfor, Syv bæk

Mængden af fosfor ekstraheret med svovlsyre er bestemt i jordprøver fra oplandet til Syv bæk, tabel 2. Det primære indhold varierer her mellem 110 og 440 ppm P (mg P/kg finjord), og kun i det overfladenære lag i profilerne SB IV og SB XI synes indholdet forøget som følge af tilførslen af fosforholdig gødning.

Dybde m u.t.	Geologi	ppm P (mg/kg)	CaCO ₃ vægt-%	Boring SB I
1.0	DS/DI	350	17	
3.2	ML	430	27	
4.3	ML	460	35	
4.8	ML	430	33	
5.8	ML	390	33	
10.8	ML	420	14	
16.8	ML	430	17	

Dybde m u.t.	Geologi	ppm P (mg/kg)	CaCO ₃ vægt-%	Boring SB IV
0.1	ML	2100	2	
0.8	ML	440	26	
1.8	ML	370	32	
3.6	ML	370	28	
6.7	ML	370	18	
9.5	DS	390	10	
16.8	ML	390	22	

Dybde m u.t.	Geologi	ppm P (mg/kg)	CaCO ₃ vægt-%	Boring SB VI
1.9	DI	490	31	
2.3	MS	410	23	
3.4	DS	360	23	
4.6	ML	450	40	
5.1	ML	270	24	
8.9	ML	370	18	
11.9	ML	350	20	

Dybde m u.t.	Geologi	ppm P (mg/kg)	CaCO ₃ vægt-%	Boring SB X
0.1	ML	250	0	
0.5	ML	110	<1	
2.5	ML	330	17	
3.5	ML	340	17	
8.5	ML	340	16	
14.5	ML	340	31	

Dybde m u.t.	Geologi	ppm P (mg/kg)	CaCO ₃ vægt-%	Boring SB XI
0.1	ML	570	0	
0.5	ML	280	0	
3.5	ML	330	30	
6.5	ML	340	18	
7.5	ML	430	13	
16.5	DS	240	12	

Dybde m u.t.	Geologi	ppm P (mg/kg)	CaCO ₃ vægt-%	Boring SB XII
0.1	ML	440	0	
1.0	ML	330	0	
2.0	ML	315	29	
2.5	ML	450	29	

Tabel 2. Fosfor ekstraheret med svovlsyre og calciumcarbonat (CaCO₃). ML: moræneler, MS: morænesand, DS: smeltevandssand og DI: smeltevandssilt.

3.4 Hydrokemi, jord- og drænvand, Syv bæk

Hovedparten af nettonedbøren afledes i et område som Syv bæk gennem dræn og overfladenære sand- og gruslag, afsnit 3.2. Samtidig sker der et tab af næringsstoffer.

I denne undersøgelse er jordvandets indhold af bl.a. nitrat, ammonium og opløst fosfat (ortho-fosfat) undersøgt under parceller med forskellige afgrøder, tabel 3.

Jordvandsstation I denne del af drænoplanet varierer den geolo-
St. 1, serier giske opbygning meget indenfor korte afstande.
1A, 1B, 1C Sand- og gruslag samt et formodet gammelt sten-
dræn er til eksempel beskrevet langs et snit på
ca. 20 meter, figur 7.

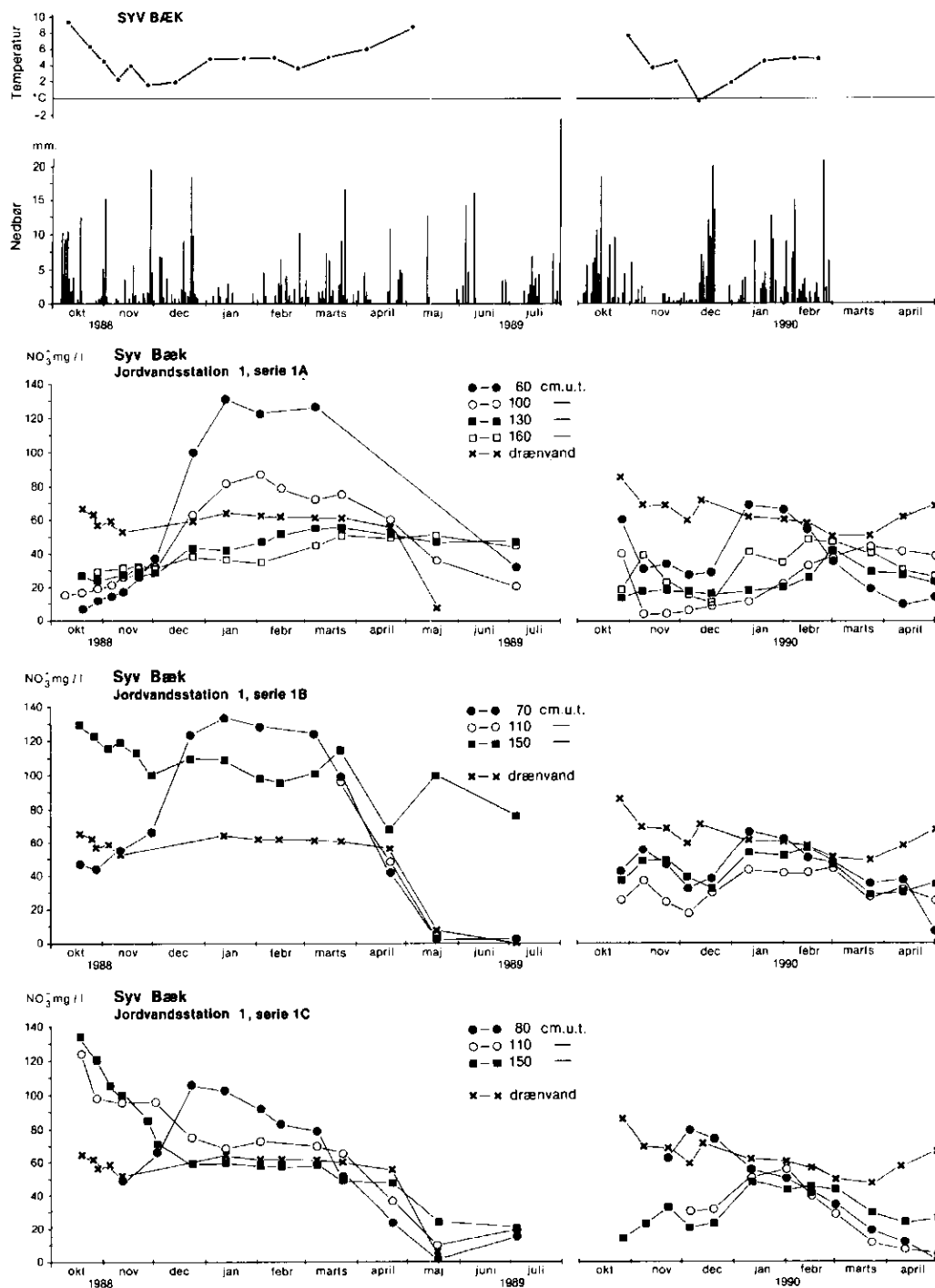
St. - serie	Forsøgsserie	Afgrøde
St.1 1A	okt.1988 - juli 1989	Vårbyg/vinterhvede
St.1 1B	okt.1989 - maj 1990	Vinterhvede/vinterhvede
St.1 1C	-o-	-o-
St.2 2A	okt.1989 - maj 1990	Vårbyg/vårraps
St.2 2B	okt.1989 - maj 1990	Ærter/vinterhvede

Tabel 3. Forsøgsfelter, serier og afgrødesammensætning.

Døgnmiddeltemperatur i 2 meter (gennemsnit for perioden mellem to prøvetagninger), døgnedbør korregeret til jordoverfladen samt koncentrationen af nitrat i jordvand, som er opsamlet i forskellige niveauer ved St. 1 (serie 1A, 1B og 1C) og i drænvand, fremgår af figur 11.

NO₃⁻ i jordvand, I oktober 1988 varierede indholdet af nitrat i
1988-89 jordvand fra de undersøgte niveauer mellem 5 og 140 mg NO₃⁻/l.

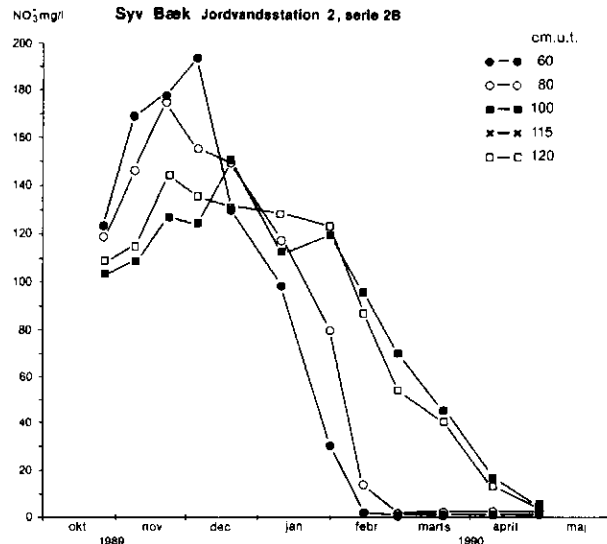
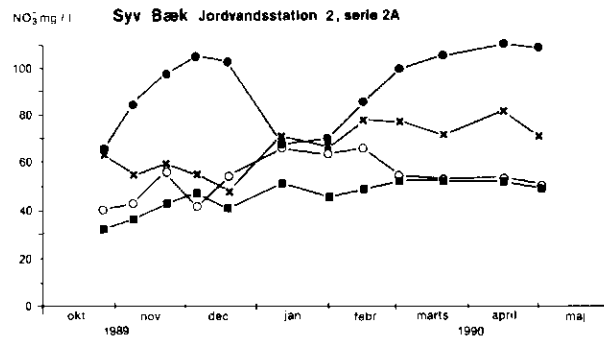
I prøverne udtaget i dybder indtil 1.0 m u.t. forekom kun mindre ændringer i perioden frem til december/januar, hvorefter koncentrationen steg fra 5-40 til 140 mg NO₃⁻/l.



