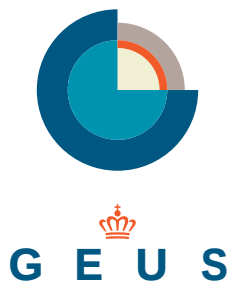


ÅRSBERETNING 1998



DANMARKS OG GRØNLANDS GEOLOGISKE UNDERSØGELSE
MILJØ- OG ENERGIMINISTERIET





ÅRSBERETNING FOR 1998

Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse
Miljø- og Energiministeriet

IN MEMORIAM





Ole Winther Christensen
27.2.1951 – 14.11.1998

• • • • • I 1998 mistede GEUS sin administrerende direktør gennem godt 8 år, efter kort tids sygdom. Meddelelsen om hans pludselige død den 14.11.1998 kom som et chok for hele institutionen. Han var en meget afholdt chef. Han var altid venlig, imødekommende og fair. Han har en stor del af æren for, at GEUS har udviklet sig til en stor geologisk forsknings- og rådgivningsinstitution, der internationalt står respekt om.

Ole Winther Christensens målrettede og personaleorienterede ledelsesstil har gjort GEUS til en moderne, dansk sektorforskningsinstitution i ordets bedste betydning. GEUS' forskning og rådgivning har indtaget en central rolle i den politiske beslutningsproces vedrørende spørgsmål på miljø-, energi-, råstof-, og naturområdet, såvel i Danmark som i Grønland.

Ole Winther Christensen har en stor del af æren for den vellykkede fusion af DGU og GGU. På et tidligt tidspunkt så han faren for, at dansk geologi kunne miste den forskning, der var opbygget i GGU, som en brik i de politiske forhandlinger om den fremtidige forvaltning af den grønlandske undergrund. Han arbejdede målrettet på at undgå denne situation, uden at Grønland af den grund skulle undvære den nødvendige geologiske ekspertise på råstofområdet. De seneste års udvikling har vist, at han så rigtigt.

I kølvandet på fusionen mellem DGU og GGU gik han positivt ind i forhandlingerne om etableringen af Geocentret på tværs af ministerielle grænser. Han blev stærkt engageret i en realisering af tanken, selvom der i hans eget bagland var delte meninger om det hensigtsmæssige i denne centerkonstruktion. Han nåede at se projektet blive sat i gang, men virkeliggørelsen af de ambitiøse mål ligger nu i hænderne på hans medarbejdere.

Ole Winther Christensens indsats for dansk geologi har sat sig markante spor. Han har præget DGUs udvikling i 80'erne og første del af 90'erne. Han har gennemført DGU/GGU fusionen hurtigt, effektivt og succesfyldt. Han har lagt skinnerne ud til det kommende Geocenter.

Han er stærkt savnet på GEUS som leder, som kollega, som menneske. Æret være hans minde.

Martin Ghisler

Udgivet af:
Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS)
Miljø- og Energiministeriet, 1999

ISBN: 87-7871-0066-9
ISSN: 1396-3317

Omslag: Peter Moors
Tegning: Carsten Thuesen & Henrik Klinge Pedersen
Billedtekster: Knud Binzer
Foto: Peter Moors, Jakob Lautrup, Peter Appel,
Flemming Getreuer Christiansen, Leif Thorning m.fl..
Tilrettelæggelse og teknisk redaktion: Peter Moors
Redaktion: Knud Binzer & Arne Dinesen
Repro og tryk: From & Co

Beretningsafsnit, regnskabs- og økonomioversigt samt oversigt over
GEUS' produktion er udarbejdet ud fra tekster og oplysningerne i
Virksomhedsregnskabet for 1998.

De øvrige afsnit bortset fra specialartiklerne er udarbejdet og
redigeret på grundlag af oplysninger fra afdelinger og sekretariat.

©
Danmarks og Grønlands
Geologiske Undersøgelse (GEUS)

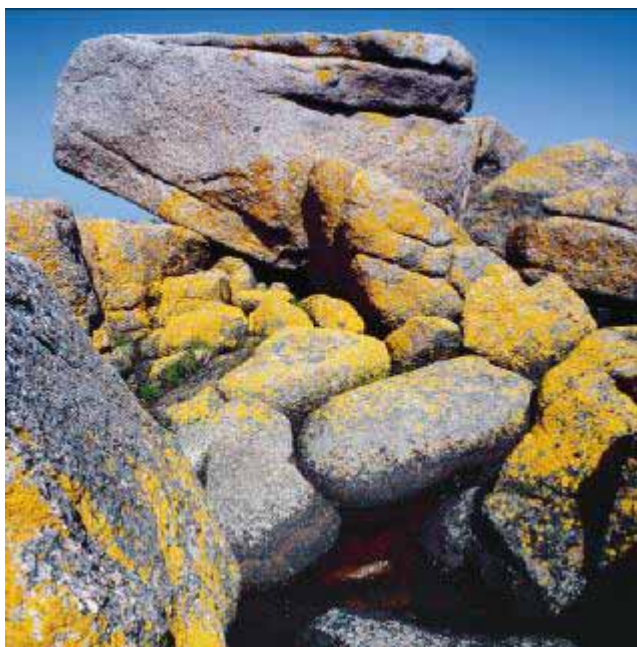
Thoravej 8
DK-2400 København NV
Tlf: 38 14 20 00
Fax: 38 14 20 50
E-post: geus@geus.dk
Internetsted: www.geus.dk



INDHOLD

7	FORORD
	BERETNING:
8	GENERELT OM INSTITUTIONEN OG ARBEJDET
11	ARBEJDET PÅ PROGRAMOMRÅDERNE
11	Databanker, informationsteknologi og generel formidling
14	Vandressourcer
19	Energiråstoffer
23	Mineralske råstoffer og Grønlandskortlægning
27	Natur og miljø
30	GEUS' ORGANISATION
31	REGNSKAB FOR 1998
32	ØKONOMI 1998
34	GEUS' BESTYRELSE
36	GEUS' LEDELSE
	SPECIALARTIKLER:
39	GEOLOGIEN DER BLEV VÆK
49	NY FOKUS PÅ JORDENS ÆLDSTE BJERGARTER
59	SØ OG LAND
73	KYSTOVERVÅGNING OG KYSTMORFOLOGI I ØRESUNDSOMRÅDET
89	FORSKNINGSDRETVET OLIEEFTERFORSKNING I VESTGRØNLAND I 1990'ERNE
99	GEOFYSISK KORTLÆGNING AF GRØNLAND FRA LUFTEN
109	GEUS' FORMIDLINGSVIRKSOMHED (produktion)
111	GEUS' AFDELINGER (arbejdsområder)





FORORD

Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS) udsender i 1999 tre institutions-redegørelser for virksomhedens aktiviteter i 1998.

Den foreliggende "Årsberetning 1998" rummer en kortfattet gennemgang af aktiviteter og resultater, regnskabs-, økonomi- og produktionsoversigter samt en oversigt over afdelingernes arbejdsområder. Hovedvægten ligger på det faglige arbejde med 6 artikler, der belyser et udvalg af GEUS' mangesidige opgaver.

GEUS' tidligere publicerede "Virksomhedsregnskab 1998" indeholder mere detaljerede oplysninger om sammenhængen mellem økonomiforhold og faglig indsats. Virksomhedsregnskabet tjener samtidig som afrapportering af fremdriften i GEUS' resultatkontrakt for perioden 1997-99.

"Publikationskatalog 1998" er en registrering af årets formidlingsaktiviteter på de enkelte program- og delfprogramområder og på de strategiske indsatsområder.

Virksomhedsregnskab og Publikationskatalog kan læses på GEUS' internetsted (www.geus.dk). Begge udgivelser kan rekvireres i papirudgave ved henvendelse til GEUS.

Sidst på året blev institutionens ledelsesforhold stærkt påvirket af adm. direktør Ole Winther Christensens død og af vicedirektør Jens Morten Hansens udnævnelse til direktør for den nye Forskningsstyrelse i Forskningsministeriet. I begyndelsen af 1999 tiltrådte en ny ledelse bestående af adm. direktør Martin Ghisler, vicedirektør Johnny Fredericia og vicedirektør Kai Sørensen.

Forvitret grovkornet granit ved Svenskehavn mellem Årdsdale og Neksø på Bornholm. Alle sten fortæller en geologisk historie, bl.a. om hvilke processer, der oprindeligt har ført til deres dannelse; men sten kan også fortælle om oprindelsessted og om senere transport og ydre påvirkninger enten under transport eller på det sted, hvor de findes. Således kan stenene fortælle en meget gammel og en meget ung geologisk historie.



Anne Marie Nielsen
Bestyrelsesformand



Martin Ghisler
Administrerende Direktør



BERETNING

Generelt om institutionen og arbejdet

1998 var endnu et godt år for GEUS. Aktivitetsniveauet var højt, og der blev opnået mange væsentlige faglige resultater. Til gengæld var det økonomiske resultat ikke tilfredsstillende.

GEUS' arbejde foregår inden for rammerne af en resultatkontrakt, der for perioden 1997-99 er indgået mellem miljø- og energiministeren og GEUS' bestyrelse. Den faglige indsats er organiseret i 5 programområder, hvor opgaverne løses i større eller mindre projektgrupper, som ofte bemandes på tværs af GEUS' afdelingsstruktur. Programområderne vedrører

- Databanker, informationsteknologi og generel formidling
- Vandressourcer
- Energiråstoffer
- Mineralske råstoffer og Grønlandskortlægning
- Natur og miljø

GEUS indgår sammen med en række andre forskningsinstitutioner i centerdannelser, som finansieres af Det Strategiske Mil-

jøforskningsprogram. Et af centerne arbejder under SMP 96 med "Pesticider og Grundvand". Et andet center (BIOPRO), som er startet under SMP 98, beskæftiger sig med "Biologiske processer i forurenede jord og sediment". I begge tilfælde varetages centeradministrationen af GEUS.

Dansk Lithosfærecenter (DLC), hvis forskningsfelt angår fundamentale forhold og processer i jordskorpen, hører i administrativ henseende ind under GEUS, men er ikke omfattet af GEUS' resultatkontrakt. Den overordnede faglige ledelse varetages af Danmarks Grundforskningsfond, som efter en positiv international evaluering har bevilget yderligere midler (85 mio. kr.), således at en videreførelse af centerets aktiviteter er sikret frem til 31. januar 2004.

Etableringen af Geocenter København, som udover GEUS og DLC omfatter Geologisk Institut, Geologisk Museum og Geografisk Institut ved Københavns Universitet, skrider frem. Indflytning i centerbygningerne på Øster Voldgade 10 påregnes for GEUS' vedkommende at

kunne finde sted sidst i år 2001. Finansierungsproblemerne, som opstod i 1998, er løst dels ved tilpasning og besparelser i ombygnings- og indretningsomkostningerne, dels ved en udvidelse af budgetrammen.

GEUS' internationale engagement har i de senere år haft et stigende omfang. I 1998 havde GEUS således over 100 opgaver af international karakter. Det er hensigten at øge samarbejdet med lande i især Sydøstasien og Afrika i de kommende år.

Af "Publikationskatalog 1998" (se www.geus.dk) fremgår, at de samlede aktiviteter på formidlingsområdet har været særdeles omfattende. På 10 ud af de 13 formidlingskategorier, som er opregnet i resultatkontrakten, lever produktmængden i 1998 helt op til de opstillede måltal, og i nogle tilfælde ligger produktionen langt over måltallene. Det gælder især for kategorierne "Artikler i internationale videnskabelige tidsskrifter", "Konferencebidrag" og "Offentligt tilgængelige rapporter".

GEUS' økonomiske resultat for 1998 har været skuffende. Det skyldes især, at indtægterne fra eksterne finansieringskilder faldt med ca. 13 mio. kr. fra 92,7 mio. kr. i 1997 til 79,4 mio. kr. i 1998. Indtægtsfaldet må ses i lys af, at salget af frigivne undergrundsdata var ekstraordinært stort i 1997 i forbindelse med olieselskabernes forberedelse til 5. udbudsrunde. En anden årsag er, at GEUS' indtjening af eksterne midler på energiområdet havde sværere vilkår end i de foregående år, bl.a. på grund af lave oliepriser. Det samlede resultat for 1998 blev, at et driftsunderskud på ca. 8 mio. kr. måtte dækkes ved træk på den akkumulerede reservebeholdning på ca. 21,5 mio. kr., som var opbygget gennem de 3 foregående år.

Af GEUS's samlede årsværksforbrug i 1998 på 362 anvendtes 98 årsværk på opgaver med

relation til Grønland. Omsætningen i forbindelse med Grønlandsopgaverne var 67,8 mio. kr. (ca. 84 mio. kr., såfremt Dansk Lithosfærecenter's omsætning medregnes), hvoraf 39,4 mio. kr. stammer fra GEUS' Finanslovsbevilling og 18,4 mio. kr. fra Grønlands Hjemmestyres nyoprettede Råstofdirektorat, som siden 1. juli 1998 har været ansvarlig for forvaltningen af de grønlandske råstoffer. De resterende 10 mio. kr. består af midler fra forskningsfonde og Miljø- og Energiministeriets Energiforskningsprogram (EFP) samt af indtægter ved løsning af opgaver for olie- og mineselskaber.

I GEUS' "Virksomhedsregnskab 1998" (se www.geus.dk) findes detaljerede oplysninger om sammenhængen mellem de økonomiske rammer og den faglige indsats. I Virksomhedsregnskabet gøres samtidig rede for

fremdriften set i forhold til resultatkontraktens målsætninger, specielt for status på hvert af de 26 udpegede strategiske indsatsområder. Desuden beskrives, i hvilken udstrækning kontraktens kvantitative resultatmål er opfyldt ved udgangen af 1998.

I de efterfølgende beretningsafsnit om de 5 programområder opridses de faglige aktiviteter og resultater i 1998 i hovedtræk. Detaljerede oplysninger om de enkelte projekter, som var i gang i 1998, kan findes i "Project Catalogue 1998" (se www.geus.dk).





ARBEJDET PÅ PROGRAMOMRÅDERNE

Databanker, informationsteknologi og generel formidling

Ressourceindsats	Realiseret 97	Budget 98	Realiseret 98	Budget 99
Årsværksforbrug	72	81	73	74
Samlet omsætning (mio. kr.)	37,8	40,3	40,8	43,0
Heraf basismidler (mio. kr.)	27,5	35,1	35,1	37,8
Ekstern finansiering (mio. kr.)	10,3	5,2	5,7	5,2
Ekstern finansieringsgrad	27%	13%	14%	12%

Den samfundsmæssige afhængighed af geologiske ressourcer som grundvand, olie og naturgas, mineralske råstoffer og de øverste jordlag medfører en konstant tilvækst i mængden af relevante informationer, som indhentes i forbindelse med efterforskning, indvinding og udnyttelse. GEUS har ansvar for, at denne ofte dyrt erhvervede erfaringsmasse ikke går til spilde, men står til rådighed, når nye aktiviteter og forholdsregler planlægges.

Hovedopgaven på programområdet består i håndtering af de store datamængder, som indberettes i medfør af lovgivning på vandforsynings-, undergrunds- og råstofområdet. Dette indebærer bl.a. registrering, opbevaring og vedligeholdelse af data samt udvikling af forbedrede rutiner for at gøre informationerne tilgængelige i digital form på de elektroniske medier.

I 1998 er der arbejdet på videreudvikling af en række elektroniske informationssystemer. Et af systemerne (Samba) er fælles for Energistyrelsen og GEUS, og det omfatter rådata og bearbejdningsresultater, som vedrører den dybere undergrund, især data og resultater som er

tilvejebragt i forbindelse med olie/gas-efterforskning og -indvinding. Arbejdet inkluderer bl.a. overføring af data fra RDB til Oracle og programmering af nye grafiske brugerflader. Andet arbejde er koncentreret om miljøinformationssystemet Jupiter, der integrerer eksisterende databaser vedr. vandboringer (Zeus), grundvandskemi, drikkevandskemi og pejleresultater med databaser vedr. sedimentanalyser m.v. Dette arbejde tilrettelægges i samarbejde med Miljøstyrelsen, som har mulighed for at trække på systemet. Jupiter-systemet er under udbygning med en særlig base (Gerda), som skal indeholde resultaterne af de geofysiske undersøgelser, som lægges til

Storebæltsbroen set fra Sjælland.

Ved planlægningen af større anlægsarbejder bliver GEUS inddraget i arbejdet bl.a. med at tilvejebringe og kvalitetssikre de nødvendige råstoffer og med overvågning af miljøpåvirkninger i forbindelse med selve byggeaktiviteterne både til lands og til vands.

grund for amternes indsats med at afgrænse beskyttelseszoner i vandindvindingsområder.

I tilknytning til etableringen af det kommende Geocenter på Øster Voldgade 10 og en aftale med Hjemmestyrets Råstofdirektorat, om at malmgeologiske borekerner fremover skal placeres i Kangerlussuaq (Søndre Strømfjord), er det besluttet at investere i en samling af al fysisk lagring i Danmark af boreprøver, kerneprov m.v. på én lokalitet, som indrettes til formålet. Udstyret til ekspeditioner i Grønland anbringes og håndteres samme sted.

Publikationsvirksomheden vedr. GEUS' data var som følge af forberedelserne til 5. udbudsrunde af licenser til olie/gas-efterforskning langt større end forudset i GEUS' resultatkontrakt. I 1997 udsendtes en lang række rapporter, og der var mange indlæg på konferencer for at gøre olieindustrien opmærksom på tilgængeligheden af frigivne borings- og seismikdata vedr. den danske undergrund. Tilsvarende markedsføringsaktiviteter er fortsat i

1998, men på lavere blus. Oplysninger om frigivne data om undergrunden føres løbende ajour på www.geus.dk.

Den generelle informationsvirksomhed omfatter dels de dansksprogede "Virksomhedsregnskab 1997", "Årsberetning 1997", der inkluderede 6 artikler om nogle af de aktuelle arbejdsfelter, og "Arbejdsprogram 1998", dels de engelsksprogede "A Review of Greenland Activities", "Catalogue of Greenland publications and data" samt en kombineret udgivelse af "Review of Activities 1997 / Publication Catalogue 1997 / Project Catalogue 1998". I det populærvidenskabelige tidsskrift "GEOLOGI - Nyt fra GEUS", der udkom med 4 numre, er behandlet så forskelligartede emner som: Anvendelsen af sekvensstratigrafi ved råstofefterforskning - Hans Tausen iskappen på Grønland - Digitalisering af danske jordartskort - Forekomsten af tungmineraller i Vestjylland - Råstoffer på havbunden.

GEUS' hjemmested på internettet (www.geus.dk) er udvidet kraftigt i løbet af 1998. Årsværksforbruget var i 1998 mindre end forudset, men på niveau med forbruget i 1997. Den samlede omsætning øgedes med 3 mio. kr. på grund af investeringer i udstyr m.v., der sigter mod at opnå effektivisering såvel i håndteringen som i tilgængeligheden og udnyttelsen af de stærkt voksende datamængder. Den eksterne finansiering reduceredes med ca. 4,6 mio. kr. i forhold til 1997, hvor indtjeningen på programområdet var så høj som 10,3 mio. kr., primært som følge af en ekstraordinær stor afsætning af data til olieselskaberne.



Faxe Kridt A/S ' kridtbrud ved Sigerslev på Stevns.

Der opmåles sprækker i forbindelse med det EU-støttede projekt "Fracflow". Projektet går ud på at undersøge opsprækket kridt med hensyn til strømning af grundvand gennem sprækkerne. I store dele af Europa er kridt en vigtig reservoirt bjergart for grundvand; projektet gennemføres bl.a. for at belyse risikoen for forurening af grundvandet. Foruden GEUS deltager engelske, tyske og israelske partnere i projektet.



Vandressourcer

Ressourceindsats	Realiseret 97	Budget 98	Realiseret 98	Budget 99
Årsværksforbrug	61	65	68	64
Samlet omsætning (mio. kr.)	32,6	37,5	37,1	46,9
Heraf basismidler (mio. kr.)	17,5	23,4	22,7	34,6
Ekstern finansiering (mio. kr.)	15,2	14,1	14,4	12,3
Ekstern finansieringsgrad	46%	38%	39%	26%

GEUS' hovedopgaver på programområdet består i at skaffe overblik over størrelsen og fordelingen af de tilgængelige grundvandsressourcer og i at øge indsigten i forhold og processer, som influerer på grundvands kvaliteten.

Af GEUS-rapporten "Grundvandsovervågning 1998" fremgår, at der fortsat er problemer med at sikre grundvands kvaliteten. For nitrats vedkommende er den vejledende grænseværdi på 25 mg/l overskredet i ca. 25% af vandprøverne, som i 1997 blev udtaget fra de filtersatte intervaller i Vandmiljøplanens overvågningsboringer.

Organiske mikroforureninger, d.v.s. klorerede kulbrinter, aromatiske kulbrinter og fenoler, er i perioden 1989 - 1997 konstateret i henholdsvis 13%, 21% og 12% af prøverne fra filtersatte intervaller i overvågningsboringerne. Antallet af påviste pesticidtyper (inkl. nedbrydningsprodukter) vokser, efterhånden som analyseprogrammerne udvides. Til og med 1997 er der påvist 46 pesticidtyper i grundvandet. I 1996 var tallet 35.

Der er i de senere år taget adskillige initiativer til at afværge yderligere forringelser i vandmiljøet, herunder grundvandsressourcerne. GEUS er engageret i flere af de tilknyttede udredningsopgaver.

I 1998 er der bl.a. arbejdet med følgende emner: 1) Risiko ved pesticidanvendelse på udyrkede arealer; 2) Kvantificering af risikofaktorer for pesticidudvaskning; 3) Pesticiders bionedbrydelighed i grundvand; 4) Retningslinier for feltskalaforsøg som led i godkendelsesproceduren for pesticider. Rapportering om udyrkede arealer fandt sted i 1998, mens udredningerne vedr. pesticidudvaskning og bionedbrydelighed først afsluttes i 1999. Udarbejdelse af mere præcise retningslinier for feltskalaforsøg må afvente, at erfaringer fra det nedennævnte, nye

varslingssystem kan inddrages. I forbindelse med Bicheludvalgets vurdering af de økonomiske konsekvenser ved udfasning af pesticider var GEUS repræsenteret i underudvalget vedr. "Miljø og sundhed".

I august 1998 forelå en særbevilling til etablering af et varslingssystem, som skal bidrage til, at godkendte pesticider, der mod forventning ikke bindes til eller nedbrydes i de øverste jordlag, kan registreres så tidligt som muligt, og før de siver ned til grundvandet. Efterfølgende er der arbejdet intenst med at tilrettelægge varslingsopgaverne, der løses i samarbejde med Danmarks JordbrugsForskning, DMU og Miljøstyrelsen, samt med udvælgelse af repræsentative lokaliteter. De 3 første målestationer, der placeres ved Store Jyndeved i Sønderjylland, Tylstrup i Vendsyssel og Fårdrup i Vestsjælland, ventes sat i drift inden udgangen af 1999. Bevillingen omfattede desuden midler, som sætter GEUS i stand til tættere end før at følge udenlandske erfaringer med hensyn til pesticidfund i grundvandet.

Opbygningen af en landsdækkende vandressourcemodel er videreført under en projektkontrakt med Miljø- og Energiministeriet. Modelopbygningen repræsenterer et bredt anlagt forsøg på at skaffe overblik over den rumlige fordeling af grundvandsressourcerne, og modellen giver mulighed for at følge udviklingen fra år til år. Svingningerne i tilførslen af nedsivende vand til grundvandsmagasinerne er et vigtigt element i modellen, som tager højde for bl.a. nedbørsvariation, arealanvendelse, fordampning og afstrømning gennem vandløb. Projektet omfatter en reorganisering af det danske net af pejlestationer, som måler variationerne i grundvandsspejlets beliggenhed.

I 1998 er de godt 100 eksisterende stationer gennemgået med henblik på at finde frem til de mest oplagte kandidater til "on line" opkobling. Foreløbig er nyudviklet udstyr monteret på 3 stationer, som nu fungerer med automatisk registrering og data-transmission. Modeludformningen er bl.a. baseret på Dansk Hydraulisk Institut's MIKE SHE programmel, og DHI deltager i projektet med udvikling af supplerende moduler. Programmeludviklingen finansieres i vid ud-

strækning via tilskud fra Erhvervsfremmestyrelsen. Der er desuden samarbejde med DMU, når det gælder data vedr. arealanvendelse og afstrømningsmålinger.

Modelindsatsen, der i 1997 var koncentreret på Fyn, er i 1998 lagt på Sjælland, Lolland, Falster og Møn og i mindre omfang på det sydlige Jylland. Resultaterne fra Sjælland tyder på, at mere end 85% af den nedsivning, der når frem til de største grundvandsmagasiner, finder sted inden for områder, som udgør mindre end 25% af det samlede areal. Det er hensigten, at modellen efterhånden skal detaljeres og udvides til at omfatte oplysninger om vandkvaliteten, bl.a. ved inddragning af analyse-resultater fra Vandmiljøplanens overvågningsprogram.

GEUS' forskning på pesticidområdet udføres som led i Grundvandsgruppens arbejde med "Pesticider og Grundvand" under Det Strategiske Miljøforskningsprogram (SMP 96) og under en projektkontrakt med Miljø- og Energiministeriet. Projektkontrakten vedrører især udvikling af screening-metoder til identifikation af pesticidtyper. Det er lykkedes at finde frem til

en metode, der tillader immunologisk bestemmelse af BAM, som hyppigt optræder i områder, der ligger tæt ved bysamfund. (BAM er et nedbrydningsprodukt fra dichlobenil, som blev forbudt i 1996).

Grundvandsgruppen består af 8 institutioner med centeradministration på GEUS. Arbejdet er organiseret i 3 projekter. De to første er rettet mod forhold og processer, som har betydning for, om pesticider bindes, nedbrydes eller transporteres, dels i jordlagene over grundvands-spejlet, dels i grundvandsmagasinerne. Det tredje projekt sigter mod udvikling af modeller, som kan belyse spredningsmulighederne. På trods af en række problemer i forbindelse med udvælgelsen af egnede feltlokaliteter, gennemførelsen af feltundersøgelser og laboratorieanalyser, fastlæggelsen af modelkoncepter m.v. er der i alle 3 projekter gjort væsentlige fremskridt i løbet af 1998. I projekt 3 var der særlige problemer, fordi den først udvalgte lokalitet, hvorfra data til brug i vurderingen af en strømningsmodels

holdbarhed skulle indhentes, på et sent tidspunkt viste sig at være ubrugelig på grund af uforudset pesticidbelastning. Sidst på året blev Grundvandsgruppens hidtidige indsats evalueret af et internationalt ekspertpanel. Evalueringsprocessen var særdeles konstruktiv, således at størstedelen af de udisponerede projektmidler ved årets slutning kunne sættes ind på områder, hvor ekspertpanelet havde gjort opmærksom på mulige svagheder.

Samarbejdet med ASIAQ (Grønlands Forundersøgelser) angående mulighederne for udnyttelse af vandkraft i Grønland er videreført. I et nedbørsområde nordøst for Sisimiut (Holsteinsborg) er der således i foråret 1998 foretaget hydrologiske undersøgelser af sneafsmeltningens betydning for afstrømningsforløbet.

Blandt internationale aktiviteter i 1998 kan nævnes 2 EU-finansierede forskningsprojekter. Det ene projekt vedrører mulighederne for i europæiske kystzoner at udnytte grundvandsfore-

komster, som formodes at være dannet så tidligt som i den sidste del af istiden. Det andet projekt, som udføres sammen med forskningsinstitutioner i Israel, England og Tyskland, omhandler forhold omkring transport af organiske og uorganiske forureningsstoffer i opsprækkede kalkbjergarter.

Ved hjælp af midler fra Miljøstøtteordningen er der i samarbejde med et russisk forskningsinstitut for hydrogeologi og ingeniørgeologi (VSEGINGEO) og Krüger International Consult startet et projekt i Noginsk-distriktet i den østlige del af Moskva-regionen. Distriktets grundvandsressourcer er truet af forurening fra en meget stor losseplads, og projektet sigter mod at finde frem til egnede afværgeforanstaltninger. Med støtte fra henholdsvis DANIDA og det svenske SIDA er der løst rådgivningsopgaver i Indien og Zimbabwe.

Formidlingsvirksomheden er vokset betydeligt i forhold til 1997, hvor antallet af artikler i

internationale tidsskrifter lå langt under resultatkontraktens måltal. Forøgelsen i 1998 er formentligt et tydeligt tegn på, at resultater fra de seneste års kraftige engagement i opbygningen af den landsdækkende vandressourcemodel og i pesticidforskning nu er godt på vej til at nå frem til et internationalt forum. Antallet af conferencebidrag, offentligt tilgængelige rapporter, erhvervsrelaterede artikler og notater er som i 1997 markant større end de pågældende måltal. Som følge af den store bevågenhed om vandforsyningsproblemer har programområdet haft talrige henvendelser fra de offentlige medier.

Årsværksforbruget har i 1998 været større end forudset som følge af det kraftige engagement i udredningsopgaver. På nuværende tidspunkt er det uafklaret i hvilken udstrækning den videre opbygning af den landsdækkende vandressourcemodel, renoveringen af pejestationsnettet og pesticidforskningen vil kunne finansieres fra år 2000 og frem.

Byggegrund på ydre Nørrebro i København. Forurenet jord er blevet fjernet og der fyldes rent materiale tilbage på grunden. GEUS yder jævnligt ekspertbistand ved undersøgelse af de geologiske forhold til sikring af miljøet ved byggeri og andre anlægsaktiviteter.





Energiråstoffer

Ressourceindsats	Realiseret 97	Budget 98	Realiseret 98	Budget 99
Årsværksforbrug	121	110	108	95
Samlet omsætning (mio. kr.)	64,1	59,1	62,1	55,5
Heraf basismidler (mio. kr.)	25,3	29,0	38,0	31,6
Ekstern finansiering (mio. kr.)	38,8	30,1	24,1	23,9
Ekstern finansieringsgrad	60%	51%	39%	43%

GEUS' hovedopgave består i at bidrage til et solidt fagligt grundlag for en effektiv efterforskningsproces og for at den størst mulige andel af olie- og gas-mængderne, som er til stede i de påviste reservoirer, kan indvindes.

Ifølge Energistyrelsens årsrapport om "Danmarks olie- og gasproduktion 98" nåede olieproduktionen op på 13,83 mio. m³ (mod 13,37 mio. m³ i det hidtidige rekordår 1997). Bruttoproduktionen af naturgas lå i 1998 på 10,28 mia. Nm³ (mod 9,53 mia. Nm³ i 1997). Heraf leveredes 6,63 mia. Nm³ gas til forsyningsnettet i 1998 (mod 6,96 Nm³ i 1997). Det lille fald i gasleverance i 1998 bør ses i sammenhæng med, at gasinjektionen på Tyra-feltet havde et langt større omfang end i 1997 (2,91 mia. Nm³ i 98 mod kun 1,78 mia. Nm³ i 1997). Olie- og gasforekomsterne i Nordsøen er den markante hovedårsag til, at energiproduktionen på basis af indenlandske kilder gennem de seneste 2 år har været større end det samlede energiforbrug.

Forløbet af 5. udbudsrunde, hvor ansøgningsfristen udløb i januar 1998, var en klar manifestation af, at den danske Nordsø-søkel fortsat rummer attraktive efterforskningsmål. Runden, der vedrørte ledige arealer vest for 6°15' østlig længde, fremkaldte 19 ansøgninger. GEUS var som rådgiver for Energistyrelsen stærkt engageret i vurderingen af det omfattende ansøgningsmateriale. Resultatet af runden blev, at 17 ud af de 19 ansøgergrupper i juni måned fik tildelt licens til efterforskning og evt. indvinding i områder, som enten er placeret i Central Graven eller i de tilstødende dele af Det Norsk-Danske Bassin og Ringkøbing-Fyn Højderyggen. De samlede efterforskningsforpligtelser omfatter 13 borer, som skal udføres under alle omstændigheder.



Uden Energi går samfundet i stå.
En af GEUS' vægtige opgaver er at sikre det bedst mulige faglige, geologiske grundlag for efterforskning og indvinding af de energiresourcer, der findes i den danske undergrund. GEUS er derfor også engageret i bestræbelserne på at undersøge mulighederne for at udnytte alternative energiformer, først og fremmest geotermisk energi (varmt vand) i undergrunden, specielt i nærheden af de større danske byer f. eks. København og Århus.