Figur 11. Døgnmiddeltemperatur, døgnnedbør samt koncentrationen af nitrat (NO₃⁻/l) i jordvand, som er opsamlet ved St. 1 (serie 1A, 1B & 1C), og i drænvand.

Det høje niveau fremstod næsten uændret til april/maj 1989 - begyndelsen af vækstperioden. I serie 1A 1.3 og 1.6 m u.t., og tildels også i serie 1B 1.5 m u.t., var indholdet af nitrat næsten konstant, henholdsvis 30-45 mg NO_3^-/l og 110-140 mg NO_3^-/l gennem drænperioden. I jordvand fra 1C 1.1 og 1.5 m u.t. ændredes koncentrationen af nitrat gennem perioden oktober 1988 til maj 1989 fra 120-140 til ca. 30 mg NO_3^-/l .

- | | |
|---|---|
| <p>NO_3^- i drænvand, 1988-89</p> | <p>Til sammenligning var indholdet af nitrat i drænvandet ret konstant gennem drænsæsonen, 50-70 mg NO_3^-/l, indtil slutningen af april, hvor indholdet faldt markant til under 10 mg NO_3^-/l.</p> |
| <p>NO_3^- i jordvand, 1989-90</p> | <p>Ved begyndelsen af drænsæsonen 1989/1990 var koncentrationen af nitrat i jordvand mellem 10 og 70 mg NO_3^-/l. Ved årsskiftet 1989/1990 steg indholdet af nitrat i de fleste af de undersøgte niveauer til 50-70 mg NO_3^-/l. Nitratkoncentrationer var generelt lavere og variationerne mindre end i den foregående drænsæson. Koncentrationen i de undersøgte dybder var under 40 mg NO_3^-/l ved afslutningen af forsøget (1. maj 1990).</p> |
| <p>NO_3^- i drænvand, 1989-90</p> | <p>Koncentrationen af nitrat i prøver af drænvand varierede mellem 50-85 mg NO_3^-/l og lå i den overvejende del af drænsæsonen over de koncentrationer, der målttes i forsøgsserierne ved jordvandsstationen.</p> |
| <p>Jordvandsstation St. 2, serie 2A og 2B</p> | <p>Den geologiske opbygning i denne del af drænoplandet er enklere end ved St. 1, og alle teflon sugekopper blev placeret i moræner. Afgrødevalg fremgår af tabel 3, og analyseresultaterne ses af figur 12.</p> |



Figur 12. Koncentrationen af nitrat (NO_3^-/l) i jordvand opsamlet ved St. 2 (serie 2A og 2B).

Serie 2A

NO_3^- i jordvand,
1989-90

Ved serie 2A forekom den største variation i indholdet af nitrat, fra 60 til 110 $\text{mg NO}_3^-/\text{l}$, i 0.6 m u.t. I de øvrige dybder var variationerne mindre, og de målte koncentrationer lå mellem 30 og 75 $\text{mg NO}_3^-/\text{l}$.

Serie 2B

NO_3^- i jordvand,
1989-90

I serie 2B målttes relativt høje koncentrationer i perioden frem til december, hvorefter nitratindholdet i jordvandet faldt, først i 0.6 m u.t. og efterfølgende i de dybereliggende niveauer. Ved afslutningen af forsøget (1. maj

1990) indeholdt jordvandet i alle dybder maksimalt 5 mg NO₃⁻/l.

Ammonium i jordvand Koncentrationen af ammonium var i samtlige undersøgte prøver lavt, under 1 mg NH₄⁺/l.

Fosfat i jordvand Ved St. 1 (serie 1A, 1B og 1C) var indholdet af opløst fosfat (orthofosfat) mindre end 0.01 mg PO₄-P/l i jordvand opsamlet til 1.6 m dybde i perioden 1988-90.
I prøver af drænvand fra deldrænoplanet, figur 4, varierede koncentrationen af opløst fosfat mellem <0.01 ppm og 0.2 mg PO₄-P/l i samme periode. Høje indhold af opløst fosfat samtidig med høje indhold af kalium tyder på, at der ledes spildevand til drænsystemet (Ernstsen et al., 1990).

3.5 Grundvandets alder bestemt ved tritium

Jordvandets alder vurderet på baggrund af tritiumværdier Alderen af jordvandet i forskellige dybder og jordlag kan som nævnt i afsnit 2.5 vurderes på baggrund af tritiumværdierne. Tritiumprofilerne for de undersøgte boringer findes på bilæg 3.

Boring nr.	Yngre end 1963 til dybde	Ca. 1963 i dybde	Ældre end 1963 fra dybde	1950 eller ældre fra dybde
SB I	5	5	5	s 20.5
SB III	m 3	m 3	m 3	9
SB V	12	12	12	s 14.5
SB VI	13.5	13.5	13.5	s 14.8
SB VII	ca. 5	ca. 5	5.5	14
SB IX	8	8-12	12	s 15
SB X	ca. 6	ca. 6	ca. 6	11
SB XI	ca. 11	ca. 11	ca. 11	s 12
Dybder i meter; m = mindre end; s = større end				

Tabel 4. Tritium. Aldersfordeling af jordvand i boringer fra Syv bæk området.

På forskellige lokaliteter i dette afstrømningsområde kan aldersfordelingerne være indbyrdes afvigende. Det er forårsaget af forskellige strømningsbetingelserne i de opstrøms liggende jordlags mættede og umættede zoner. Dette giver sig til kende ved forskellige forløb af tritiumprofilen.

Geologien, nedsivningen og grundvandets strømning er beskrevet tidligere i afsnit 3, og er anvendt ved aldersvurderingen af jordvandet i de enkelte boringer, tabel 4.

4. Diskussion og konklusion

Geologi - to typeområder	Undersøgelserne i Langvad å's opland har omfattet to geologiske typeområder: Syv bæk typen med tykke forholdsvis uforstyrrede morænelerslag over vandførende lag, stedvis med artesiske reservoirer, og Glim typen med lerlag af varierende tykkelse over sand- og grusreservoirer med frie vandspejl. De to typer repræsenterer skønsmæssigt henholdsvis ca. 80 og ca. 20% af oplandet til Langvad å.
Hydrogeologi Syv bæk	Indenfor oplandet til drænstation 52.29 er kun en mindre del af drænsystemet kendt, men på grundlag af topografien i området skønnes ca. 60 ha at afdrænes til denne station (Hansen, 1990). Drænsystemet til deldrænoplandet er kun delvis kendt, og en fastlæggelse af deloplandsgrænsen vanskeliggøres af, at der tilledes vand fra en opstrøms liggende drængrøft og fra tilstødende opstrøms sand- og gruslag, hvortil drænsystemet er koblet. Ydermere kan gamle ukortlagte drænsystemer have en vis udbredelse i den undersøgte mark.
Deldrænopland i Syv bæk, areal og afstrømning	Drænvandsafstrømningen fra deldrænoplandet blev målt som øjebliksmålinger og korreleret med den kontinuerligt målte afstrømning ved station 52.29. Deloplandet er estimeret til at udgøre et areal på ca. 15 ha.
Nedbør og fordampning	I forsøgsperioden, 1. oktober 1988 til 30. september 1989, udgjorde den korrigerede nedbørsmængde 675 mm, og den potentielle fordampning (Epot) 617 mm (Olesen, 1990). Den aktuelle fordampning er bedømt til at være ca. 20% lavere end Epot i perioden, svarende til ca. 490 mm, og den nedsivende nettonedbør fra rodzonen er beregnet til ca. 185 mm på årsbasis.