Dertil kommer 8 boringer, som kun skal udføres, hvis bestemte forudsætninger viser sig at være opfyldte. I de aftalte arbejdsprogrammer indgår yderligere indsamling af 3D-seismik samt kortlægning af et samlet areal på ca. 3.500 km².

De geologiske betingelser for olie/gas-forekomster i den del af det danske område, som ligger øst for 6°15' østlig længde, er generelt mindre lovende end længere mod vest, og risikoen for negative efterforskningsresultater er større. For østområdets vedkommende har der derfor siden 1997 været adgang til at indgive licensansøgninger når som helst i løbet af årets første 9 måneder. Som resultat af denne "åben dør"-procedure er der i 1998 udstedt 3 nye licenser i tilgift til de 5 licenser, som blev udstedt i 1997. GEUS har også været inddraget i vurderingen af ansøgningerne i østområdet.

GEUS anvendte i 1998 mange ressourcer på at færdiggøre projekter, som med delfinansiering fra Miljø- og Energiministeriets Energiforskningsprogram (EFP) startede i 1994, 95 og 96. EFP-projekterne med relation til efterforskning på dansk om-

råde har bidraget til at belyse væsentlige spørgsmål om kildebjergarter, om migration af kulbrinter fra kildebjergarter til reservoirer, og om muligheden for at lokalisere reservoirbjergarter i den danske del af Central Graven. De indvindingsrelaterede projekter beskæftiger sig med forhold og processer, der afgør, i hvilken udstrækning de tilstedeværende oliemængder kan trækkes ud af reservoirerne. GEUS er engageret i bestræbelserne på at anvende seismiske data til at kortlægge reservoir-egenskaberne. Resultaterne fra dette arbejde synes bl.a. at kunne bruges i planlægningen af Dan-feltets videre udbygning. Udover i EFP-projekterne deltager GEUS i flere EU-finansierede projekter med relation til indvinding samt i North Sea Chalk Research Programme, som gennem de seneste 20 år har været finansieret af en række olieselskaber, der er engageret i olieindvinding fra kalkbjergarter.

Under EFP- 99 bevilgedes midler til at videreføre "Priority"-samarbejdet mellem Mærsk Olie og Gas A/S, GEUS, DTU/ Institut for Kemiteknik og Geoteknisk Institut. I det 5-årige projekt undersøges muligheder-

ne for at opnå forbedringer i olieindvindingen fra tætte, nedre kretaciske kalkstensreservoirer i Central Truget, f.eks. Valdemarfeltet, hvor de tilstedeværende oliemængder er store, mens de hidtidige indvindingsmuligheder har været beskedne.

I Grønland er der endnu ikke gjort kommercielle fund, og de myndighedsrelaterede opgaver er derfor anderledes end i Danmark. Opgaverne i Grønland går primært ud på at tilvejebringe og formidle geologiske, geofysiske og geokemiske data og tolkninger, som kan fremme den internationale olieindustri muligheder for at vurdere kulbrintepotentialet. Mens der ventes på resultater fra de udstedte licenser, ikke mindst resultatet af den kommende boring på Fyllastrukturen i år 2000, bistår GEUS Hjemmestyrets Råstofdirektorat i udarbejdelsen af en ny strategi, der har til formål at stimulere efterforskningsindsatsen. GEUS deltager desuden i bestræbelserne på at gøre olieindustrien opmærksom på det grønlandske potentiale.

Med støtte fra EFP er der gennemført og afsluttet 3 projekter, som omhandler det grønlandske kulbrintepotentiale. Det

ene projekt belyser geologiske forhold og mulighederne for kulbrinteforekomster i Wandel Hav Bassinet i det østlige Nordgrønland. De to andre projekter vedrører Nuussuaq Bassinet i Vestgrønland, og resultaterne støtter formodningen om, at aflejringsbassinet har et efterforskningspotentiale.

På Færøerne har GEUS medvirket ved tolkning af data og sammenstilling af den foreliggende geologiske viden i sammenhæng med sokkelafgrænsningsdrøftelser og som led i planlægningen af en kommende udbudsrunde i bassinet mellem Færøerne og Shetlandsøerne. I farvandene omkring Færøerne har GEUS deltaget i maringeologiske undersøgelser, som bl.a. har ført til påvisningen af, at der visse steder på dybere vand optræder store skredfænomener i havbunden. Observationer af denne art er vigtige at tage med i betragtning ved planlægningen af kommende boreoperationer.

Det EFP- og DANIDA-støttede samarbejde med Vietnam Petroleum Institute og PetroVietnam er fortsat i 1998, og en GEUS-medarbejder har været stationeret i Hanoi det meste af året.

Mulighederne for kulbrintefund i det store Song Hong Bassin ud for det nordlige Vietnam er vurderet.

Rapportering fra udredningsarbejde vedr. det danske potentiale for udnyttelse af geotermisk energi har fundet sted i samarbejde med bl.a. Energistyrelsen og Dansk Olie og Naturgas A/S. Mulighederne for geotermiske ressourcer i Øresundsområdet er undersøgt i samarbejde med Sveriges Geologiske Undersøgelse.

På olie/gas-området gennemføres i 1998 i overensstemmelse med resultatkontrakten en interessentanalse, som omfattede et udsnit af GEUS' brugere uden for Miljø- og Energiministeriet. Resultatet af analysen, der blev forestået af konsulentfirmaet Andersen Management International A/S, viste, at brugerkredsen generelt er tilfreds med relevans og kvalitet af GEUS' ydelser, som spænder fra distribution af frigrivne data og serviceleverancer (f.eks. laboratorieanalyser) til løsning af forskningsopgaver, herunder på kontraktbasis.

Formidlingsvirksomheden i 1998 har indenfor de fleste af resultatkontraktens indikator kategorier været større end de opstillede måltal. GEUS' medvirken i myndighedsbehandlingen af ansøgningsmaterialet ved 5. udbudsrunde kommer til udtryk i, at antallet af GEUS-notater er meget højt.

Årsværksforbruget faldt fra 121 i 1997 til 108 i 1998. Samtidig gik den samlede omsætning ned med 2 mio. kr. til 62,1 mio. kr. Den generelle afmatning som følge af lave oliepriser har bevirket, at GEUS' muligheder for at løse forskningsopgaver for olieindustrien og levere serviceydelser på kommerciel basis ikke har været så gode som i de foregående år, hvor GEUS især i 1997 havde ekstraordinært store indtægter ved kommercielle opgaver. Resultatet er derfor et markant fald i ekstern finansiering fra 38,8 mio. kr. i 1997 til 24,1 mio. kr. i 1998. Dette fald er delvis kompenseret ved at øge trækket på basismidler fra 25,3 mio. kr. i 1997 til 38,0 mio. kr. i 1998.





Mineralske råstoffer og Grønlandskortlægning

Granitbrud på Bornholm. Stenene anvendes ved bygningen af de faste forbindelser over sund og bælt til fyldmaterialer ved kystsikring og havnebyggeri. Geologiske materialer og geologiske processer spiller altid en rolle i den menneskelige foretagsomhed.

Ressourceindsats	Realiseret 97	Budget 98	Realiseret 98	Budget 99
Årsværksforbrug	59	66	67	61
Samlet omsætning (mio. kr.)	45,8	49,3	52,9	43,5
Heraf basismidler (mio. kr.)	27,2	28,4	29,7	27,5
Ekstern finansiering (mio. kr.)	18,6	20,8	23,2	16,0
Ekstern finansieringsgrad	41%	42%	44%	37%

Aktiviteterne på programområdet vedrører især Grønland og kun i mindre omfang Danmark.

I Grønland er der sat ind på at videreføre den systematiske kortlægning af de isfrie landområder, hvis samlede areal udgør ca. 410.000 km², og på de tilhørende basale undersøgelser af den geologiske opbygning. En række andre aktiviteter er specifikt rettet mod at skaffe rede på det grønlandske mineralpotentialer, bl.a. ved at fremme mineindustriens engagement i efterforskning og i vurderingen af udnyttelsesmulighederne.

Kortlægningen, der tjener til at opklare geologiske forhold, som er af grundlæggende betydning

for råstofefterforskningen, gennemføres dels i en oversigtsmålestok på 1: 500.000, dels mere detaljeret i målestok 1:100.000. Oversigtskortlægningen, der udover selve feltarbejdet omfatter bearbejdningsindsats og kortbladsfremstilling, nærmer sig nu sin afslutning, idet 11 ud af i alt 14 kortblade er trykt og udgivet. For de resterende 3 kortblades vedkommende er situationen den, at feltarbejdet i den nordøstgrønlandske region mellem 78° og 81° N afsluttedes i 1995, og bearbejdningen af det indsamlede materiale er langt fremme. Det pågældende kortblad (Lambert Land) påregnes udgivet i 1999. Det afsluttende feltarbejde i Østgrønlandsregionen mellem 72° og 75° N fore-

gik i sommeren 1998. Materialet er under bearbejdning, og sammenstillingen af data til kortbladet (Kong Oscar Fjord) er påbegyndt. Det sidste kortblad dækker Washington Land i Nordgrønland og Inglefield Land i Nordvestgrønland, hvor en omfattende feltindsats skal gennemføres i 1999.

I 1998 investeredes i et avanceret, digitalt fotogrammetrisk udstyr, som fremover anvendes ved kortfremstillingen. Det første resultat af den nyindførte tryksteknik foreligger i form af 1:100.000 kortbladet Lindenow Fjord, som dækker et område i Sydøstgrønland. Ved hjælp af en særbevilling fra Grønlands Hjemmestyre er der over en

bred front taget fat på at gøre grønlandske kort og data tilgængelige på digital form. De 11 færdiggjorte kortblade i målestok 1:500.000 kan nu leveres på cd-rom.

I tilknytning til den systematiske kortlægning udføres en række uddybende, ofte fondsstøttede forskningsprojekter. Eksempelvis er undersøgelserne af de pladetektoniske processer og bevægelser, som var årsag til dannelsen af den gamle bjergkæde Ketiliderne i Sydøstgrønland, videreført i forlængelse af arbejdet med kortbladet Lindenow Fjord.

I Isua-området nordøst for Nuuk findes exceptionelle bjergarter, hvis alder er så høj som 3,8 milliarder år. Her indledtes i 1998 et 3-årigt forskningsprojekt med deltagelse af mange internationale specialister. Projektet vil muligvis kaste lys over naturforholdene, som herskede ved fremkomsten af nogle af de første levende organismer på jorden.

GEUS' opgaver på mineralområdet løses i tæt samarbejde med Grønlands Hjemmestyre / Råstofdirektoratet, som i vid udstrækning finansierer aktivite-

terne. Opgaverne går bl.a. ud på at tilvejebringe og formidle data og undersøgelsesresultater, som har værdi i en efterforskningsmæssig sammenhæng, og som kan stimulere den internationale mineindustri's interesse for det grønlandske mineral-potentiale.

Kort og digitale data fra de flybårne opmålinger af elektromagnetiske og magnetiske anomalier i jordskorpen, som i 1997 udførtes i Vestgrønland og den nordlige del af Jameson Land, er gjort tilgængelige for mineindustrien i 1998. Det samme gælder en række kort med geokemiske data fra Uumanaq-regionen i Vestgrønland. Endelig er der i 1998 udgivet en GIS-version af en serie tidligere publicerede temakort fra Inglefield Land på cd-rom.

Omfattende nye, flybårne geofysiske opmålinger er i 1998 gennemført i Nordgrønland (Washington Land og J. C. Christensen Land) samt i Vestgrønland mellem Nuuk og Maniitsoq (Sukkertoppen), hvor mange af mineselskabernes efterforskningsaktiviteter foregår i disse år. I Upernavik-regionen er der samlet prøver ind fra elvsedimenter og mineralise-

rede lokaliteter til analyse for grundstofindhold, som kan indikere mineralforekomster. Malmgeologiske undersøgelser indgik desuden som led i sommerens feltarbejde i Østgrønlands-regionen mellem 72° og 75° N.

Indsatsen på den regionale ressourceevaluering af Sydgrønland har i 1998 været rettet mod kvalitetssikring af data fra flere årtiers undersøgelser og mod opdatering af det topografiske grundlag, hvortil en række af de stedbestemte informationer er overført. Der arbejdedes med databaser og GIS-kompilationer, som skal lægges til grund for evalueringen. Til brug ved integreringen af de omfangsrige data er anskaffet avanceret programmel fra den franske Geologiske Undersøgelse (BRGM). Tolkning af resultaterne og rapportering vil finde sted i 1999.

I 1998 havde mineselskaberne efterforskningsaktiviteter i gang i 56 licensbelagte områder. Antallet af licenser er færre end i 1997, men samtidig er den skønnede værdi af licensforpligtelserne vokset fra ca. 106 mio. kr. i 1997 til ca. 162 mio. kr. i 1998. Interessen er især rettet mod diamantforekomster, men

desuden mod metaller som guld, zink og nikkel. Nogle af de senere års mineralfund i Grønland er fortsat under evaluering med hensyn til brydningsværdighed. Det gælder f.eks. en guldforekomst ved Nanortalik i Sydgrønland og zinkforekomster ved Citronen Fjord og Waslington Land i Nordgrønland.

Aktiviteterne i Danmark vedrører råstoffer på land og marinegeologiske undersøgelser af råstoffer til havs. Værdien af den årlige danske produktion af mineralske råstoffer som ler, sand, grus og kalk beløber sig til ca. 4 mia. kr., men GEUS har kun relativt begrænsede muligheder for at skaffe eksterne midler til undersøgelser og forskning, der angår råstofforekomsternes placering, størrelse og kvalitet.

Skov- og Naturstyrelsen har finansieret en etapevis evaluering af sand- og grusressourcerne på det danske havområde. Sidste etape, der blev gennemført i 1998, omfattede Bæltregionen, det nordlige Kattegat, Jyllands vestkyst og farvandene omkring Bornholm. Efterfølgende er fremstillet en rapport, som sammenfatter resultaterne fra hele det danske område. Der er desuden arbejdet med sand- og

grusundersøgelser i flere af grænsede områder, f.eks. på Adler Grund ved Bornholm og Jyske Rev i Nordsøen.

På baggrund af tungmineralindikationer fra målinger i vandboringer foranstaltede GEUS i 1996 et større boreprogram for at hente prøver op fra miocæne sandaflejringer på Skjern-egnen i Vestjylland. De efterfølgende analyser gav opmuntrende resultater og førte til, at et udenlandsk selskab i 1998 påtog sig at igangsætte en grundig undersøgelse af, om lejringsforhold samt mængde og art af tungmineraler kan danne basis for en kommerciel udnyttelse. GEUS er engageret i denne opgave, som videreføres i 1999.

Sammen med Dansk Betonteknik A/S har GEUS deltaget i et EU-finansieret projekt, som er resulteret i udviklingen af en ny type kvalitetsbeton, der er baseret på tilslag af bestemte lerarter. I et andet EU-projekt arbejdes sammen med ungarske, rumænske og græske partnere om udvikling af metoder til karakterisering af diatomitbjergarter, der har mange anvendelsesmuligheder. Moleret fra Limfjordsegnene indgår i undersøgelserne.

Programområdet er præget af høj formidlingsaktivitet, og inden for næsten alle kategorier er produktionen markant større end i 1997, hvor mængden af publikationer i flere tilfælde allerede var på niveau med eller lå højere, end resultatkontraktens måltal angiver.

Årsværksforbruget, hvoraf ca. 80% er knyttet til opgaver i Grønland, øgedes fra 59 i 1997 til 67 i 1998. Størstedelen af den samlede omsætning, der steg fra 45,8 mio. kr. i 1997 til 52,9 mio. kr. i 1998, vedrører også Grønland. Ca. 56% af omkostningerne ved undersøgelserne, som var rettet mod grønlandske mineralforekomster, blev dækket af eksterne finansieringskilder, først og fremmest af Hjemmestyrets Råstofdirektorat. Ca. 76% af udgifterne til den systematiske Grønlandskortlægning afholdtes via GEUS' finanslovsbevilling, mens resten fortrinsvis blev dækket af midler fra forskningsfonde. Den eksterne finansiering af de samlede aktiviteter på programområdet voksede fra 18,6 mio. kr. i 1997 til 23,2 mio. kr. i 1998. Også for de danske opgavers vedkommende var der fremgang med hensyn til finansiering fra eksterne kilder.



Natur og miljø

Ressourceindsats	Realiseret 97	Budget 98	Realiseret 98	Budget 99
Årsværksforbrug	38	37	46	48
Samlet omsætning (mio. kr.)	21,1	26,4	25,8	27,4
Heraf basismidler (mio. kr.)	11,2	9,3	13,8	14,7
Ekstern finansiering (mio. kr.)	9,8	17,1	12,0	12,7
Ekstern finansieringsgrad	47%	65%	46%	46%

Under programområdet udføres et vidt spænd af projekter, hvis fællestræk er, at de med få undtagelser vedrører geologiske lag, som er afsat under istiden eller senere. Tyngdepunkter for GEUS-aktiviteterne, hvorpå nogle eksempler er nævnt i det følgende, er emner som: Klima-udvikling – Vekselvirkning mellem natur og menneske – Kystzonernes tilstand – Jordarts-kortlægning og jordforurening.

Adskillige GEUS-projekter er rettet mod at skaffe oplysninger frem om den klimatiske udvikling, og flere af disse projekter er knyttet til Grønland og Nordatlanten. I 1998 er der f.eks. foretaget målinger af isbevægelse og bundafsmeltning af en "flydende" gletscher i Nioghalvfjerdsfjorden i Nordøstgrønland. Samtidig indhentes oplysninger om områdets geologiske og biologiske udvikling gennem de seneste 10.000 år ved undersøgelse af marine aflejringer og søsedimenter fra området. Til brug i undersøgelserne af klimaudvikling og miljændringer er der desuden indsamlet prøver af bundsediment, overfladesediment og vand fra søer i området ved Sønder Strømfjord og i området mellem Kap Farvel og Fre-

derikshåb Isblink.

I Danmarksstrædet mellem Grønland og Island er der indsamlet havbundsprøver, som fortæller om udviklingen i de dybe havstrømmes forløb. Resultaterne fra havbundsprøverne vil blive sammenholdt med de klimaoplysninger, som kan afledes fra borer i den grønlandske indlandsis.

En række søer i Danmark, Sverige, Nordirland og Grønland indgår i studier af den historiske udvikling i vekselvirkningen mellem natur og menneske. Ved hjælp af analyser af bl.a. pollenindhold og indhold af diatoméer (kiselalger) i aflejringerne på søernes bund samt dateringer af lagenes alder skaffes oplysninger frem om ændringer i vegetationstyperne i de tilstøden-

En borekærne fra havbunden bjerges ombord på miljøskibet Gunnar Seidenfaden. Fartøjet er på data- og prøveindsamlings-togt. Ved hjælp af geofysiske målemetoder bl.a. seismik fås oplysning om lag og lagdeling i de øverste 50 meter af havbunden. Det kan vise noget om fordelingen af sand, grus og mudder i havbunden. Derved kan man indkredse, de områder i havbunden, hvor råstoffer kan indvindes med fordel og mest skånsomt overfor miljøet.

de landskaber og dermed om menneskenes skiftende anvendelse af arealerne. Specielt diatoméerne er vigtige indikatorer for tilførslen af næringsalte til søerne og for udviklingen i søernes biologiske tilstand.

Andre projekter er rettet mod undersøgelser af skovvegetationens udvikling, specielt mod den biologiske mangfoldighed i naturskove. Resultaterne af disse undersøgelser i Danmark vil formentlig kunne nyttiggøres i forbindelse med Vandmiljøplan II, der bl.a. forudsætter en markant udvidelse af skovarealer og vådbundsområder i Danmark.

Undersøgelser af havbundssedimenter i Østersøen, Kattegat, Skagerrak og Nordsøen er videreført, specielt med sigte på at udrede den geologiske historie efter sidste istid og belyse udviklingen i de klimatiske og miljømæssige forhold, som afspejles i aflejringerne. I undersøgelserne indgår forsøg på at skelne mellem naturbetingede og menneskeskabte tilstande. Sammen med specialister fra de baltiske lande, Finland og DMU og med finansiering fra Nordisk Ministerråd er der således gennemført en omfattende kortlægning af bundsedimenterne i

Rigabugten. Formålet har bl.a. været at undersøge bundsedimenternes, det atmosfæriske nedfalds og flodudløbenes effekt på mængden af uorganiske forureningsstoffer (f.eks. tungmetaller) i bugten. Resultaterne, som skal indgå i et større projekt vedr. opstilling af en økologisk model for hele Rigabugten, tyder på, at den uorganiske forurening ikke overskrider niveauet, der er normalt i de mere åbne dele af Østersøen. Et andet aktuelt eksempel består i, at GEUS i samarbejde med Nordjyllands Amt og Århus Amt har kortlagt bundsedimenterne i Mariager fjord mellem Hobro og Hadsund. Resultaterne vil bl.a. blive benyttet ved overvågningen af fjordens fremtidige udvikling.

I Sydgrønland har GEUS sammen med bl.a. Nationalmuseet i Nuuk foretaget maringeologiske og arkæologiske undersøgelser i Tunugliarfik og Igaliko fjordene for at finde årsager til, at nordboerne forsvandt fra Østerbygden. Udviklingen i det lokale havmiljø i perioden fra den varme middelalder (ca. 900-1350) frem til "den lille istid" (ca. 1350-1850) søges udredet ved studier af borekerner fra havbundssedimenterne.

Anlægget af den faste forbindelse over Øresund kan medføre ændringer i de omkringliggende kystområders morfologi. Siden 1996 har GEUS ved årlige opmålinger beskrevet kystudviklingen på begge sider af Øresund og på Saltholm. For Kystinspektoratet startede i 1997 et 6-årigt projekt langs den jyske vestkyst mellem Lodbjerg og Blåvandshuk. Projektet sigter mod at udvikle en geologisk model, der kan øge indsigten i forholdet mellem kysterosion og sandtransport på havbunden, og som kan danne grundlag for valg af egnede foranstaltninger til sikring af kyststrækningen. Som led i projektet blev første fase i et seismisk undersøgelsesprogram udført i 1998. Seismikundersøgelserne fortsætter i 1999, hvor indhentning af havbundsprøver også er planlagt.

Den systematiske jordartskortlægning i Danmark er videreført i begrænset omfang, bl.a. i forbindelse med vejanlæg. Det digitaliserede kortværk i målestok 1:25.000, som GEUS udgav på cd-rom i 1997, er suppleret med nykortlagte områder i Viborg amt og på Lolland.

Under Det Strategiske Miljøforskningsprogram er der i 1998 etableret et center (BIO-PRO), som beskæftiger sig med biologiske processer i forurenede jord. Centerets hovedopgave består i at undersøge om naturligt forekommende eller provokeret mikrobiel aktivitet er i stand til at rense forurenede jord, herunder også olieforurenede kyststrækninger. Ledelse og administration af centeret, der omfatter 10 institutioner, varetages af GEUS.

Programområdets formidlingsaktiviteter har et stort omfang. Specielt er antallet af artikler i internationale tidsskrifter, af konferencebidrag og af offentligt tilgængelige rapporter øget markant i forhold til 1997, hvor tallene i forvejen lå over resultatkontraktens måltal.

Årsværksforbruget, der i 1997 var 38, er i 1998 vokset til 46. Merforbruget på 8 årsværk skyldes tilgang af en række helt eller delvist eksternt finansierede forsknings- og rådgivningsopgaver, herunder etableringen af det nye BIOPRO-center. Den

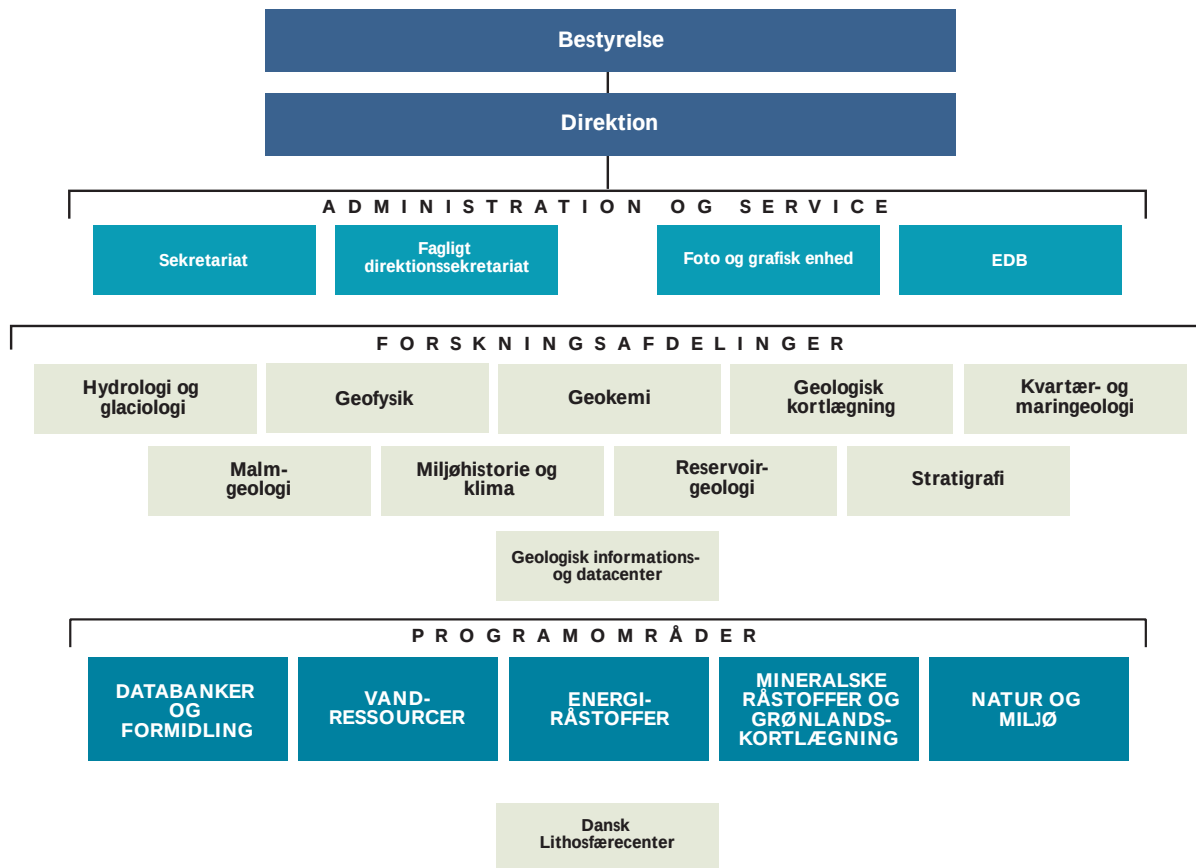
samlede omsætning er steget fra 21,1 mio. kr. i 1997 til 25,8 mio. kr. i 1998. Indtjeningen fra eksterne kilder i 1998 på 12 mio. kr. var mindre end forventet, og for bl.a. at kunne gennemføre de maringeologiske undersøgelser i Nordatlanten og de glaciologiske undersøgelser i Grønland har det været nødvendigt at øge programområdets basismidler fra de budgetterede 9,3 mio. kr. til 13,8 mio. kr.

Langesø på Fyn. En borekerne med aflejringer fra søens bund er ved at blive presset ud af borerøret.

Borekernen bliver derefter undersøgt ved hjælp af geologiske metoder, som gør det muligt bl.a. at beskrive søens forureningstilstand og eutrofieringsgrad; det er også muligt at bestemme hvilken del af det omgivende land (skov eller dyrket jord), der har haft afgørende betydning for tilstanden.



GEUS' ORGANISATION



GEUS er organiseret med ti forskningsafdelinger og fire administrative/serviceafdelinger. Den faglige indsats foregår på 5 programområder, hvor opgaverne løses i større eller mindre projektgrupper, som ofte bemandes på tværs af GEUS' afdelingsstruktur.

Der kan læses mere om organisationen på GEUS' internetsted (www.geus.dk) og i beskrivelsen af afdelingernes arbejdsopgaver på side 111 i nærværende årsberetning.

REGNSKAB FOR FINANSÅRET 1998

Regnskab for finansåret 1998

(mio.kr.)	Bevillinger (FL)	Regnskab
<i>Udgifter</i>		
Lønninger	124.4	122.0
Øvrige driftsudgifter	121.9	108.4
I alt udgifter	246.3	230.3
<i>Indtægter</i>		
Nettotal (tilskud)	141.1	141.1
Driftsindtægter	105.2	94.2
I alt indtægter	246.3	235.3
Årets resultat	-	5.0
Beløb overført fra 1997	-	21.3
Opsparing (beløb at overføre til 1999)		26.3

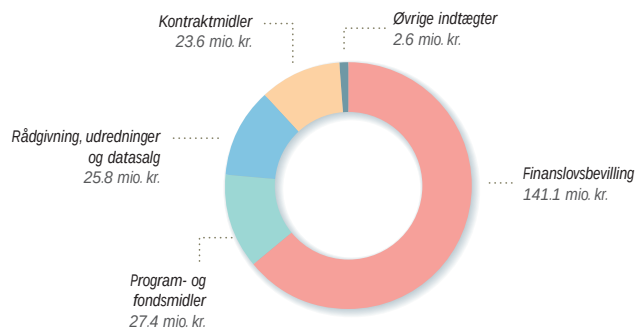
Regnskabet viser GEUS' (inklusive DLCs) økonomiske dispositioner i 1998. Udgifterne var 230.3 mio. kr. GEUS' drift blev dækket dels af finanslovbevillingen og dels af indtægter ved salg af ydelser og data, forskningsbevillinger m.m.

Omtrent 40% af GEUS' indtægter i 1998 kom fra eksterne kilder.

Et mere detaljeret regnskab findes i Virksomhedsregnskabet for 1998 (se www.geus.dk).

ØKONOMI 1998

Indtægter fordelt på indtægtskilder (1998)

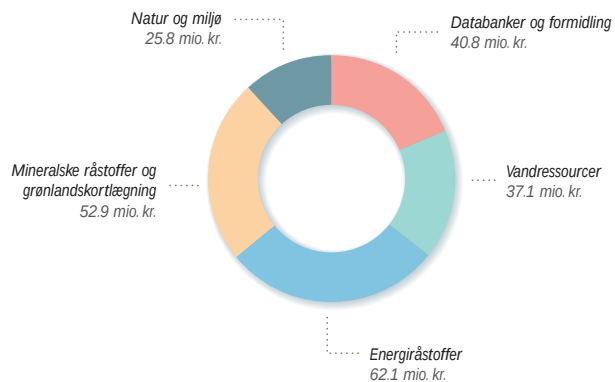


Figurene viser oversigtligt de økonomiske ressourcer som GEUS (eksklusive DLC) havde rådighed over i 1998 (indtægter), og hvorledes disse blev fordelt på programområder (udgifter), samt det budgetterede forbrug i 1999 (udgiftsbudget).

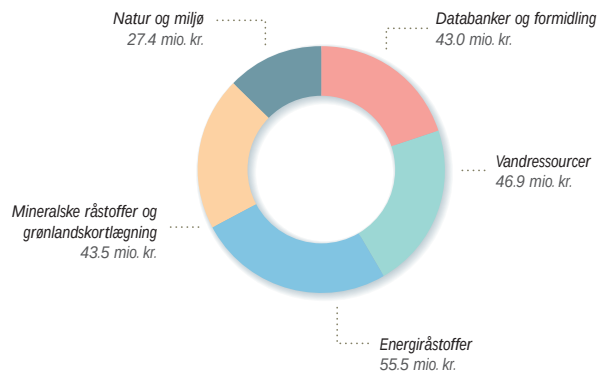
Basisoplysninger er taget fra Virksomhedsregnskabet for 1998 og alle tal er afrundede.

I Virksomhedsregnskabet findes en detaljeret resultatanalyse af GEUS' samlede virksomhed og af de enkelte programområder (se www.geus.dk).

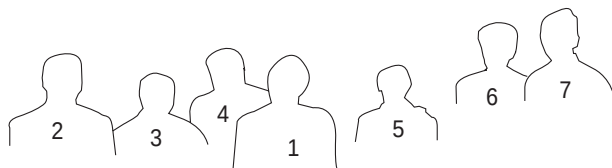
Udgifter fordelt på programområder (1998)



Udgiftsbudget fordelt på programområder (1999)



GEUS' BESTYRELSE





Anne Marie Nielsen (1), bestyrelsesformand, adm. direktør, cand.polit.

Anders Bækgård (7), direktør, civilingeniør

Danske Vandværkers Forening

Ole Christiansen, vicedirektør, cand.jur.

Skov- og Naturstyrelsen

Else Marie Friis (5), professor, lic.scient.