4 forskellige metoder til beregning af nedsivning	Nedsivningen kan beregnes ud fra flere forskellige metoder:
Metode 1	1) Med en vandføring fra deloplandet på ca. 17500 m ³ /år og en nettonedbør på ca. 185 mm/år kan fordelingen mellem den sidevårts afstrømning og den vertikale nedsivning estimeres til henholdsvis ca. 120 mm/år, der afledes gennem dræn og sand/gruslag, og ca. 65 mm/år, der infiltrerer til primære og sekundære magasiner under drænniveau.
Metode 2	2) Nedsivningens størrelse kan skønnes ved at sammenholde tritiummængden, der findes i profillet, med den totale tritiummængde tilført med nedbøren indtil det tidspunkt, hvor prøverne blev udtaget. Totaltilførslen af tritium i perioden frem til 1989 er efter henfaldskorrektion 1400-1700 TU (TU-meter). Den beregnede genfundne tritiummængde er i middel 6-7% af den mængde, der er tilført med nedbøren. Sammenholdt med en nedbør på 750 mm/år i gennemsnit for perioden 1950-89 kan nedsivningen til de dybere magasiner opgøres til ca. 48 mm/år, og dermed af samme størrelse som ovenfor beregnet.
Metode 3	3) Udfra de målte gradienter i morænelerslagene kan nedsivningen beregnes til mellem 54 og 119 mm/år.
Metode 4	4) Ved en gennemsnitlig nedsivning på 0.35 m/år (14 m på 39 år), beregnet på grundlag af de målte tritiumprofiler, og en effektiv porøsitet på 30% kan infiltrationen til underliggende primære og sekundære magasiner beregnes til 105 mm/år. Dette er antagelig overestimeret, da vurderingen forudsætter, at vandtransporten sker som en stempelbevægelse. Foregår vandbevægelsen i sprækker eller sandlag, opstår en inhomogen fordeling af tritium i det nedsivende vand og dermed også i vandets aldersfordeling (Sevel et al., 1981). Der må tages forbehold for omsætningen af punktværdier fra 4 lokaliteter til en arealværdi for hele Syv bæk området. Især når der ikke i nærværende projekt indgår en areal-

mæssig vurdering af grundvandsdannelsen i Syv bæk området.

På baggrund af det foreliggende datamateriale er det ikke muligt at vurdere størrelsen af den afstrømning, der udelukkende sker gennem terrænnære sand- og gruslag. Det er dog sandsynligt, at de fleste sandlag og -kiler, der er mellemlejret i moræneleret, afdrænes via det eksisterende drænsystem nedstrøms de undersøgte felter, hvilket de store potentialevariationer også tyder på.

Nedsivning:	I typeområdet Syv bæk skønnes fordelingen af
25-35% vertikalt	nettonedbøren at være 25-30% (ca. 65 mm/år) til
65-75% sideværts	primære og sekundære magasiner under drænniveau
	65-75% (ca. 120 mm/år) til dræn samt sand- og
	gruslag.
Nitrat i den	Analysen af jordprøver viser, at nitrat normalt
oxiderede zone	kun findes i målbare mængder i den oxiderede zone, og at indholdet aftager markant ved oxidationsgrænsen. Grænsen ses ved et skift i matrixfarve (fra rødbrune til grå farver) eller ved den nedre grænse for gul-rødbrune farvetegninger
Mægtighed af den	i grå reducerede jordlag. Den oxiderede zone er
oxiderede zone	3-4 meter dyb i de lerede profiler, og maksimalt 7 meter i lerede profiler med indslag af sand/grus eller mindre lerholdige sedimenter.
	Hvor der findes umættede sandlag under leret, er mægtigheden af den oxiderede zone målt til 9 meter svarende til tykkelsen af lerlaget.

Fordelingen af nitrat i den oxiderede zone skyldes en kombination af bl.a. variationer i koncentrationen af nitrat i det nedsivende vand og fordelingen af aerobe og anaerobe mikronicher. Indtil en dybde af ca. 1 m u.t. findes forholdsvis meget nitrat (max. 17 ppm $\text{NO}_3\text{-N}$). I SB I skyldes dette måske tilførsel af gylle til marken i ugen før boringen blev påbegyndt, og i SB

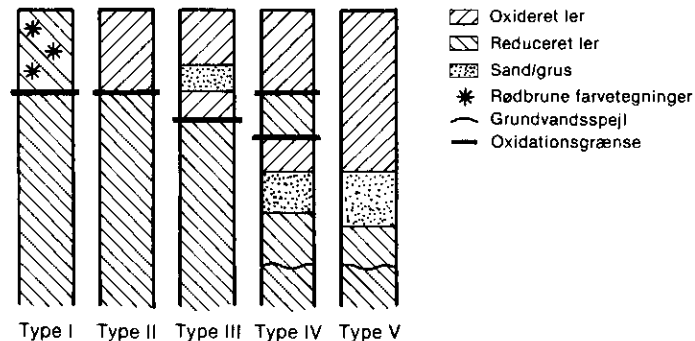
V, SBV II og SB VIII sandsynligvis mineraliseringen efter høst samtidig med en nedsat planteoptagelse. Dybere end ca. 1 m u.t. er de målte variationer 2-4 ppm $\text{NO}_3\text{-N}$, og ved overgangen til den reducerede zone aftager indholdet til under målegrænsen. Tilsvarende resultat er fundet ved andre danske undersøgelser (Ernstsen, 1990 og Eiland et al., 1989).

Mængde af NO_3^- i den oxiderede zone	Mængden af nitrat i den oxiderede zone varierer gennem året og vil på ethvert tidspunkt være bestemt af tilførsel og tab. De viste nitratprofiler udtrykker situationen på netop det tidspunkt, hvor borerne blev udført. En registrering af de årlige variationer i den oxiderede zone kræver hyppige indsamlinger af enten jordprøver eller jordvand fra forskellige dybder.
Fordelingen af nitrat og tritium	På de undersøgte agerjordsarealer viser profilerne af nitrat og tritium i jordvand, at vand med forhøjede indhold af tritium fra en vis dybde ikke indeholder nitrat i målbare mængder. Jordvand med forhøjede indhold af tritium antages i udgangspositionen at have indeholdt nitrat, og der er således under nedsivningen sket en fjernelse af nitrat. Tabet af nitrat antages at finde sted i anaerobe mikronicher i den oxiderede zone eller ved overgangen til den reducerede zone, hvor indholdet aftager tydeligt. Procesforløbet for nitratfjernelsen kendes endnu ikke i detaljer, men skyldes sandsynligvis et samspil af mikrobiologiske processer og kemiske reaktioner (Ernstsen, 1990).
Ombytteligt ammonium	Fordelingen af ombytteligt ammonium viser lave indhold i den oxiderede zone og et stigende indhold gennem den reducerede zone, hvor fordelingen i øvrigt synes bestemt af lerindholdet.

Fixeret ammonium	Sammenlignet med fordelingen af de lettilgængelige kvælstofformer nitrat og ammonium udgør fixeret ammonium den overvejende del. Fordelingen formodes at være bestemt af lerindholdet i jordlagene, hvorfor fixeret ammonium antages at udgøre et primært indhold i sedimentet.
Karakteristiske profiltyper	Profiler fra Syv bæk og Glim området kan opdeles i nogle karakteristiske typer, som er bestemt af den lithologiske variation, oxidationsgrænsen samt fordelingen af nitrat og ombytteligt ammonium.
Type I: Rød/gulbrune farvetegninger og grå matrixfarve	SB III og SB IV hører til type I, der har grå matrixfarve gennem hele profilet, og hvor oxidationsgrænsen fastlægges ud fra fordelingen af farvetegninger. Nitrat forekommer kun i den grå zone med rød/gulbrune farvetegninger, og de højeste indhold af ammonium findes i den reducerede zone.
Type II og III: Rødbrun matrixfarve over grå matrixfarve	I den resterende del af SB-profilerne og Glim 5 er oxidationsgrænsen fastlagt ved jordprøvernes matrixfarver (skiftet fra rødbrune til grå farve). Grænsen ligger dybere i profiler bestående af sandet/gruset moræner eller i lerprofiler med indslag af sand/grus end i rene lerprofiler, type II og III. Fordelingen af nitrat og ammonium er den samme som for type I.
Type V: Tynde lerlag umættede sand/gruslag. Rødbrun matrixfarve	Glim 1, 2, 4 og 7 udgør en serie korte boringer med oxideret (rødbrunt) moræner over sand/gruslag, type V. Nitrat findes i næsten alle undersøgte niveauer, og indholdet af ammonium er lavt.
Type IV og V: Tykke lerlag over umættede sand- og gruslag. Rødbrun matrix-	Glim 3 består af et tykt lerlag over et umættet sandlag. Lerlaget kan iltes såvel ovenfra som nedefra. Sandlaget virker som et naturligt dræn, hvorved der skabes en større gradient for vandstrømningen gennem leret. Når vandtransporten er

farve afbrudt af
grå matrixfarve

hurtig og kontaktiden kort, vil der kunne forekomme nitrat i den reducerede/delvis reducerede zone, type IV. Ammonium findes kun i mindre mængde, hvor nitrat er tilstede. I profiler med mindre lerholdige sedimenter kan oxidationsgrænsen ligge dybere, type V.



Figur 13. Karakteristiske profiltyper.

Jernformer
og lermineral-
sammensætning

Fordelingen af DCB ekstraherbart jern viser, at den oxiderede zone indeholder flere frie ferri-oxidhydroxider end den reducerede zone. Lettilgængeligt ferrojern findes kun i ubetydelige mængder sammenlignet med mængden af ferrojern, som er bundet i lerminerallerne. Oxidationsgrænsen markeres ved et skift i fordelingen af gitterbundet ferrojern (FeII) og ferrijern (FeIII), og samtidig ændres lermineralsammensætningen. Lermineralet chlorit findes normalt kun ved eller under oxidationsgrænsen.