Naturhistoriska Riksmuseet, Stockholm

Kirsten Friis (3), laboratoriefuldmægtig

Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS)

Martin Heinesen, afdelingsleder, cand.scient.

Naturhistorisk Museum, Tórshavn

Jesper Hermansen (6), underdirektør, cand.jur. (fra 1.2.1999)

Miljøstyrelsen

Jørgen Høy (4), direktør

Dansk Olie og Naturgas A/S

Leo Larsen, underdirektør, cand.scient. (til 31.1.1999)

Miljøstyrelsen

Jens Jørgen Møller, seniorrådgiver, cand.scient. (til 28.2.1999)

Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS)

Hans Kr. Schönwandt, direktør, mag. scient.

Råstofdirektoratet, Nuuk, Grønland

Lars Stemmerik, seniorforsker, ph.d. (fra 1.3.1999)

Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS)

Peter Helmer Steen, vicedirektør, akademiingeniør

Energistyrelsen

Finn Surlyk (2), professor, dr.scient.

Københavns Universitet

Gert Vigh, forvaltningschef, cand.jur. (til 30.6.1998)

Råstofforvaltningen for Grønland

Suppleanter:

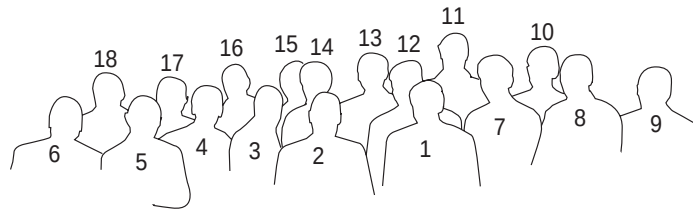
Hans Kristian Olsen, chefgeolog, cand.scient.

(Suppleant for H.K.Schönwandt)

Árni Olafsson, konsulent, cand.polit.

(Suppleant for Martin Heinesen)

Tallene i parentes henviser til foto på modstående side



GEUS' LEDELSE

DIREKTION:

Ole Winther Christensen, administrerende direktør
(til 14.11.1998)

Jens Morten Hansen, viceadministrerende direktør
(til 30.11.1998))

Martin Ghisler (1), direktør til 30.11.1998;
konstitueret administrerende direktør (fra 1.12.1998);
administrerende direktør (fra 15.2.1998)

Johnny Fredericia (2), konstitueret vicedirektør (fra 1.12.1998),
vicedirektør (fra 19.3.1999)

Kai Sørensen (6), vicedirektør (fra 1/3-99)

ADMINISTRATION OG SERVICE:

Erik Stenestad (7), chefgeolog, direktionskonsulent

John Tychsen (ikke tilstede), sytemekspor konsulent (fra 1.8.1998)

Ole Bjørn Hansen (13), kontorchef, Sekretariatet

Arne Dinesen (5), chefgeolog, Fagligt direktionssekretariat

Henrik Klinge Pedersen (9), tegnestueleder

Sten Troelstrup (11), EDB-chef

FORSKNINGSAFDELINGER:

Richard Bradshaw (15), statsgeolog

Miljøhistorie og Klima

Niels Peter Christensen (8), statsgeolog

Reservoirgeologi

Flemming Getreuer Christiansen (ikke tilstede), statsgeolog
Stratigrafi

Johnny Fredericia (2), statsgeolog

Kvartær- og Maringeologi (til 30.11.1998)

Peter Gravesen (14), konstitueret statsgeolog

Kvartær- og Maringeologi (fra 1.12.1998))

Niels Henriksen (4), statsgeolog

Geologisk Kortlægning

F.N. Kristoffersen (3), databankchef

Geologisk Information og Datacenter

Bjarne Madsen (10), statsgeolog

Hydrologi og Glaciologi

Jens Jørgen Møller (17), konstitueret statsgeolog

Geofysik (fra 1.3.1999)

Aage Bach Sørensen (18), statsgeolog

Færøerne

Kai Sørensen (6), statsgeolog

Geofysik (til 28.2.1999)

Erik Thomsen (16), statsgeolog

Geokemi

Leif Thorning (12), statsgeolog

Malmgeologi





SPECIALARTIKLER

GEOLOGIEN DER BLEV VÆK

Peter Japsen

Før det Danmark vi kender i dag eksisterede, lå området begravet under et kilometertykt dæklag. Først da de norske fjelde rejste sig længe inden istiden, blev Danmark trukket med op, og dæklaget eroderet bort af floder og vandløb. Derfor trækker det 65 millioner år gamle Skrivekridt i dag sit hvide spor gennem det danske landskab.

Dette er en ny erkendelse om den danske undergrund. Ikke mange – heller ikke geologer – har spekuleret over, hvorfor de årmillioner gamle kalklag stikker frem i et bælte fra Ålborg til København og Møns Klint. Først i de seneste år har teorien om dyb erosion før Istiden vundet udbredt accept.

Fra Kridthav til Vesterhav

Vesterhavet er den sidste rest af det vældige Kridthav. Da dinosaurerne endnu dominerede på landjorden, dækkede Kridthavet hele det nordvestlige Europa, fra Den Botniske Bugt til Det Irske hav og fra Shetlandsøerne til det nordlige Frankrig. Der var langt til høje bjergområder,

og kun få floder førte ler og sand ud i havet, hvor dyre- og plantelivet var artsfattigt: Igen millioner af år var det så godt som udelukkende de mikroskopiske rester af kalkalger der blev aflejret på Kridthavets bund. I dag er dette kridtslam presset sammen til det Skrivekridt, der kendes mange steder i Nordvesteuropa, f.eks. fra 'the white cliffs of Dover' og fra Limfjorden og Limhamn – lokaliteter der begge har fået navn efter limsten/kalksten.

Men hvorfor er disse gamle kridtlag overhovedet synlige, når dannelsen af nye bjerge efter kridttiden må have ført til aflejring af tykke lag af sand og ler over hele området? Fordi landområderne i England, Norge, Sverige og Danmark siden er blevet tørlagt, da bevægelser i den dybe del af jordskorpen førte til landhævning lige præcis der, hvor gamle geologiske lag i dag stikker frem over havoverfladen! Derefter er kalkens dæklag blevet eroderet, så de gamle geologiske lag er blevet blotlagt. Derfor ses kridtlagene i Danmark og ved Dover.

Kridtklinter øst for Dieppe på den franske kanalkyst. Aflejringer fra det vældige kridthav, der dækkede hele det nordvestlige Europa fra Baltikum i øst til Det Irske Hav i vest og fra Shetlandsøerne i nord til det nordlige Frankrig i syd, kommer frem som et mere eller mindre sammenhængende hvidt bånd langs kanterne af det oprindelige hav; som langs randen af en kæmpemæssig skål.

Denne fremtrædelsesform er en følge af geologiske processer, der har virket gennem omtrent 65 millioner år: fjernelse af lagene oven på kridtet ved erosion og lodrette bevægelser (op/ned) af lagene i jordskorpen. Tilsvarende lag kan bl.a. ses på den engelske kanalkyst ved Dover og på Møns Klint.

Midt i Nordsøen er kridtlaget derimod stadigt begravet under tykke og fortsat voksende ler- og sandlag.

En af metoderne til at afdække disse længst passerede hændelser baserer sig på måling af ly-

dens hastighed i kalken. Når en måling af lydhastigheden i kalken sammenlignes med en standardkurve for hvordan lydhastighed i kalken stiger med dybden, får man en temmelig robust indikation for om kalken har været dybere begravet og i givet fald

omtrent hvor meget dybere. Da Skrivekridtet er utrolig ensartet og findes overalt i Nordsøregionen, er det let at få sammenlignelige data fra et stort område.



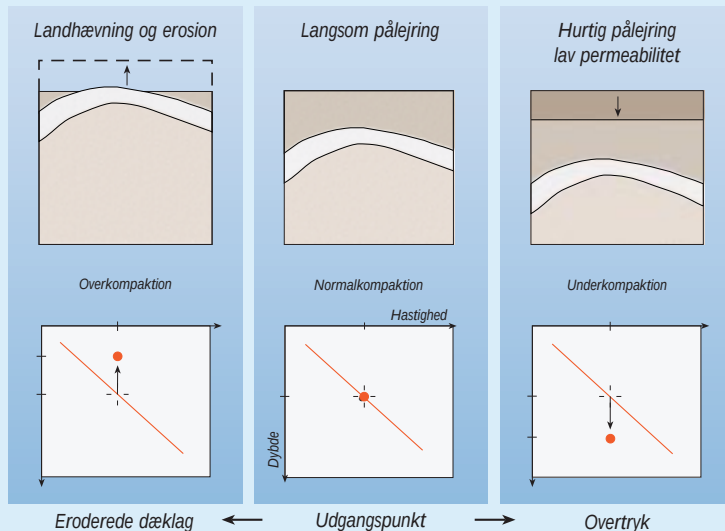
Fig.1 Sådan ser et snit gennem undergrunden ud i store dele af Danmark. Istidsaflejringerne ligger lige oven på de 65 millioner år gamle aflejringer fra Kridthavet. Har disse kridtlag altid ligget ved jordens overflade, eller er geologiske lag oven på Skrivekridtet fra de mellemliggende millioner af år blevet fjernet?

Lydhastigheden afslører om kalken har været dybere begravet

Når kridtslam, sand eller ler aflejres på havbunden, består det meste af sedimentet af det vand der udfylder hulrummet mellem de faste partikler – på samme måde som en badesvamp, der driver af vand. Hvis sedimentet begravet stadig dybere under vægten af nye aflejringer, bliver sedimentet trykket stadig tættere sammen mens vandet mellem kornene presses ud – fuldstændig som badesvampen, der presses i hånden. Jo dybere materialet bliver begravet, jo bedre kontakt bliver der mellem partiklerne. Den bedre kontakt betyder at lydbølger passerer sedimentet hurtigere. Høj lydhastighed passer derfor til stor dybde (det midterste diagram).

Finder man hårdt skrivekridt nær jordoverfladen kan forklaringen være, at skrivekridtet har været begravet under et tykt sedimentdække. Disse dæklag må være blevet borteoderet og genaflejret andetsteds. Påstanden om et fjernet dæklag over kalken baseret på lydmålinger kan dog kun accepteres, hvis der samtidig kan påvises en tilsvarende afbrydelse i de geologiske aflejringer. På Møns Klint og ved dens engelske søsterlokalitet, Dover, er kridtet relativt tæt, og begge steder mangler der aflejringer fra de seneste 65 millioner år oven på de hvide klinte. Konklusionen er derfor, at på begge sider af Nordsøen har tykke lag af ler og sand presset det underliggende kridt sammen for derefter at blive eroderet bort. Sammenlignes målinger af gennemsnitshastighed og dybde for skrivekridtet i en boring med en standardkurve, kan man bestemme lagets 'dybde-anomali', der er mål for hvor meget dybere laget kan have været begravet (diagrammet til venstre).

Midt i Nordsøen foregår der derimod en meget hurtig afsætning af nye sedimenter på havbunden. Derfor øges belastningen af skrivekridtet, men lagene er så tætte, at vandet i skrivekridtet ikke kan komme hurtigt nok ud. Lydhastigheden bliver derfor lav i forhold til dybden (diagram til højre).



Målinger af lydets hastighed i kalken i 850 olieboringer spredt over hele Nordsøområdet kan derfor bruges til at udpege de områder, hvor kalken har været dybere begravet.

Det samlede billede viser, at kalken ikke har været dybere begravet midt i Nordsøen, hvor den i dag ligger i kilometerdybde (fig. 2). Men nærmer man sig derimod randen af Nordsøen

mod øst eller mod vest viser målingerne, at kalken må have ligget dybere begravet end den gør i dag. Der hvor kalken kommer frem under istidsaflejringerne mangler der dæklag på en

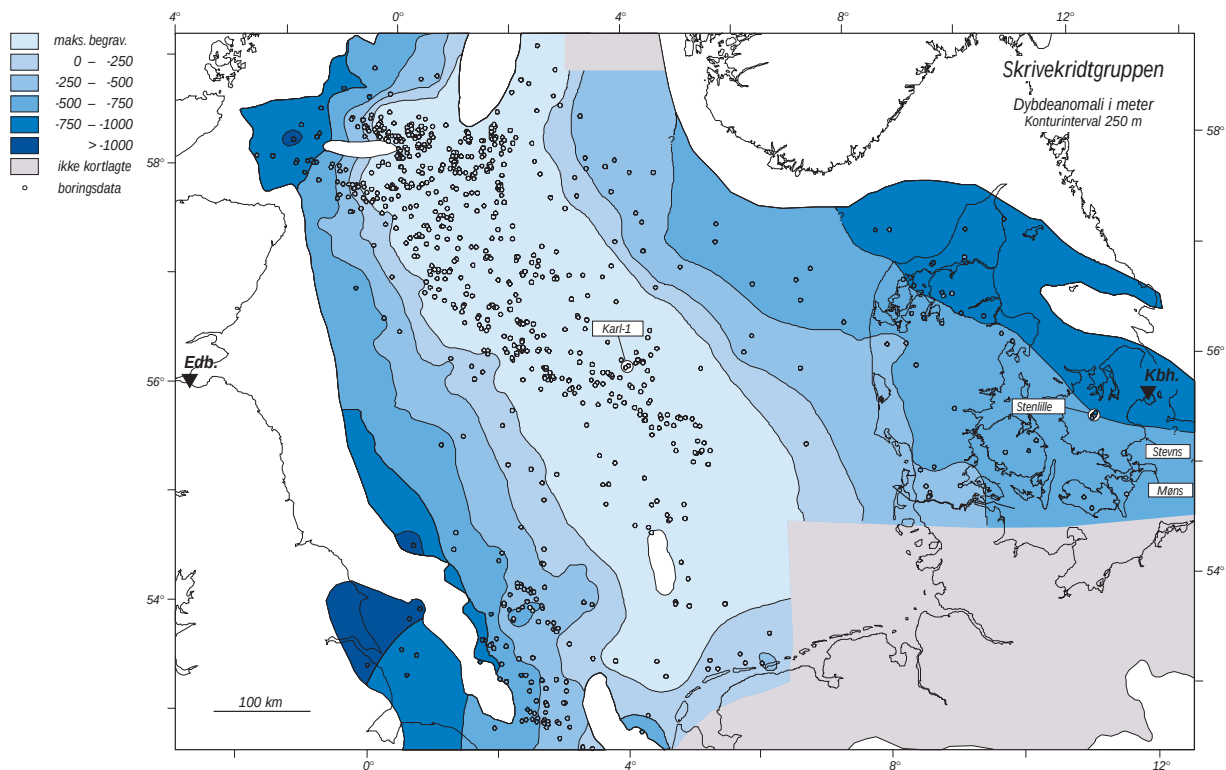


Fig.2 Tykkelse af borteroderede lag vurderet ud fra lydhastigheder i Skrivekridtet i 845 borer i Nordsøbassinet. Erosionen - eller dybdeanomalien - øges væk fra den centrale del af Nordsøen, og er op til ca. 1 km langs den nuværende grænse for Skrivekridtets udbredelse. Symmetrien i erosionsmønstret på tværs af Nordsøbassinet svarer til kortet over alderen af de prækvartære lag: jo større erosion jo større er den manglende lagserie under de kvartære aflejringer (se fig. 3). Det betyder at de geologiske lag må være blevet fjernet før de kvartære sedimenter blev aflejret, altså i den neogene periode, dvs. mellem 25 og 5 millioner år før vor tid. Dybdeprofilen i fig. 4 går fra 'Edb' til 'Kbh'.

halv til en hel kilometer. Og heldigvis passer observationerne: Jo tykkere lag der ser ud til at mangle ovenpå kalken, jo større hul er der i den geologiske lags-

erie – ligesom på Møns Klint hvor der mangler aflejringer fra ikke mindre end 65 millioner år (fig. 3). Derfor bliver konklusionen, at kalken må have været

begravet under et tykt dække af sand og ler langs randen af Nordsøbassinet. Og det gælder både for den britiske og for den skandinaviske side af Nordsøen.