Ferrojernkapa-
citet til brug
for oxidations-
processer, incl.
nitratreduktion

På grundlag af fordelingen af strukturbundet ferrojern og det totale jernindhold er ferrojernkapaciteten beregnet. Kapaciteten er et udtryk for den mængde ferrojern, der skønnes at være til rådighed for forskellige oxidationsprocesser, incl. nitratreduktion. Ferrojernkapaciteten er beregnet til 9600 g ferrojern pr. m^3 svarende til ca. 170 mol/ m^3 . Ved en teoretisk

beregning af jordens evne til at fjerne nitrat fra det nedsivende vand forudsættes det, at vandbevægelsen i jord sker som en jævn front, og at 1 mol nitrat ækivalerer med 5 mol ferrojern: $5\text{Fe}^{2+} + \text{NO}_3^- + 12\text{H}_2\text{O} \rightarrow 5\text{Fe}(\text{OH})_3 + 0.5\text{N}_2 + 9\text{H}^+$

Ferrojernkapacitet i 1 cm lerlag modsvarende en årlig udvaskning på 50 kg N/ha

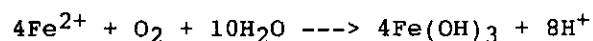
Med disse forudsætninger vil en udvaskning på 50 kg N/ha/år svarende til $0.355 \text{ NO}_3^-/\text{m}^2$ resultere i, at kapaciteten vil blive opbrugt i et 1.0 cm tykt lerlag hvert år.

I tidligere profilstudier er kapaciteten ved en tilsvarende kvælstofudvaskning beregnet til 0.6-1.6 cm/år (Ernstsen, 1990).

Nedsivende vand med opløst ilt, en proces siden istiden (ca. 10000 år)

Siden istiden er der ydermere sket en oxidation af jordlagene ved opløst ilt i det nedsivende vand. En beregning foretaget for SB X, der består af 15 meter tykt moræneler, hvoraf 3.5 meter er oxideret, viser, at der under antagelse af følgende:

- ferrojernkapaciteten er $170 \text{ mol Fe}^{2+}/\text{m}^3$
- oxidationszonen er 350 cm tyk
- processen forløber efter ligningen:



(Schachtschabel et al., 1989), skal der tilføres 4.8 kg ilt/ m^2 for at ændre fordelingen af ferrojern.

Antages ydermere følgende:

- udvaskningen har kunnet finde sted siden begyndelsen af postglacialtiden for 10000 år siden
- nettonedbøren har været 150 mm/år
- 1/3 af nettonedbøren siver ned mod de primære magasiner,

skønnes den totale nedsivende vandmængde siden istiden at være ialt 500000 liter. Sammenholdt med de 4.8 kg O_2 svarer det til en gennemsnitskoncentration på ca. 10 mg O_2/l , der er omtrent samme størrelse som den, der ofte måles i grund-

	vand fra den oxiderede zone (Kristiansen, pers. com.).
Udvaskningen af kvælstof fra landbrugsarealer (ca. 40 år)	Til sammenligning har en nedvaskning på gennemsnitlig 50 kg N/ha/år gennem de sidste 40 år skønsmæssigt resulteret i et samlet tab på 60 g N/m² eller ca. 250 g NO₃⁻/m². Heraf er antagelig ca. 2/3 tabt via dræn og sand/grus lag, og den resterende 1/3 transporteret mod de primære magasiner. Det er meget små mængder nitrat, som er nedvasket i de sidste 40 år, i sammenligning med mængden af opløst ilt siden postglacialtiden. Ændringer i iltningstrinnet for specielt gitterbundet jern i den øverste del af profilet kan således næsten udelukkende være forårsaget af nedsivningen af iltholdigt vand i postglacialtiden.
Jordvand og drænvand	De målte nitratkoncentrationer i jordvand udtaget gennem drænszonen 1988/89 og 1989/90 viser, at de største variationer findes indenfor den øverste meter. Afgrødevalget influerer på udvaskningen. Til eksempel var udvaskningen efter byg efterfulgt af vinterhvede langt større, end det efterfølgende års udvaskning efter vinterhvede efterfulgt af vinterhvede. De højeste koncentrationer af nitrat målt under markparcellen med ærter efterfulgt af vinterhveden, serie 2B. Det har i nærværende undersøgelse været vanskeligt at adskille de forskellige faktorer (driftsform, afgrøde og klima), der influerer på nitratudvaskningen. Dybere end en meter synes variationerne i nitratindholdet mindre og i nogle tilfælde lidt forsinkede. Fordelingen af sand- og gruslag kan også i væsentligt omfang bidrage til de konstaterede variationer. I disse lag afhænger nitratkoncentrationen af arealudnyttelsen på det sted, hvor vandet siver ned. Det har ikke været muligt at påvise den forventede variation i koncentrationen af nitrat i det

	nedsivende vand før og efter, at jordlagene fyldes med vand til drænniveau. Dette kan skyldes klimatiske forhold gennem forsøgsperioden (relativt milde vintre), vandets komplekse bevægelsesmønstre i jorden og/eller den anvendte metode.
Konsekvenserne af en ændret N-udvaskning	Formindskes udvaskningen af kvælstof i et område som Syv bæk, vil det have en hurtig effekt på koncentrationen af nitrat i det vand, der strømmer gennem dræn og sand/gruslag. Ved Glim vil koncentrationen af nitrat på længere sigt formindskes i grundvandet. I områder med overdækkende lag med et stort lerindhold og med mægtigheder på mere end ca. 10 meter synes det primære grundvandsmagasin godt beskyttet mod nedsivende nitratholdigt vand. Hvor de rette betingelser er tilstede, vil nitrat kunne fjernes i organogene jorde, eksempelvis engarealer (Brüsch og Nilsson, 1990).
Fosfor	I jordprøver fra oplandet til Syv bæk varierer det naturlige indhold af fosfor ekstraheret med svovlsyre mellem 110 og 460 ppm P (mg P/kg finjord). I to af de undersøgte profiler, SB IV og SB XI, er indholdet i pløjelaget bestemt til henholdsvis 2100 ppm P og 570 ppm P, og stigningen her skyldes antagelig tilførsel af fosfatholdigt gødning. I de øverste jordlag, hvor det oprindelige indhold af kalk (CaCO_3) er udvasket, bindes fosfor hovedsageligt til jern- og aluminiumoxider, og i dybere lag især til jordlagenes indhold af kalk. I profilerne fra oplandet til Syv bæk er kalkindholdet i jordlag under 1 m's dybde bestemt til 10-40 vægt-% CaCO_3. Jordlagenes evne til effektivt at binde fosfor ses ligeledes ved lave koncentrationer (<0.01 mg $\text{PO}_4\text{-P/l}$) af opløst fosfat (orthofosfat) i prøver

af jordvand opsamlet i dybder indtil 1.6 m u.t. under mark i almindeligt sædskifte.

I prøver af drænvand fra deldrænoplanet forekom periodisk høje koncentrationer af fosfor. Samtidige forhøjede koncentrationer af bl.a. kalium indikerer at dette skyldes tilførsel af husspildevand eller gårdspildevand. Tilsvarende resultater er fundet i undersøgelsen af stoftransporten i Syv bæk (Hansen, 1990).

Drænvandsundersøgelserne i Syv bæk området har derfor ikke været anvendelige som grundlag for en vurdering af størrelsen af fosforudvaskning fra rodzonen.

Andre undersøgelser af drænvand fra dyrkede morænelersområder viser imidlertid generelt meget lave koncentrationer af fosfor i drænvandet (0.01-0.09 mg P/l) (Hansen og Pedersen, 1975, Kjellerup og Kofoed, 1979 og Hansen, 1981). Disse resultater sammenholdt med de kemiske forhold i de øverste jordlag viser, at fosforudvaskningen fra rodzonen må være minimal.

Danske leraf-lejringer karakteriseret ved typeområderne

Syv Bæk typeområdet er karakteriseret ved tykke forholdsvis uforstyrrede morænelersdækker over vandførende lag med stedvis artesiske reservoirer. Glim repræsenterer områdetypen med lerlag af varierende tykkelse over et sand- og grusreservoir med frit vandspejl. Når disse typers skønsmæssige andel af den resterende del af Danmark skal vurderes, er det væsentligt at kende de geologiske forhold.

Syv bæk typen genfindes på Lolland, Falster, Møn, den overvejende del af Sjælland samt den nordlige del af Fyn (nord for en linie fra Fåborg til Svendborg).

Glim typen, med umættet sand (eller kalk) under moræneler, findes i sammenhængende lag syd for Roskilde, syd for Ålborg samt spredt i Nordsjælland og Vestsjælland.

I den sydlige del af Fyn og i Jylland, nord og øst for hovedopholdslinien for weichselisens udbredelse, er reservoirerne i mange områder dækket af moræneler, og de er glacialt forstyrrede og med mange mindre artesiske reservoirer. Forholdene adskiller sig fra de to typeområder. Den arealmæssige fordeling indenfor de morænelersdominerede områder i Danmark skønnes for Syv bæk og Glim typen at være 45% og 5%.

Referenceliste

- Bondesen, E. (1979): Roskilde, by og landskabsgeologi og samfund. Et lokaliseringsstudie. Roskilde Museums Jubliæumsskrift: 13 bidrag. Roskilde 1979.
- og Schrøder, N. (1981): HEDELAND - geologisk-geohydrologisk planlægningsgrundlag. - Inst. f. miljø, tekn. og samfund. RUC, 71 pp. + bilag.
- Brüsch, W. og B. Nilsson (1990): Nitratomsætning og vandbevægelse i et vådområde. NPo-forskning fra Miljøstyrelsen C15.
- Eiland, F. et al. (1989): Nitratudvaskning - hvad sker der med nitrat under dyrkede jorde? Grøn viden 42, 1-5.
- Engesgaard, P. og K.H. Jensen (1990): Drainage flow modelling - Syv Creek. NPo-forskning fra Miljøstyrelsen B14.
- Ernstsen, V. (1990): Nitratreduktion i moræneler. NPo-forskning fra Miljøstyrelsen B2.
- og H. Lindgreen (1985): Uorganisk nitratreduktion og -reduktionskapacitet i et morænelersprofil. Intern rapport No. 33. Danmarks Geologiske Undersøgelse, København.
- og P. Gravesen, B. Nilsson, W. Brüsch og J. Fredericia (1990): Transport og omsætning i Langvad Å's opland. Baggrundsrapport-Databilag. Intern rapport No. 44. Danmarks Geologiske Undersøgelse, København.

Gravesen, P. (1986): Grundvandssystemerne ved Danmarks Geologiske Undersøgelse - databaser og anvendelse. I Vattenarkivsystemer i Norden. Nordisk expertmöte, Esbo, Nordiskt Hydrologisk Program, NHP-rapport nr. 12, 179-199.

- (1990): Geologiske forhold i oplandene til Langvad å og Syv bæk, Sjælland. NPo-projekt 2.2. Intern rapport nr. 32, 46 pp. + bilag. Danmarks Geologiske Undersøgelse, København.

Hansen, B. (1981): Drænvandskvantitet og -kvalitet i Susåens opland. Rapport 19. Dansk Komite for Hydrologi.

- (1990): Afstrømning og stoftransport i Rabis bæk og Syv bæk. NPo-forskning fra Miljøstyrelsen B9.

Hovedstadsrådet (1981): Teknisk baggrundsnotat.
1. Hydrogeologisk kortlægning (geologisk afsnit udarbejdet af J.O. Koch: Udkast til geologisk beskrivelse af hovedstadsregionen. Danmarks geologiske Undersøgelse, 1981 - Hovedstadsrådet, 56 pp.

Jacobsen, E.M. (1984a): Glim - En detailkortlægning af overfladenære råstofforekomster i et område sydvest for Roskilde. Geokon Bull. 5, 22 pp.

- (1984b): Råstoffkortlægning. Et fase 2 kort udarbejdet på baggrund af råstoffdetailkortlægning omkring Roskilde. Geokon Bull. 6, 70 pp.

Kjellerup, V. og A. Dam Kofoed (1979): Kvælstofgødsknings indflydelse på drænvands indhold af plantenæringsstoffer. Beretning 1465.

- Koscianski, R. (1988): Geoelectrical Mapping of the overburden and the Hedeland aquifer in the Glim area. Rapp. Inst. Tekn. Geol., 15 pp. + bilag.
- Kristiansen, H. pers. com. Statsgeolog ved geokemisk afdeling, Danmarks Geologiske Undersøgelse.
- Lind, A.-M. og M.B. Pedersen (1976): Nitrate reduction in the subsoil. II General description of boring profiles, and chemical investigation on the profile cores. Tidskrift for planteavl 80, 82-99.
- Mehra, O.P. & M.L. Jackson (1960): Ironoxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. Clay and clay minerals 5, 317-327.
- Munsell Color Company (1976): Munsell Soil Color Charts. Macbeth division of Kollmorgen Corporation, Baltimore.
- Murad, E. (1988): Properties and behavior of iron oxides as determined by Mössbauer spectroscopy. I J.W. Stucki et al. (ed.), Iron in soils and clay minerals, 309-350.
- Møberg, J.P. et al. (1988): Geologi og jordbundslære - pedologiske analyser. DSR, København.
- Olesen, J. (1990): Klimastationer i NPo-værkstedsområder. NPo-forskning fra Miljøstyrelsen B17.
- Rasmussen, E. (1989): Sårbarhedsvurdering af Hedeland-aquiferen indenfor oplandet til Langvad å. Inst. Tekn. Geol. Eksamensprojekt nr. 62.

R & H Geoconsult (1981): Regional råstofkortlægning. Fase 2. Svogerslev-Roskilde. Rapport for Hovedstadsrådet.

Salinas, I. (in press, a): Geologisk kort over Danmark. Kortblad 1513 IV Roskilde.
1:50.000. Geologisk basisdatakort. Danmarks Geologiske Undersøgelse. Kortserie nr. 20.

- (in press, b): Geologisk kort over Danmark. Kortblad 1513 III Ringsted + Kortblad 1513 II Køge. 1:50.000. Geologisk basisdatakort. Danmarks Geologiske Undersøgelse. Kortserie nr. 23.

Schachtschabel, P. (1961): Bestimmung des fixierten Ammoniums im Boden. Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk. 93, 126-136.

- og H.-P. Blume, G. Brümmer, K.-H. Hartge og U. Schwertmann (1989): Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.

Schrøder, N. & E. Bondesen (1978): Torkilstrup Formationen. Geologi og geohydrologi. Inst. f. miljø., tekn. og samfund. RUC, 40 pp. + bilag.

Sevel, T., N. Kelstrup & K. Binzer (1981): Nedsivning. Rapport Nr. Suså H6. Dansk Komité for hydrologi, København.

Silva, J.A. og J.M. Bremner (1966): Determination and isotope ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: Fixed ammonium. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30, 587-594.

Storm, B., M. Styczen og T. Clausen (1990): NPo-forskning fra Miljøstyrelsen B15.

Zeuthen, S.B., F.P. Vinther og F. Eiland (1990): NPo-forskning fra Miljøstyrelsen B7.

Registreringsblad

Udgiver: Miljøstyrelsen, Strandgade 29, 1401 København K.

Serietitel, nr.: NPo-forskning fra Miljøstyrelsen, B6

Udgivelsesår: 1990

Titel:

Transport og omsætning af N og P i Langvad Å opland. I

Undertitel:

Forfatter(e):

Ernstsen, Vibeke; Gravesen, Peter; Nilsson, Bertel;
Brüsch, Walter; Fredericia, Johnny; Genders, Steen

Udførende institution(er):

Danmarks Geologiske Undersøgelse; Isotopcentralen

Resumé:

I et typisk østdansk morænelersområde, oplandet til Langvad Å, viser kemiske analyser af jordprøver fra 19 borer udført på agerjord, at nitrat normalt kun forekommer i den oxiderede zone. Fordelingen af nitrat og tritium viser ydermere, at lerlagene fjerner nitrat fra det nedsivende vand, enten i den oxiderede zone eller ved oxidationsgrænsen. Tykke, sammenhængende lerlag synes således at beskytte det primære grundvandsmagasin mod nedsivende, nitratholdigt vand.

Emneord:

omsætning; nedsivning; grundvand; ler; nitrogen CAS 7727-37-9
fosfor CAS 2723-14-0

ISBN: 87-503-8842-8

ISSN:

Pris: 70,- (inkl. 22 % moms)