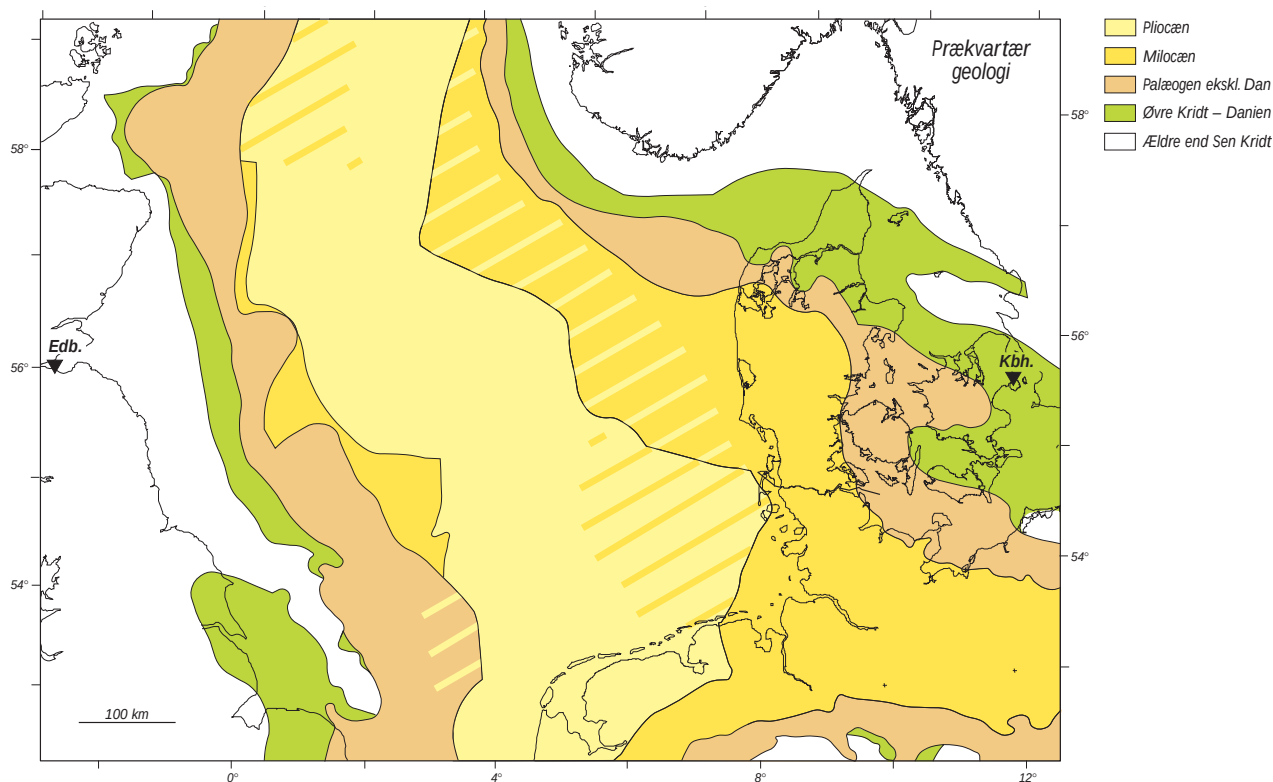


Fig.3 Alderen af lagene under istidsaflejringerne i Nordsøbassinet. Kun midt i Nordsøen findes de ca. 5 millioner år gamle lag af pliocæn alder, men jo længere mod øst eller vest man kommer, jo større bliver afbrydelsen i lagserien under det kvartære dække. Det 65 millioner år gamle Skrivekridt ligger lige ved jordoverfladen i Nordjylland, på Sjælland og i det sydøstlige England. Denne symmetri på tværs af Nordsøbassinet svarer til kortet over erosion i området (se fig. 2).

Der findes ingen norske fjelde

"Sporet" af Skrivekridtet, der stikker frem fra undergrunden ses langs begge sider af Nordsøen: Langs Skotlands og Englands østkyst på den ene side og på den anden side langs den norske kyst med et sving indover Limfjorden mod København, Limhamn og Møns Klint. Her er gamle geologiske lag blevet ført opad og deres dæklag blevet eroderet bort, så stadig ældre lag bliver synlige mod Nordsøens vestlige og østlige afgrænsning. Omvendt har kraftig indsunkning midt i Nordsøen og voldsom tilførsel af sedimenter ført til at skrivekridtet i olie-felterne Dan og Ekofisk ligger dybt begravet. Resultatet er en

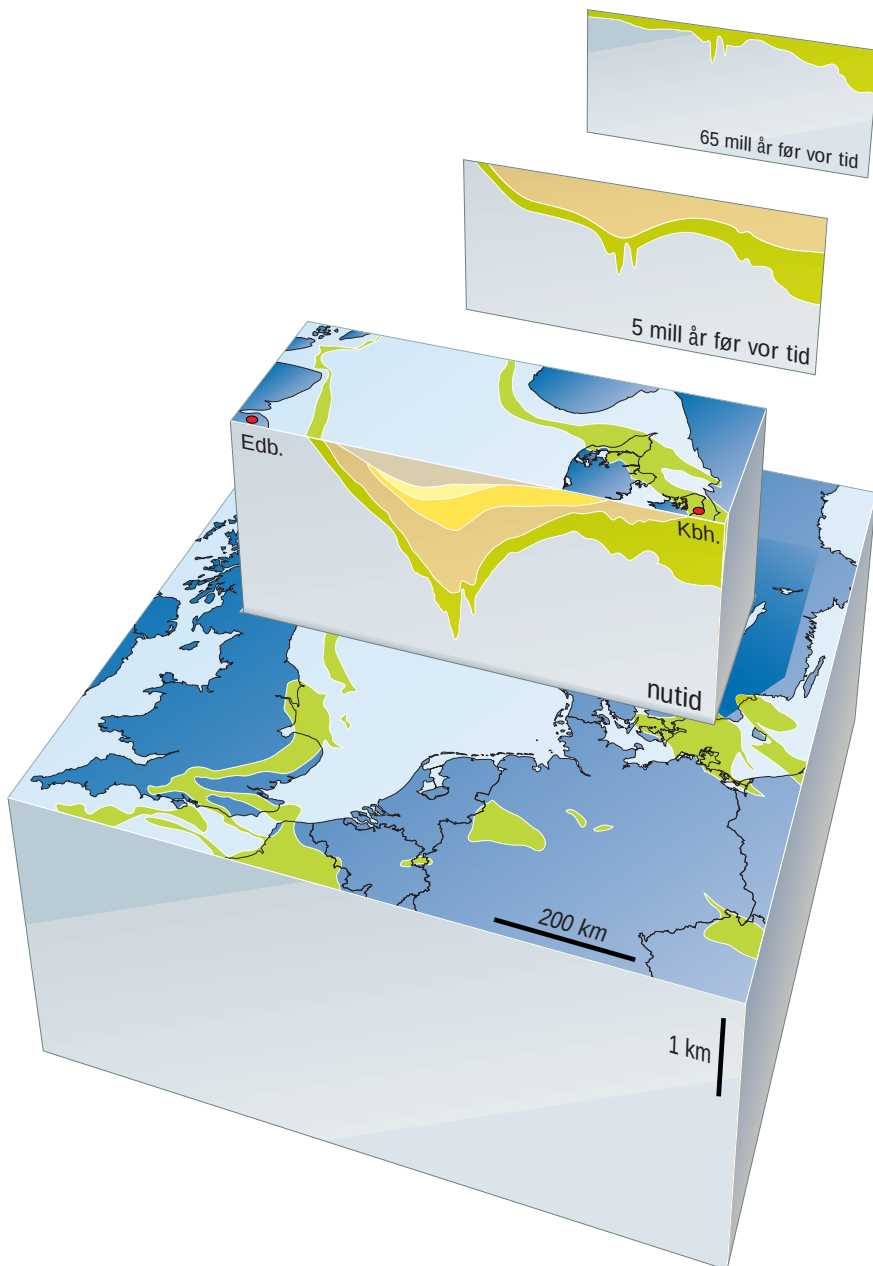
forskel i dybden til kalkoverfladen på over 3000 meter på tværs af Nordsøen. Og det til trods for at kalkoverfladen var vandret da Kridthavet dækkede området. Kalklaget ligger derfor som en rynke i et kæmpemæssigt gulvtæppe: Kalken er presset ned dér, hvor Nordsøen ligger som en "pyt" ovenpå kalkens kilometertykke dæklag (havdybden er kun 50 m), mens landhævning af undergrunden har medført at kalken er blevet borteroderet, der hvor grundfjeldet kommer til syne i Skandinavien og på De Britiske Øer.

Hvor langt kalktæppet har dækket mod øst og mod vest kan det være svært at afgøre, men sikkert over et større område end der, hvor det findes bevaret

i dag. Ja, måske helt ind over de norske fjelde – i dag er geologerne enige om, at så fladt var Norge ved slutningen af Kridttiden. Hele Skandinavien - og dermed også Danmark - er først blevet løftet op og formet efter Kridttiden. Det bjerglandskab der findes i Norge i dag er skåret ned i det flade landskab der eksisterede i Kridttiden. "Der findes ingen norske fjelde, kun norske dale!" kunne man sige for at sætte sagen på spidsen.

At de norske og skotske fjeldmasser er opstået i Tertiær tid, altså før istiden men efter Kridttiden, er ikke nogen ny teori. Faktisk blev denne overraskende tanke formuleret allerede omkring det sidste århundrede skifte.

Fig.4



For 65 millioner år siden: Et kilometer-tykt dække af Skrivekridt er blevet afsat under Kridthavet (selve havet er ikke vist). Store områder af Norge, Sverige og Storbritannien - og hele Danmark - ligger under Kridt-havets overflade.

For ca. 5 millioner år siden: Ler- og sandlag er blevet tilført af floder og havstrømme ovenpå Skrivekridtet. Derefter fortsætter indsynkning og udfyldning midt i Nordsøen, mens både det britiske og det skandinaviske område hæves. Her graver erosion nu dybt ned i dæklagene og yderst fjernes også selve kridtet.

Nutidigt profil tværs over Nordsøen: Kridt-laget ligger som bukket sammen langs en akse midt under Nordsøen (havet er ikke dybt nok til at blive vist). Midt i Nordsøen er kridtet begravet under 3 km ler og sand, mens det hvide kridt er blotlagt langs et spor ud for Storbritannien og ud for Skandinavien samt andre steder i Nordvesteuropa.

- Yngre end Pliocæn
- Pliocæn
- Miocæn
- Palæogen ekskl. Danien
- Øvre Kridt – Danien
- Ældre end Sen Kridt

Dengang var kendskabet til den dybe undergrund meget begrænset, og teorien blev formuleret ud fra studier af landskabsformer, og udfra den enkle iagttagelse at bjergområder nedbrydes hurtigt (i geologisk forstand), og at højtliggende områder som Hardangerviddens derfor må have været genstand for hævning i forholdsvis ny tid. Siden denne teori blev fremsat første gang er tilsvarende tolkninger blevet fremsat af adskillige geovidenskabsfolk. Men teorien om landhævning før Istiden er kun i ringe omfang gået i arv til den nye generation af geologer, der kastede sig over studiet af Nordsøens sedimenter efter de første oliefund i 1960'erne. Først da norske geologer fik skuffende resultater i olieefter-

forskningen i Barentshavet, og erkendte at dyb erosion var årsagen til at den forventede olie var forsvundet, fik teorien om landhævning sin renæssance. Den velkendte geologi udfor Norges vest- og sydkyst (og dermed Danmark) kunne nu ses i det nye lys af den gamle teori: når de geologiske lag er ældre og ældre ind mod det norske og svenske grundfjeld, kunne det forklares med et stadig dybere snit i en nu delvis forsvundet geologisk lagserie.

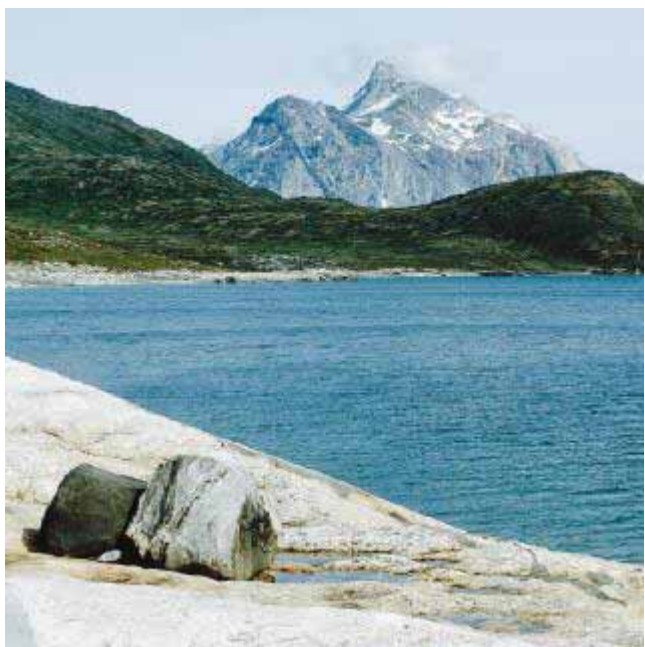
Denne forklaring har ikke kun akademisk interesse. De lag der blev fjernet fra randen af Nordsø-bassinet er nu aflejret oven på kalken midt i Nordsøen. Her pumpes millioner af tons olie op fra skrivekridtet i Dan og Eko-

fisk-felterne i to-tre kilometers dybde. Var kalken og de underliggende oledannende bjergarter ikke blevet presset ned af de nye aflejringer, var der ganske enkelt ikke blevet dannet olie i de mængder vi kender i dag.

Det er altså ikke kun kontinenternes vandrette drift hen over jordkloden, der bestemmer de geologiske lags udvikling. Også lodrette bevægelser spiller ind. Men i traditionel forstand handler geologi jo 'kun' om de lag der findes og kan beskrives. Derfor kan man godt komme til at overse den geologi der mangler, men som engang har været der og derfor stadig præger den jord vi lever på.

Fig.5 Billedet fra Hardangerviddens i det sydlige Norge i ca. 1200 meters højde. Denne højslette har sandsynligvis ligget nær havoverfladen efter kridttidens slutning. Læg mærke til de små bjergtoppe der hæver sig svagt over sletten. Fjeldmasserne må være blevet løftet op efter kridttiden, men inden kvartærtiden hvor gletchere og floder har skåret sig ned i landskabet - det vil sige i tertiærtiden og sandsynligvis i slutningen af denne epoke - da fjeldene ellers ville være langt mere nederoderede end de er. Denne teori om de norske fjeldes dannelse går tilbage til begyndelsen af dette århundrede. (Foto K. Bentzen, Biofoto)





NY FOKUS PÅ JORDENS ÆLDSTE BJERGARTER

Peter W. U. Appel

De ældste bjergarter på Jorden blev opdaget for knap 30 år siden i det centrale Vestgrønland (fig.1). I området omkring Nuuk påviste den newzealandske geolog Vic. McGregor, at en del af de gamle gnejser måtte være en en del ældre end resten af bjergarterne i området.

Efter nogle års feltarbejde fik McGregor overtalt Stephen Moorbath fra Oxford Universitet til at foretage en aldersbestemmelse på disse gnejser. Efter den første analyse var Stephen Moorbath overbevist om, at målingerne var forkerte. Så gamle bjergarter kunne man da

ikke finde; men det kunne man. Efter en række analyser af forskellige prøver indsamlet af McGregor, kunne resultatet offentliggøres, nemlig at de ældste gnejser var ca. 3660 millioner år gamle, eller noget over 200 millioner år ældre end de indtil da ældst kendte bjergarter fra Sydafrika.

På samme tidspunkt gennemførte Kryolitselskabet Øresund A/S flybårne geofysiske undersøgelser i området. Et af resultaterne var at selskabet fandt en meget stor jernmalmsforekomst på randen af indlandsisen i Isua området ca. 150 km nordøst for Nuuk. Det lykkedes i sommeren 1971 McGregor og Moorbath at få flyvejlighed op

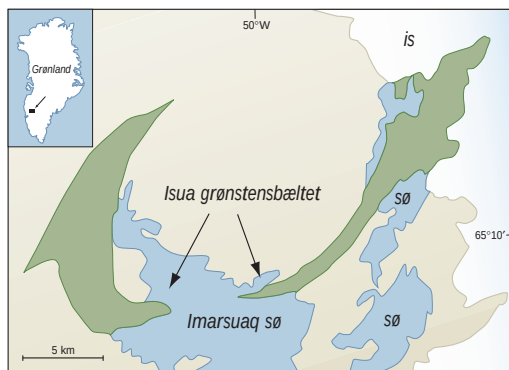


Fig. 1

Foto fra Bjørneøen i Godthåbsfjorden. I baggrunden ses fjeldet Qingaq, der stiger op til godt 1600 meter over havet. Fjeldet, der rummer meget lovende forekomster af guld, ligger på flyveruten fra Nuuk til Isua.



til Isua området, hvor de indsamlede prøver af jernmalmen. En aldersbestemmelse gav en alder på 3760 millioner år (Mor bath et al., 1973).