Format: AS5

Sideantal: 64 s. + 3 foldede ark

Md./år for redaktionens afslutning: november 1990

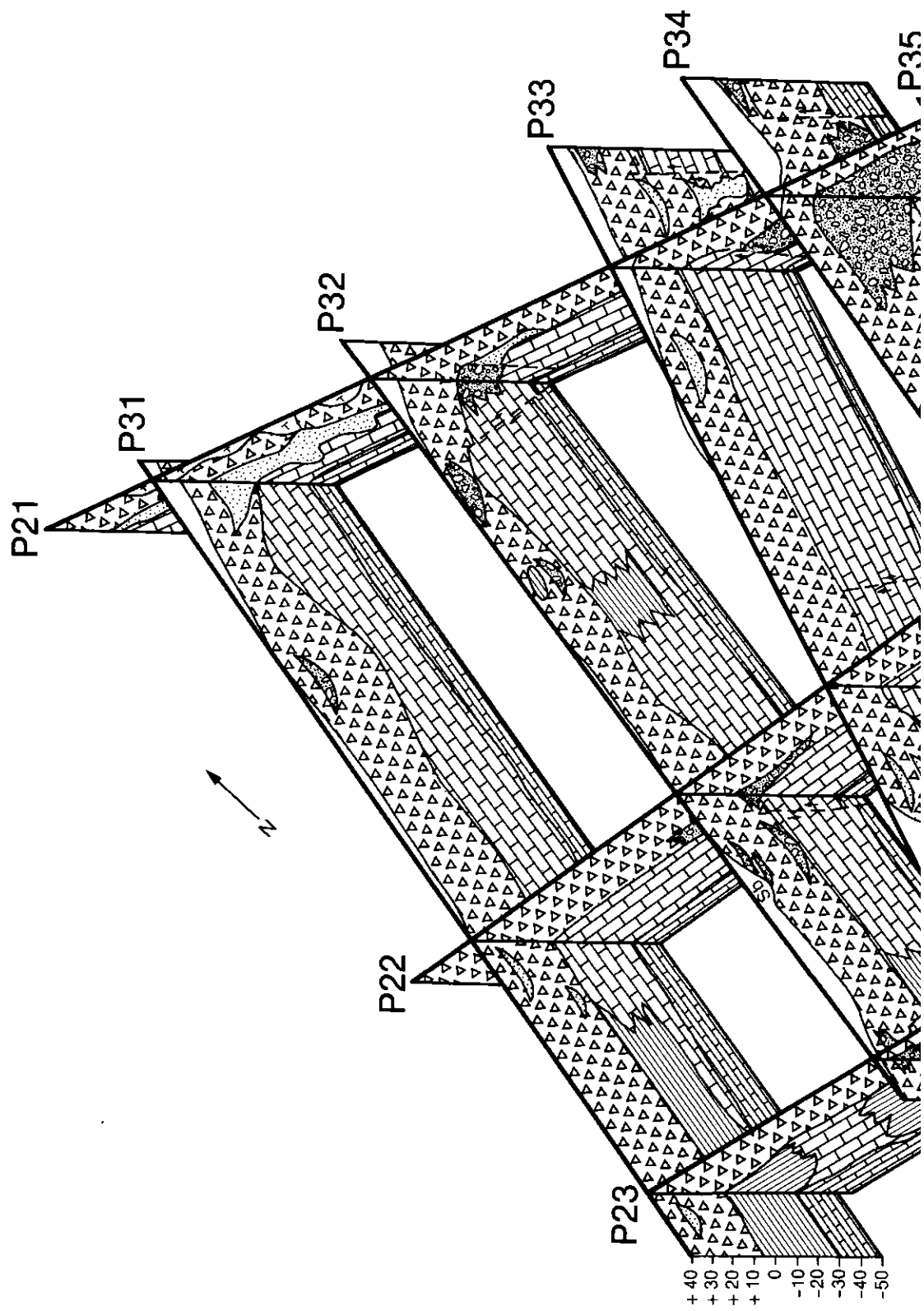
Oplag: 500

Andre oplysninger:

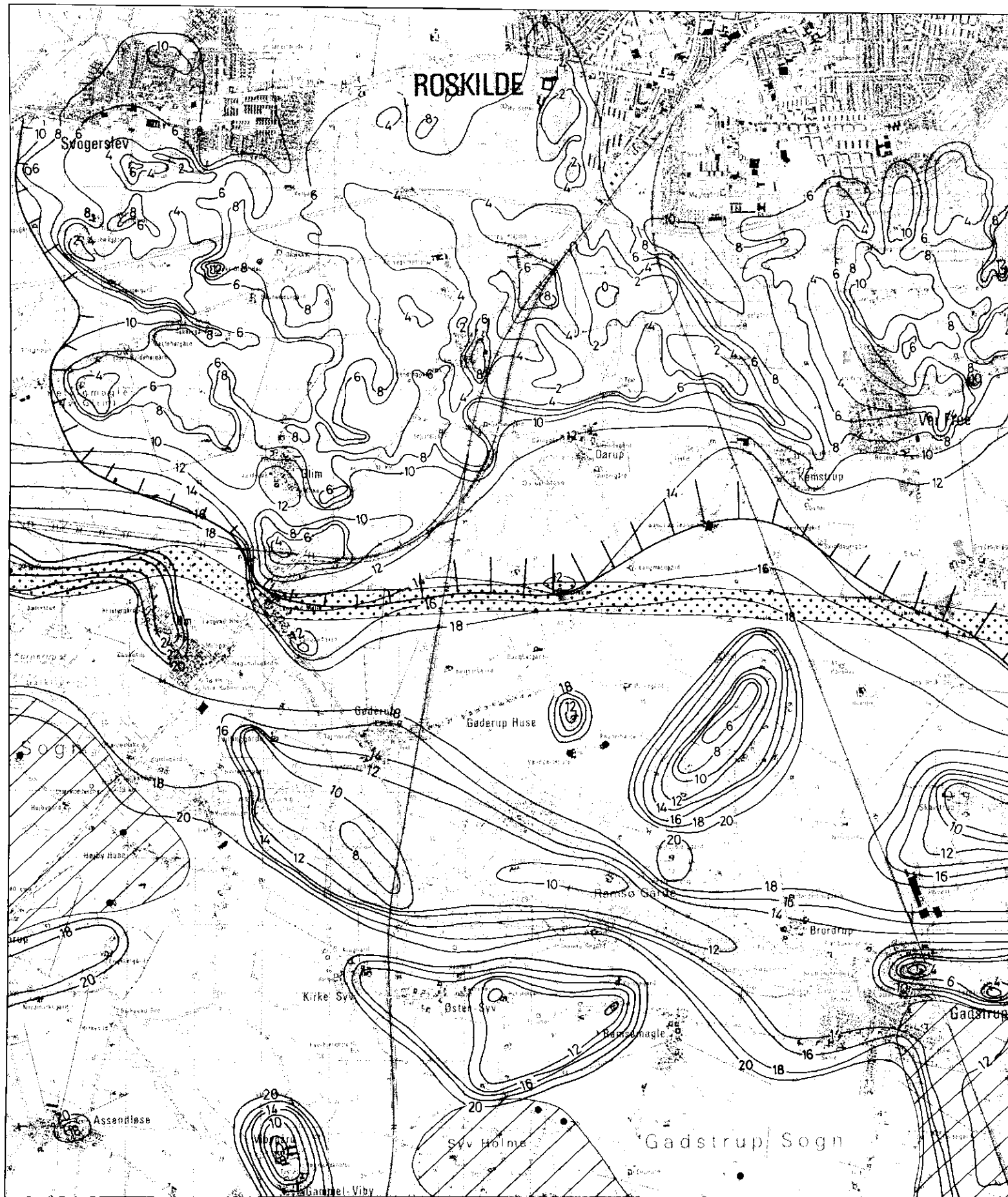
Rapport fra koordinationsgruppe B for grundvand

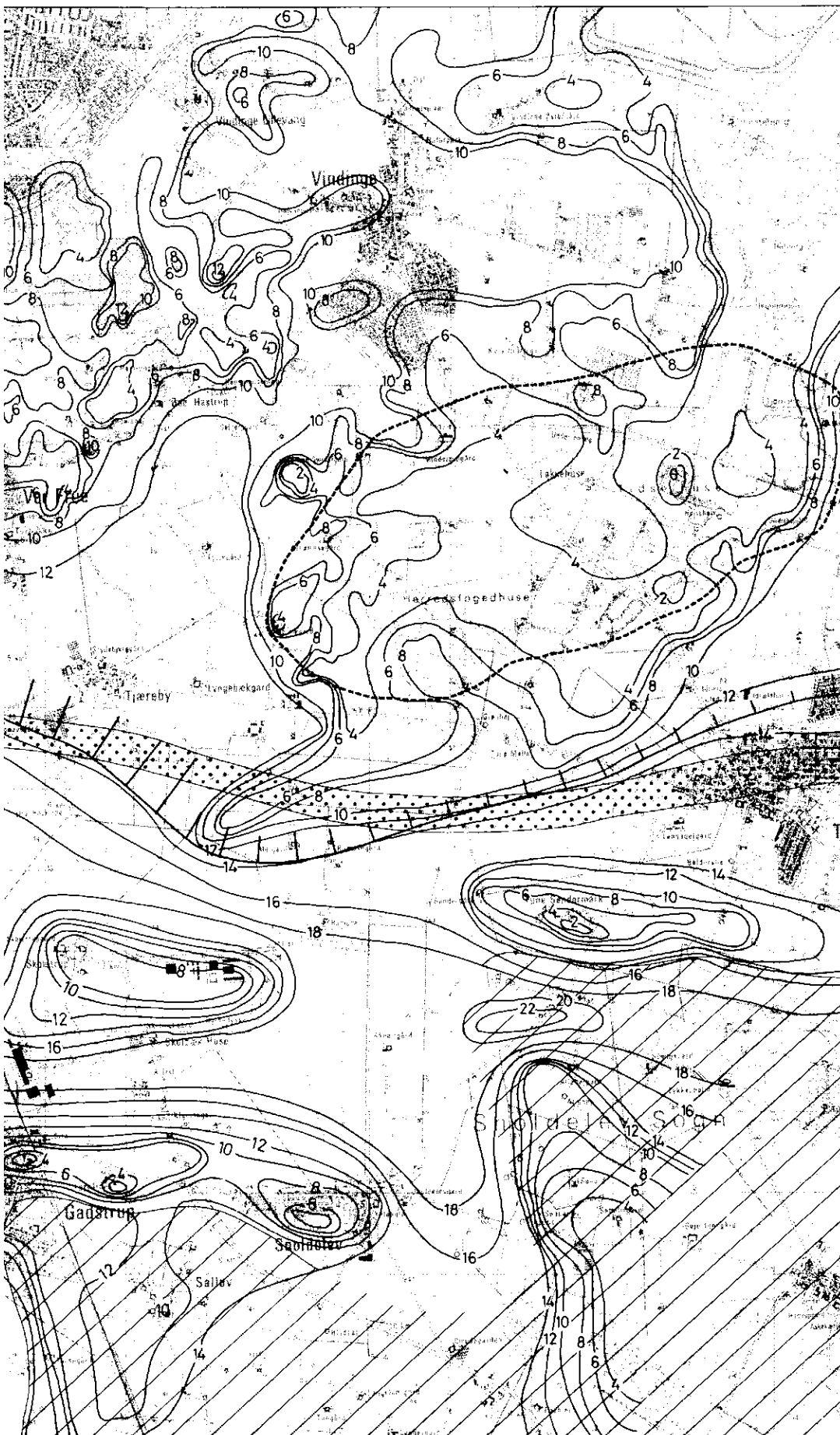
Tryk: Luna-Tryk ApS, København

Bilag 1.



Bilag 2.





LERTYKKELSESKORT

Det nordlige opland til
Langvad Å

Kurver:

- Kurver for lertykkelse
- Over grusformationer
- Over prækvartær (op til 20-24m)
- Lertykkelse over prækvartær > 24m

Kortlægningsgrundlag:

- Geofysik og borer
- Borer

Udbredelse:

- Hedeland formationens udbredelse
- Grusgravsområde

1Km

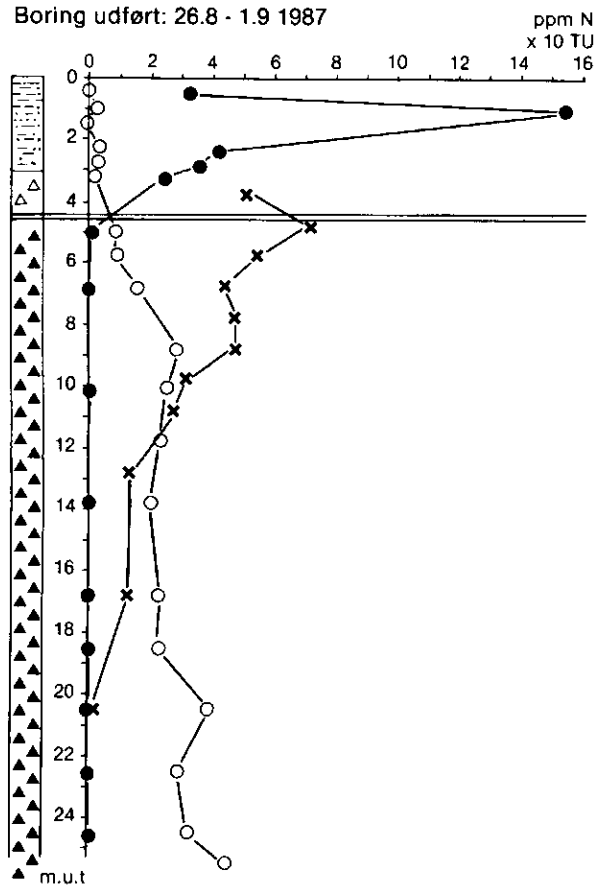
Johnny Fredericia & Eva Rasmussen
Institut for Teknisk Geologi
Danmarks Tekniske Højskole 1989
(modificeret 1990)

Bilag 3.

Boring SB I

DGU ark.nr.: 206.1104

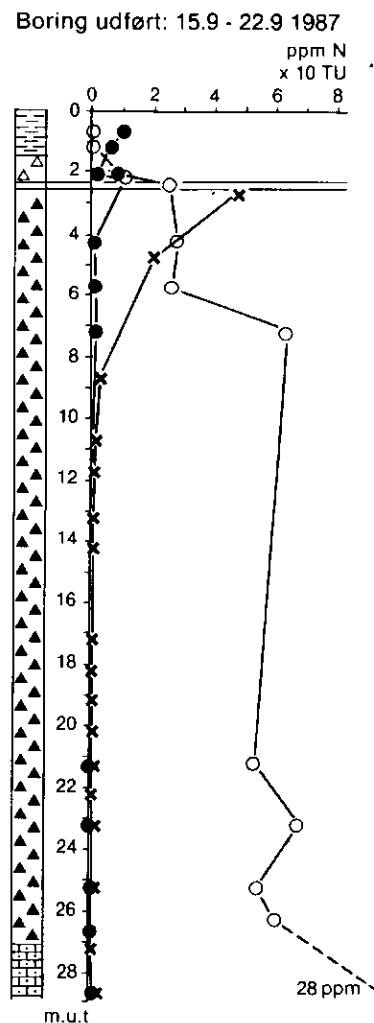
Boring udført: 26.8 - 1.9 1987



Boring SB III

DGU ark.nr.: 206.1107

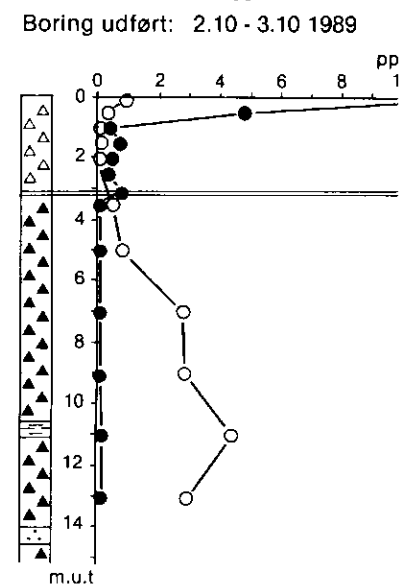
Boring udført: 15.9 - 22.9 1987



Boring SB VIII

DGU ark.nr.: 206.1188

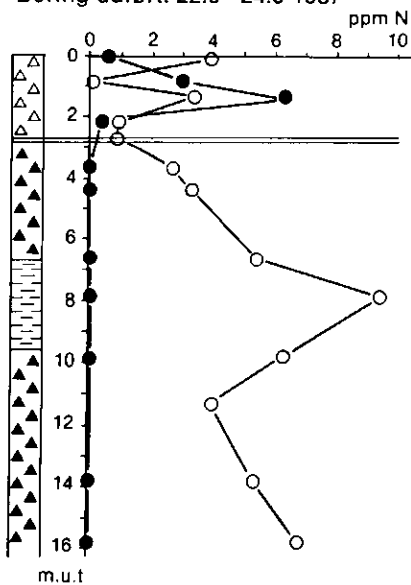
Boring udført: 2.10 - 3.10 1989



Boring SB IV

DGU ark.nr.: 206.1108

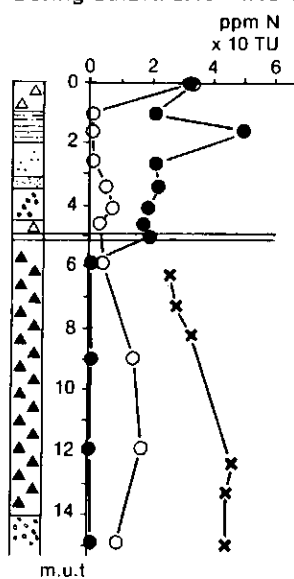
Boring udført: 22.9 - 24.9 1987



Boring SB VI

DGU ark.nr.: 206.1156

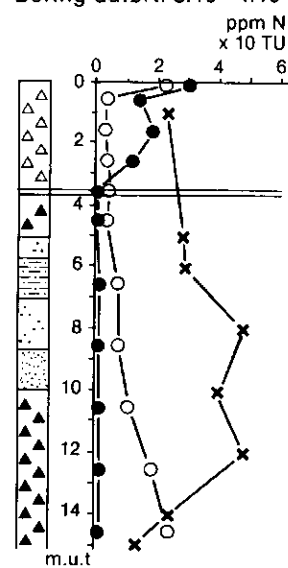
Boring udført: 3.10 - 4.10 1988



Boring SB IX

DGU ark.nr.: 206.1189

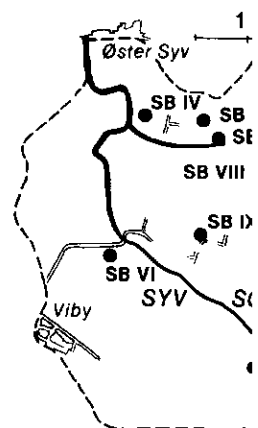
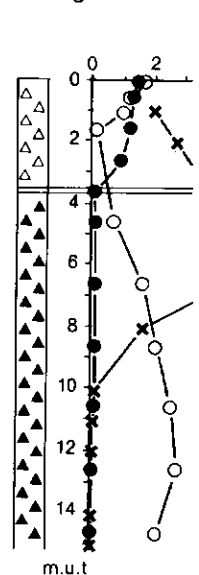
Boring udført: 3.10 - 4.10 1989