Med den alder var jernmalmen den ældste jernmalm på Jorden. En kort undersøgelse af de omkringliggende bjergarter viste, at de bestod af vulkanske bjergarter samt forskellige typer havaflejringer, altså bjergarter der kan fortælle os noget om jordskorpens overflade forhold samt måske noget om det ældste hav på vores planet.

Hvordan kan vi så sikkert sige, at Isua bjergarterne er de ældste overfladebjergarter på jorden? Er det ikke kun et spørgsmål om tid, inden videnskaben finder endnu ældre bjergarter? Nej det er ikke sandsynligt, at vi finder bjergarter dannet på jor-

*Fig.2 Isua jernmalmsbjerget på randen af indlandsisen.
Det lille billede viser den smukt båndede jernmalm.*

dens overflade, der er væsentligt ældre end Isua bjergarterne.

Da jordkloden blev dannet for ca. 4600 millioner år siden blev den fra starten udsat for et heftigt bombardement af meteorer. Der var så mange og så store meteornedslag, at et hvert tilløb til dannelse af en jordskorpe meget hurtigt blev ødelagt. Dette bombardement fortsatte frem til for ca. 3800 millioner år siden, eller frem til netop det tidspunkt hvor Isua bjergarterne blev dannet. Der vil derfor kun være ringe sandsynlighed for at finde rester af bjergarter dannet på jordoverfladen, der er skabt væsentligt før Isua bjergarterne.

Isua bjergarternes høje alder og det faktum, at de antagelig var de ældste aflejringer, der kan findes på jorden, bragte straks Isua frem på den geologiske verdensscene. Det resulterede i en strøm af forskere til området.

Første invasion af forskere

I 1970'erne gennemførte det daværende GGU (Grønlands Geologiske Undersøgelse) en recognosceringskortlægning af Isua bjergarterne, og dernæst kom der en stribe højt specialiserede forskere fra mange for-

skellige laboratorier rundt omkring i verden.

Hovedinteressen var at finde spor af liv, og der kom således bl.a. forskere inden for kulstof isotopkemi og organisk geokemi. Prøverne blev hurtigt undersøgt, men sensationen udeblev. Alle de organisk geokemiske undersøgelser viste spor af senere forurening, medens kulstofisotopforholdene var diskutabile. Det var tydeligt, at den senere deformation og metamorfose havde ændret kulstofisotopforholdene i bjergarterne. Side-løbende med invasionen af disse meget specialiserede forskere, gennemførtes en kortlægning af området. Resultaterne blev publicerede af A. P. Nutman i 1986.

I det næste ti år blev Isua nedprioriteret på den geologiske verdensscene. Der foregik dog stadig spredte geologiske undersøgelser i området. Undersøgelserne blev gennemført af små grupper fra Danmark, Australien og Japan. På baggrund af disse undersøgelser blev det efterhånden klart, at de tidligere systematiske undersøgelser trængte til at blive fulgt op og revideret. Der manglede også en del basale geologiske undersøgelser i området. Som eksem-

pel kan nævnes, at der ikke på noget tidspunkt har været gennemført systematiske sedimentologiske undersøgelser over større dele af området.

Næste invasion af forskere

I efteråret 1996 kom Isua så igen i mediernes søgelys. En gruppe forskere fra Californien offentliggjorde en artikel i det ansete tidsskrift Nature, hvori de påviste, at der med stor sandsynlighed var spor af liv i stenprøverne fra Isua (Mojzsis et al, 1996). Disse spor var godt 200 millioner år ældre end de indtil da ældste spor af liv fundet i Sydafrika.

Denne sensation satte for alvor fokus på Isua. Det var ikke kun forskere, der kunne se, at det var interessant at forske i de ældgamle sten. Emnet havde også direkte appeal til den brede offentlighed. Det lykkedes derfor at få rejst fondsmidler fra Statens Naturvidenskabelige Forskningsråd, fra Kommissionen for Videnskabelige Undersøgelser i Grønland samt fra det daværende Råstofkontor (nu Råstofdirektorat i Nuuk under Grønlands Hjemmestyre) til et mindre pilotprojekt i 1997 og dernæst et større forskningsprojekt Isua Multidisciplinary

Research Project (IMRP), der løber over tre år fra foråret 1998 til foråret 2001.

IMRP er sammensat af mange forskellige forskere fra mange egne af jorden (fig. 3). Det spænder fra strukturgeologi, isotopkemi, geokemi, metamorf petrologi til mikropalæontologi,

teoretisk biologi og astrofysik. Der er opbygget en mindre baselejr i Isua området med tre store permanente telte (fig. 4), der skal danne rammen om tre års feltarbejde

Hovedformålet med IMRP, er at finde ud af hvordan jordens overfladeforhold var for ca.

3800 millioner siden. Dette mål kan kun nås gennem en multidisciplinær undersøgelse af området, hvorved vi forhåbentligt bliver i stand til at "se tilbage" gennem de mange omdannelser i form af deformationer og metamorfoser, området har været ude for. Hvis det lykkes IMRP at finde ud af, hvordan jordens





Fig.3 Et udpluk af deltagerne i Isua projektet. Fra venstre til højre: Nathalie Grassineau; Royal Holloway University, der arbejder med svovlisotoper. Ali Polat; Max-Planck-Institut, Mainz der arbejder med basaltgeokemi. Stephen Moorbath; Oxford University, der arbejder med aldersbestemmelser. Mike Bickle; Cambridge University, der arbejder med sedimenternes geokemi. Hugh Rollinson; Cheltenham College, der arbejder med metamorf petrologi.



Fig.4 Baselejren i Isua

overfladeforhold var på dette meget tidlige tidspunkt af jordens historie, kan projektet bidrage med en brik til det puslespil der hedder: Hvordan opstod livet på vores planet?

I etableringsfasen af IMRP var der en del kritiske røster, der hovedsagelig gik på at Isua området, der ikke er mere end ca. 4 x 30 km stort, og som har været gennemtravet af talrige

geologer gennem mange år, næppe havde mange hemmeligheder tilbage. Det blev også anført, at området har gennemgået så meget siden dets dannelse i form af deformation og metamorfose, at man ikke kunne regne med at finde mange primære strukturer. Kritikerne fik heldigvis ikke ret.

De første resultater

Allerede efter første feltsæson under pilotprojektet blev det klart, at der stadig var mange svar at finde i Isua bjergarterne. Kortlægningen af en mindre del af området afslørede, at der var delområder, der ikke var nær så deformerede som området generelt, og i disse områder blev der fundet et væld af primære strukturer.

Blandt andet blev der fundet meget velbevarede pudelavaer (fig. 5). Pudelavaer bliver dannet når lava flyder ud under vand. Det sker for det meste i havet, hvor undersøiske vulkaner udspejler store mængder af lava, der ved mødet med det kolde havvand, størkner og danner pudeformede strukturer. Puderne består af en finkornet rand. Den er finkornet, fordi den er afkølet meget hurtigt ved kontakten med vand. Den indre del af puden er i begyndelsen fyldt med flydende lava. Denne lava

størkner langsomt og bliver derfor mere grovkornet end randen (fig. 5). Under afkølingen samler gasser fra lavaen sig inde i puderne i små hulrum. Efterhånden som tiden går siver gasserne ud, hvorefter havvandet begynder at cirkulere mellem puderne og ind i puderne gennem små og store sprækker. Havvandet cirkulerer også ind i de små hulrum, der tidligere var fyldt med gas, og her afsættes nu forskellige mineraler ofte kvarts og karbonat.



Fig. 5 Pudelava. Bemærk den mørke oprindelige finkornede rand omkring et lysere mere grovkornet indre.

På fig. 6 ses en ret speciel bjergart, som blev fundet i Isua området i 1997. Det er en såkaldt pudebreccie. Den består af pudelava, der er brudt op i kantede stykker. Pilen angiver en rest af en finkornet puderand. I de indre dele af pudefragmenterne ses de oprindelige gasfyldte hulrum nu udfyldt med kvarts. En af de mest exceptionelle ting ved denne pudebreccie er, at den kun er meget svagt deformet.

Fig. 7 er et nærbillede af et pudefragment, billedet viser, at en del af kvartsudfyldningerne er sorte.

I fig. 8 er vi kommet endnu tættere på. Det er et tyndslib af et pudefragment. Slibet er 30 μm tykt ($1\mu\text{m} = 1$ tusindedel af en millimeter) og gennemsigtigt for lys. De sorte kvartsudfyldninger fra fig. 7 ses her som lyse korn, og det utrolige er, at mikroskopiske undersøgelser viser at kvartskornene ikke er brudt i stykker (deformerede) efter deres dannelse for ca. 3800 millioner år siden.

Fig. 9 viser en stor forstørrelse af en kvartsudfyldning. Pilen viser en lille indeslutning i kvartsen.

Fig. 6 Pudebreccie. Den består af sønderbrudte pudelavaer. Pilen angiver den finkornede rand af en lavapude.

Fig. 7 Nærbillede af 6. Her ses et kantet fragment af en pude. Bemærk de talrige runde indeslutninger (vesikler) af kvarts, hvor en del af dem er sorte.

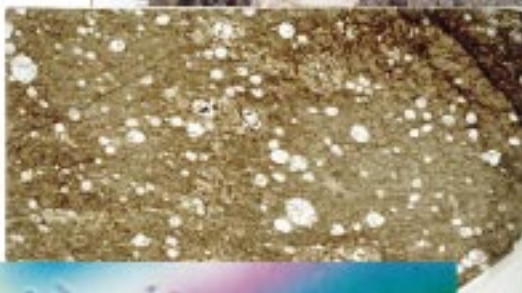
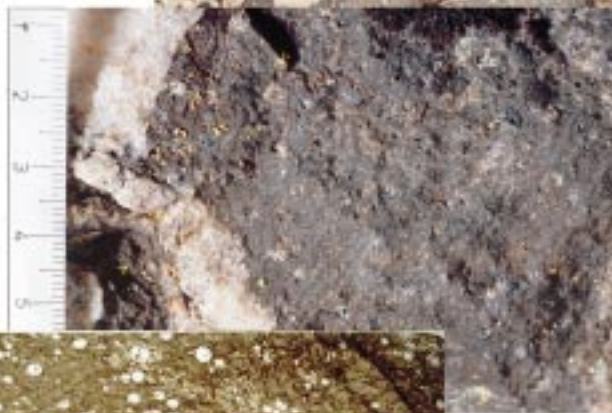
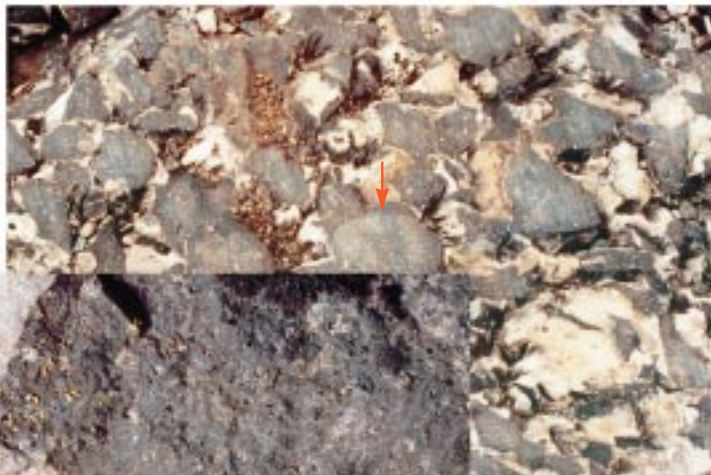


Fig. 8 Nærbillede af 7. De lyse runde partier er vesikler og de vesikler med kun et enkelt korn i, er dem der fremstår sorte på fig. 7.



Fig. 9 Nærbillede af 8. Pilen angiver en indeslutning med luftarten methan (Fot. Jacques Touret, Vrije Universiteit, Amsterdam).

I kvarts og også i mange andre mineraler ses ofte mange ganske små indeslutninger, der kan indeholde luftarter, vand og andre mineraler. Luftarterne og vandet i sådanne indeslutninger stammer ofte fra de opløsninger, hvorfra kvartsen blev udfældet.

De indeslutninger, vi finder i kvartskornene i pudebreccien, kan være rester af 3800 millioner gammelt havvand! De små indeslutninger bliver for tiden detaljeret undersøgt, og med en god portion held kan vi finde nok indesluttet vand til at få en analyse af det. Hvis det lykkes for os, kan vi muligvis få en forestilling om de tidligste oceaners sammensætning, og da livet efter al sandsynlighed opstod i havet, kan vi derigennem bidrage med en lille brik til forståelse af gåden omkring livets opståen.



Fig. 10 Konglomerat. Et konglomerat er en bjergart bestående af afrundede lyse sten i en finkornet oprindelig sandet eller leret grundmasse. Det viste konglomerat er afsat i vand, antageligt langs en kyst.

Undersøgelserne på Isua har også fastslået forekomsten af andre primære strukturer. Alle-rede for godt 25 år siden blev der fundet en bjergart bestående af runde kvartsrige sten indlejrede i en ret finkornet bjergart bestående af blandt andet kvarts og karbonat (fig. 10).

I de forgangne 25 år er denne bjergart blevet diskuteret. Er den et sediment aflejret i vand, eller er det en knusningsbjergart formet dybt nede i jordskorpen? Undersøgelserne foretaget indenfor IMRP har nu endegyldigt bevist, at bjergarten er

et sediment nærmere betegnet et konglomerat med velafrundede rullesten hovedsagelig kvarts, men også andre bjergartstyper, der ligger i en oprindelige lerholdig sandaflejring. Konglomeratet kan tænkes dannet f.eks. som en aflejring langs en kyst.

Hvilket overflade sceneri kan man forstille sig, vi har haft dengang Isua bjergarterne blev dannede? Først og fremmest har vi haft et hav, og op af dette hav har der stukket en række meget aktive vulkaner. I bugte og vige langs disse vulkaner har der

været små sandstrande med velafrundede rullesten. Under havet har det sydet og boblet. Der har været talrige vulkanudbrud, der har dannet pudelaver. Ligeledes har der været mange varme opløsninger af vulkansk oprindelse, der kom ud på havbunden. Disse opløsninger har indeholdt talrige metaller såsom jern, kobber, bly og zink.

Alt i alt ikke specielt "miljøvenlige" omgivelser set med nutidens øjne; men ikke desto mindre er det i denne "giftige" suppe, man må forestille sig, at livet på vores planet begyndte.

Referencer:

Mojzsis, S. J., Arrhenius, G., MvKeegan, K. D., Harrison, A. P. and Friend, C. R. L. 1996: Evidence for life on Earth before 3800 million years ago. *Nature* 384, 55-59.

Moorbath, S., O'Nions, R. K. and Pankhurst, R. J. 1973: Early Archaean age for the Isua Iron Formation, West Greenland. *Nature* 245, 138-9.

Nutman, A. P. 1986: The Early Archaean to Proterozoic history of the Isukasia area, southern West Greenland. *Grøn. Geol. Unders. Bull.*, 154, 80pp



SØ OG LAND

Relationer mellem arealanvendelse og søudvikling i et langtidsperspektiv

Peter Rasmussen og
Emily Bradshaw

I et kulturlandskab som det danske er miljøforandringer i vid udstrækning et resultat af menneskelige handlinger. Sådan er det i dag, og sådan har det været langt tilbage i historien: I Danmark hænger miljøhistorien nøje sammen med den kulturhistoriske udvikling. Paradoksalt nok har miljøets historie dog haft langt mindre bevågenhed end kulturens historie til trods for, at det netop er i spillet mellem menneske og natur, at det danske kulturlandskab er skabt og stadig skabes. Men hvorfor beskæftige sig med miljøets historie? Viden om miljøets historiske udvikling kan vel ikke give os et bedre miljø? Nej, næppe direkte, men den kan gøre os klogere, fordi vi kan få sat de nutidige tilstande i perspektiv.