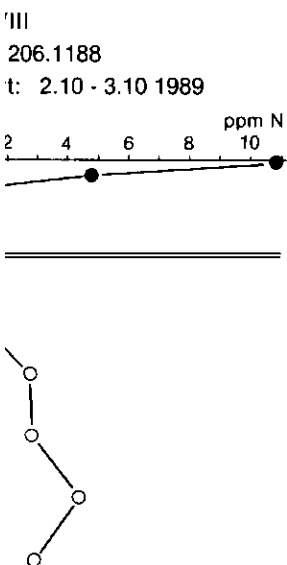


Boring SB X

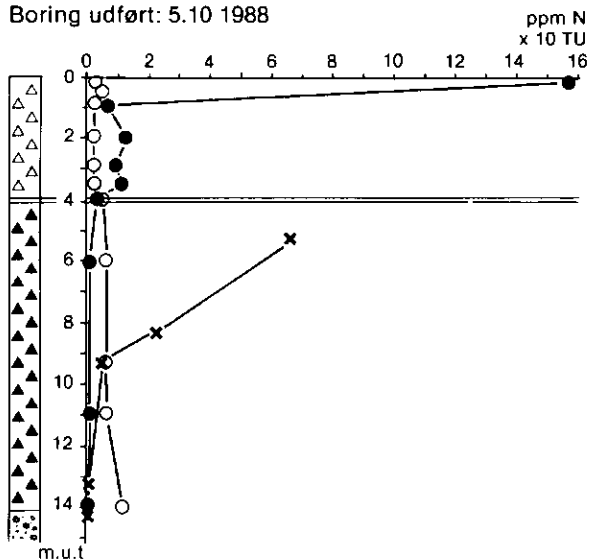
DGU ark.nr.: 206.

Boring udført: 4.



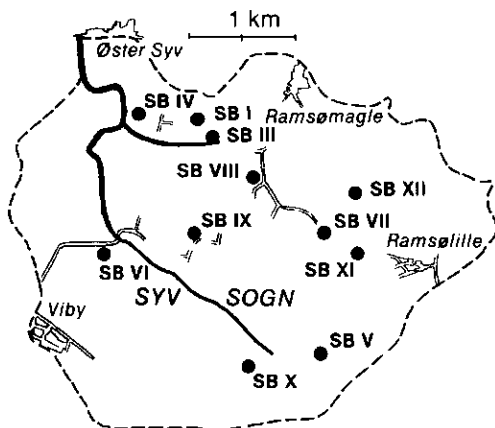


Boring SB VII
DGU ark.nr.: 206.1157
Boring udført: 5.10 1988

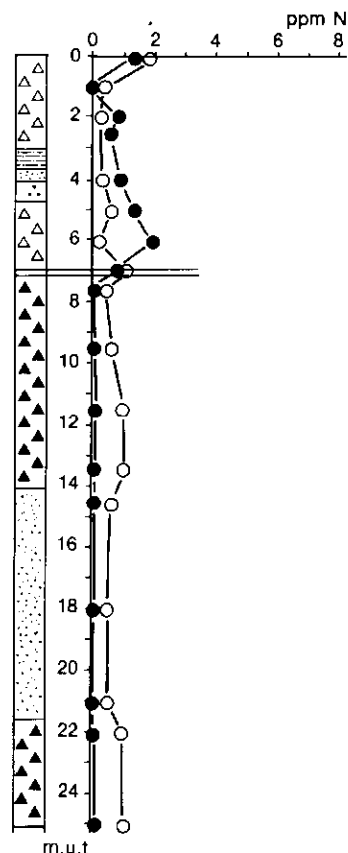


●—● Nitrat, ppm NO_3 -N
○—○ Ammonium, ppm NH_4 -N
×—× Tritium, x 10 TU
==== Oxidationsgrænse

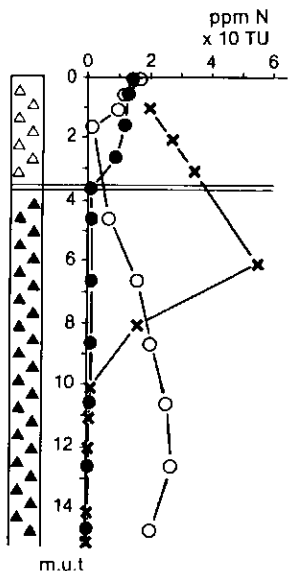
△△△ Moræneler
▲▲▲ Moræneler
△△△ Morænesand-grus
Smeltevandssler
Smeltevandssilt
Smeltevandssand
Smeltevandssand-grus
Kalk
Vibeke Ernstsen, DGU juni 1990



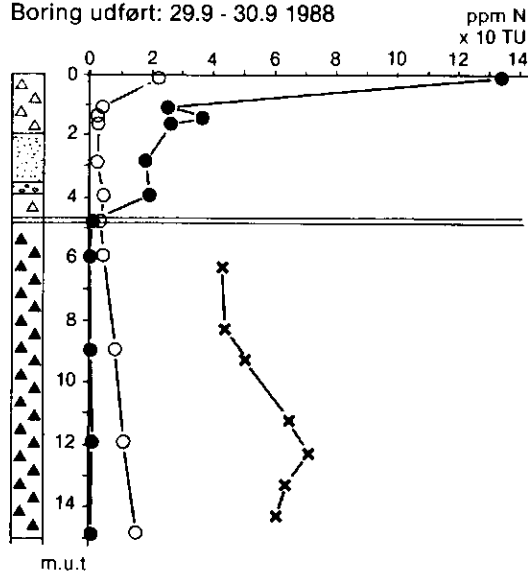
Boring SB XII
DGU ark.nr.: 206.1192
Boring udført: 6.10 - 9.10 1989



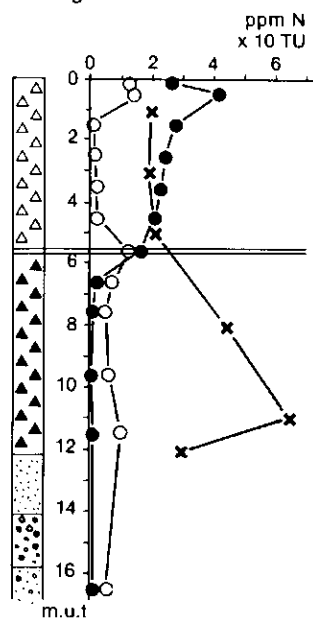
Boring SB X
DGU ark.nr.: 206.1190
Boring udført: 4.10 - 5.10 1989



Boring SB V
DGU ark.nr.: 206.1155
Boring udført: 29.9 - 30.9 1988



Boring SB XI
DGU ark.nr.: 206.1191
Boring udført: 5.10 - 6.10 1989



NPo-forskning fra Miljøstyrelsen

Rapporter fra koordinationsgruppe B for grundvand

- Nr. B 1 : Kemisk nitratreduktion med jern(II)forbindelser
- Nr. B 2 : Nitratreduktion i moræner
- Nr. B 3 : Nitratreduktion og organisk stof i grundvandsmagasiner
- Nr. B 4 : Nitrat og fosfat i grundvand/drikkevand fra områder i Danmark
- Nr. B 5 : Transport og omsætning af N og P i Rabis Bæks opland
- Nr. B 6 : Transport og omsætning af N og P i Langvad Å's opland. I
- Nr. B 7 : Transport og omsætning af N og P i Langvad Å's opland. II
- Nr. B 8 : Nitratreduktionsprocesser i Rabis hedesletteaquifer
- Nr. B 9 : Afstrømning og transport til Rabis og Syv Bæk
- Nr. B10 : Geokemiske processer i et grundvandsmagasin
- Nr. B11 : Grundvandsbelastning fra to landbrug på sandjord
- Nr. B12 : Fluktuationer i grundvandets nitratinhold
- Nr. B13 : Flow and Transport Modelling – Rabis Field Site
- Nr. B14 : Drainage Flow Modelling – Syv Field Site
- Nr. B15 : Regional model for næringssalttransport og -omsætning
- Nr. B16 : Kortlægning af potentialet for nitratreduktion
- Nr. B17 : Klimastationer i NPo-værkstedsområder
- Nr. B18 : Grundvandsmoniteringsnet i Danmark
- Nr. B19 : Field Investigations of Preferential Flow Behaviour

Nr. B8 er tidligere annonceret med titlen:
Processes of nitrate reduction in a sandy aquifer

Transport og omsætning af N og P i Langvad Å opland. I

B11

Udgivet af Miljøstyrelsen, 1989

I et typisk østdansk morænelersområde, oplandet til Langvad Å, viser kemiske analyser af jordprøver fra 19 borer udført på agerjord, at nitrat normalt kun forekommer i den oxiderede zone. Fordelingen af nitrat og tritium viser ydermere, at lerlagene fjerner nitrat fra det nedsivende vand, enten i den oxiderede zone eller ved oxidationsgrænsen. Tykke, sammenhængende lerlag synes således at beskytte det primære grundvandsmagasin mod nedsivende, nitratholdigt vand.



Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

Strandgade 29, 1401 København K, tlf. 31 57 83 10

Pris kr. 70.- inkl. 22% moms

ISBN nr. 87-503-8842-8