Som følge af vor tids miljøproblemer er der, udover en øget grundvidenskabelig interesse for miljøets historiske udvikling, også opstået et forvaltnings-

mæssigt behov for viden om de tidligere (oprindelige) tilstande for en række af vore belastede naturtyper. En sådan viden kan bl.a. bidrage til forståelsen af de forhold, der har ledt frem til de nuværende miljøtilstande, og desuden kan der, i lyset af en historisk udvikling, bedre opstilles realistiske målsætninger for den fremtidige udvikling.

For hovedparten af de danske naturtyper findes der kun begrænsede og spredte oplysninger om deres historiske udvikling. Først inden for de sidste 20-25 år er der påbegyndt en systematisk overvågning og datindsamling vedrørende miljøtilstanden i udvalgte danske naturtyper. Skal denne begrænsede tidshorisont udvides, er geologien en central disciplin, idet tidsperspektivet lader sig udvide ganske betydeligt gennem undersøgelser af geologiske aflejringer ved hjælp af bl.a. palæoøkologiske metoder. I det følgende skal der gives et ek-



Glenstrup Sø syd for Hobro.

På steder, hvor der sker en stadig afsætning af nye aflejringer, som f.eks. i vore søer, kan man med geologiske metoder undersøge miljøforholdene tilbage i tid.

Søsedimenternes indhold af bl.a. plante- og dyrelevninger kan fortælle om tidsmæssige ændringer i såvel sø- som landmiljøet. Uden overdrivelse kan man sige, at vore søer rummer naturens eget "Rigsarkiv", når vi vil belyse det danske landskabs og de danske søers miljøhistoriske udvikling.

sempel på en sådan undersøgelse i form af de første resultater fra et igangværende studie af Dallund Sø på Fyn (fig. 1), hvor målet bl.a. er at belyse relationen mellem arealanvendelse og søudvikling i et 2000-årigt perspektiv. Undersøgelsen af Dallund Sø udføres sammen med to andre sølokaliteter (Langesø på Fyn og Tåstrup Sø ved Århus) i regi af centerdannelsen "Foranderlige Landskaber" under Det Strategiske Miljøforskningsprogram. I projektet samarbejder GEUS med Nationalmuseet og Syddansk og Aarhus Universiteter.



Fig.1 Luftfoto af Dallund Sø på Fyn set fra syd. Dallund Sø ligger på den nordfynske slette i et stærkt landbrugsudnyttet landskab. Umiddelbart nord for søen ligger Dallund Slot, hvis historie kan føres tilbage til midten af 1400-tallet. Søen måler ca. 610 x 310 m og har et areal på 15 ha, en middelvanddybde på 1,9 m, en max. dybde på 2,6 m og et oplandsareal på 1,46 km². Skoven som omkranser søen er første gang registreret på målebordsbladet i 1916. (Foto: J. Kofoed Winter)

Næringsstoffer i søer

Vandtilførslen til søerne sker hovedsagelig gennem overfladisk og dybere afstrømning fra det omkringliggende landområde; den menneskelige aktivitet i oplandet kan derfor have stor betydning for sammensætningen af søvandet.

Forhold som jordbund, topografi, hydrologi og nedbør spiller også en væsentlig rolle, men især de menneskelige aktiviteter er i dag hovedårsag til, at de fleste danske søer er i en dårlig miljøtilstand. Dette skyldes først og fremmest den menneskebetingede næringsstofberigelse (eutrofiering) af vandmiljøet med fosfor (P) og kvælstof (N). Næringsstofkilderne udgøres primært af diffuse udledninger fra landbrugsarealer og spredt bebyggelse samt af direkte spildevandsudledninger fra byer og industrivirksomheder. Under naturlige forhold vil mængden af næringssalte være begrænsende for væksten af planteplankton og andre planter i vandmiljøet, og der vil eksistere en balance mellem plante- og dyresamfundene. I forbindelse med den

menneskebetingede øgede tilførsel af især fosfor, sker der store og velkendte ændringer i søerne: Voldsom opblomstring af planteplankton med deraf følgende uklart vand og tilbagegang eller forsvinden af bundplanter, perioder med iltsvind nær bunden, tilbagegang blandt bunddyrene, tilfælde af fiskedød og ændret sedimentstruktur. Den øgede tilførsel af næringsalte bringer med andre ord søerne ud af deres økologiske balance og ind i en ofte selvforstærkende uheldig udvikling. Det selvforstærkende aspekt hænger sammen med en ophobning af fosfor i søernes bundsediment, hvorfra det efterhånden kan frigives til vandet, og derved fastholde søerne i en næringsbelastet tilstand selvom den eksterne tilførsel af fosfor reduceres (Jøppesen 1998).

Hovedkilden til fosforbelastningen af de danske søer er bidraget fra det åbne land, og her spiller arealernes anvendelse til marker, overdrev, skove m.v. en stor rolle: Feks. kan koncentrationen af fosfor i vand som strømmer fra dyrkede arealer, være op til 5 gange højere end i vand afstrømmet fra skov- og naturarealer. Der er således en nær sammenhæng mellem arealanvendelsen og næringsstofindholdet i vandet, og man taler i dag ligefrem om, at den menneskelige aktivitet i et område sætter sit "fingeraftryk" på det vand, som forlader området (Kronvang et al. 1997). Næringsstofbelastningen af de danske søer anses for at være af forholdsvis ny dato forbundet med især de sidste 100 års befolknings- og landbrugsmæssige udvikling. Men når alt kommer til alt ved vi forsvindende lidt om den historiske udvikling i søernes næringsstofniveau og sammenhængen med menneskets aktiviteter. På bunden af vore søer ligger der imidlertid et "arkiv" af data, som kan belyse dette.

Metoder til belysning af den langsigtede udvikling i arealanvendelse og sømiljø

En sø er et af naturens selvakkumulerende systemer, idet der til stadighed afsættes sediment på søbunden (fig. 2). I sedimentet indlejres i tidsmæssig rækkefølge bl.a. plante- og dyrerester fra både søen selv og dens omgivelser. Ved analyse af indholdet af plante- og dyrerester i en lagserie ned gennem en søbund er det muligt at få oplysninger om søens og omgivelsernes historiske udvikling. I nærværende undersøgelse af Dallund sø er der gjort brug af især to palæo-økologiske metoder: Pollenanalyse og diatoméanalyse.

● Pollenanalysen er en velkendt metode til belysning af hvilke planter der har vokset i et område. Forholdet mellem mængden af pollen fra træer og mængden af pollen fra urter afspejler i grove træk det relative forhold mellem skovland og åbent land. Desuden kan mængden af pollen fra kulturskabte vegetationstyper (kornmarker, græsgange m.v.) fortælle om arealanvendelsen til forskellige tider.

● Diatoméanalysen er ligeledes en veletableret palæoøkologisk metode. Ved at analysere søbundens indhold af diatoméer (kiselalger), kan naturforholdene i selve søerne belyses. I de seneste år er der gennem et internationalt samarbejde, med deltagelse af GEUS ved professor N. J. Anderson, udviklet en ny metode til på basis af indholdet af kiselalger i et givet søsediment, at beregne fosforkoncentrationen i søvandet på det tidspunkt sedimentet blev aflejret (Anderson et al. 1993; Anderson 1997; Bennion et al. 1996; Birks 1995). Metoden er udviklet på grundlag af analyser af kiselalgesammensætningen i det øverste nyaflejrede sediment i en lang række nordvesteuropæiske søer, hvor fosforkoncentrationen i søvandet samtidig er målt. Ud fra hyppigheden af forskellige kiselalgearter ved forskellig fosforkoncentration er der ved brug af statistiske metoder opstillet kvantitative sammenhænge mellem kiselalgearternes hyppighed og koncentrationen af fosfor i søvandet. Denne relation kan herefter anvendes til at rekonstruere den historiske udvikling

i fosforkoncentrationen ud fra analyser af kiselalgeindholdet ned gennem bundlagene i en sø.

I forbindelse med de nævnte sedimentundersøgelser er det afgørende at kende alderen på de undersøgte niveauer i lagserien. I projektet sker dette for sedimenter ældre end 150 år med AMS kulstof-14 datering af plantemateriale tilført fra land (som oftest frø og blade) udsorteret fra de samme borekerner, som analyseres for pollen og kiselalger. Kulstof-14 dateringerne udføres af AMS Laboratoriet på Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet. Lagserien inden for de sidste 150 år vil blive dateret ved hjælp af blyisotopen ^{210}Pb . Endvidere kan sodpartikler, som dannes ved afbrænding af fossilt brændsel, anvendes til at tidsfæste lagene fra dette århundrede.



Fig.2 GEUS' nye udstyr til optagning af sedimentkerner fra søbunde med henblik på miljøhistoriske undersøgelser. I Dallund Sø blev der optaget 22,5m sediment, som er aflejret på bunden af søen fra sidste istids afslutning og frem til i dag.

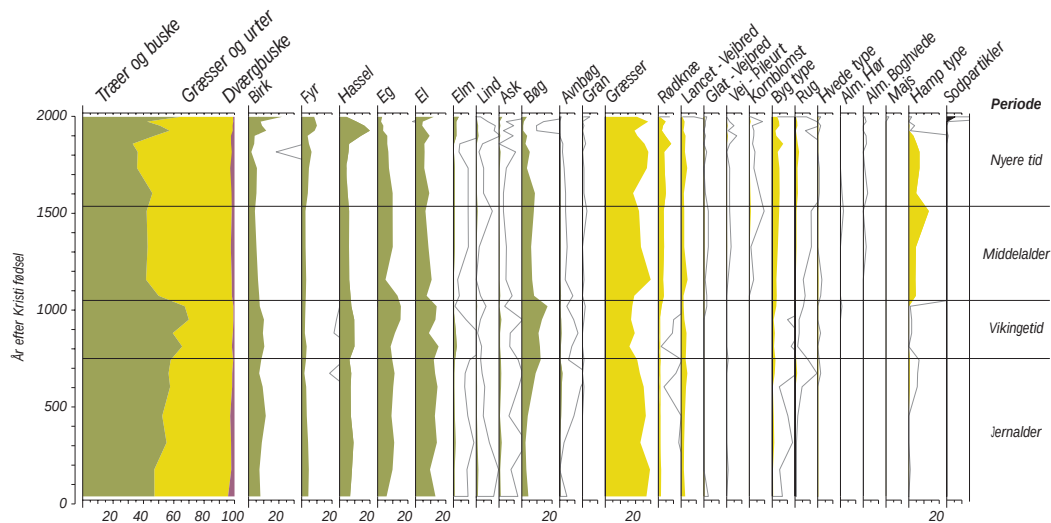


Fig.3 Pollendiagram fra Dallund Sø tegnet på en aldersskala. Yderst til venstre et oversigtsdiagram som viser det procentiske forhold mellem pollen fra grupperne: Træer og buske / græsser og urter / dværgbuske. Derefter følger de enkelte pollenkurver for udvalgte plantearter (og sodpartikler). Hyppigheden for de enkelte planter er beregnet i procent af pollen fra samtlige landplanter talt i hvert niveau (ca. 1000) ned gennem søbunden. De farvede kurver viser de enkelte planters procentuelle hyppighed, og for at lette aflæsningen for de mindre hyppige planter er desuden indtegnet procenten ganget med 10 (linier over de farvede kurver). Yderst til højre er angivet de kulturhistoriske perioder som diagrammet dækker.

Landskabsudvikling omkring Dallund Sø

I pollendiagrammet fra Dallund Sø kan vi aflæse udviklingen i områdets vegetationssammensætning og arealudnyttelse gennem de sidste ca. 2000 år (fig. 3). Diagrammet afspejler vegetationen indenfor et område

med en radius på ca. 5 km fra søen (det omtrentlige pollenkilodeområde), men dog således, at jo længere væk man kommer fra søen jo mindre bidrager den derværende vegetation til pollenindfaldet på søen.

Omkring Kristi fødsel har landskabet i Dallund-området været meget åbent. I diagrammet udgør mængden af træpollen på dette tidspunkt ca. 45%, hvilket ifølge de foreløbige resultater fra et igangværende forskningsprojekt på GEUS (Odgaard og Rasmussen 1999) svarer til, at

skove næppe har dækket mere end ca. 15% af arealet indenfor søens pollenkildeområde. De høje pollenværdier for Lancet-Vejbred, græsser og Rødknæ viser tilsammen, at græsgange har dækket meget store arealer, men forekomsten af pollen fra korn (Byg og Rug) dokumenterer desuden tilstedeværelsen af dyrkede marker. Diagrammets stigende træpollenprocenter fra Kristi fødsel og frem viser, at det skovbevoksede areal gradvist øges op gennem jernalderen. I 3. og igen i 7. århundrede tiltager mængden af kornpollen (Byg og Rug), og diagrammet afspejler hermed en større vægt på kornavl. Dette sammenfald mellem en øget dyrkning af korn og et ekspanderende skovareal tolkes ofte som en følge af ændrede driftsformer indenfor landbruget, gående mod et mere intensivt agerbrug på permanent dyrkede marker, hvorved tidligere ekstensivt udnyttede arealer har fået lov til at springe i skov (Hedeager 1988, 1990).

I vikingetid fortsætter skovtilgroningen på Dallund-egnen, og på dette tidspunkt har området haft det største skovdække inden for de sidste 2000 år. Diagrammets vidnesbyrd om skov-

ekspansion i vikingetid, viser, sammen med nedgangen i mængden af kornpollen, at den landbrugsmæssige udnyttelse af landskabet mindskes i forhold til tidligere.



Fig.4 Pollen af Alm. Boghvede fundet i sedimenter i Dallund Sø dateret til omkring år 1300. Pollenkornet måler 0,048 x 0,029 mm. (Foto: P. Rasmussen). Gennem historisk tid har Fyn været kendt for sin avl af boghvede, og fynboen er ofte af jydten blevet drillet med, at han holdt særlig meget af boghvedegrød: "Fynboen mimrer om munden, når han går forbi en boghvedemark". Boghveden kaldes da også "fynboernes mimrekorn".

I sen vikingetid/tidlig middelalder fældes der i løbet af godt 100 år store skovarealer indenfor pollenkildeområdet. Umiddelbart herefter, og hele middelalderen igennem, bliver landskabet intensivt udnyttet til såvel agerbrug som kvægavl. Specielt agerbruget intensiveres kraftigt, som det tydeligt kan aflæses i pollendiagrammets markante fremgang for korn (Rug og Byg). Den generelle stigning i mængden af kornpollen fra sen vikingetid/tidlig middelalder hænger givetvis også sammen med en øget vægt på dyrkning af Rug, som har en langt bedre pollenspredning end Byg. Endvidere indgår der i pollenkurven for Byg uden tvivl en del Rugpollen, idet krøllede pollen af Rug ikke kan bestemmes til art, og derfor pollenanalytisk henføres til Bygtype. Udover korndyrkning dokumenterer diagrammet dyrkning af Almindelig Hør og Alm. Boghvede (fig. 4). Også dyrkning af Hamp sætter ind i middelalderen. De meget høje værdier for Hampepollen afspejler dog ikke hampedyrkingen direkte, men derimod at Dallund Sø har været anvendt til rødning: Hele Hampplanter blev lagt ud i søen for at opløse stænglerne, så taverne kunne frigøres til forarbejdning til f.eks. reb og

sækkelærred. Fund af frø- og kapseldele af Hør i søsedimenterne viser, at også Hørplanter er lagt ud i søen til rødning på dette tidspunkt. Agerbrugets store betydning lige fra middelalderens begyndelse understreges af en hyppig forekomst af pollen fra markukrudt såsom Glat Vejbred, Vej-Pileurt og Kornblomst.

Op gennem nyere tid intensiveres landbrugsudnyttelsen af landskabet omkring Dallund Sø. I 1700- og 1800-årene udvides landbrugsarealerne på ny, og det skovdækkede areal var på dette tidspunkt det mindste inden for de sidste 2000 år. Specielt agerbruget optog store arealer, især til kornavl, men også til dyrkning af bl.a. Hør, Boghvede og Hamp. Af matrikelkortene fra omkring år 1800 fremgår det, at agerlandet udgjorde ikke mindre end 63% af arealet inden for søens pollenkildeområde. Set i en national sammenhæng er Dallundområdet på dette tidspunkt et typisk eksempel på den kulturhistoriske bygde-type der benævnes en ager- eller slettebygd, dvs. et område karakteriseret ved en frugtbar agerjord med høj opdykningsgrad og en ensidig satsning på kornavl (Møller og Porsmose 1997).

Næringsstofudvikling i Dallund Sø

På basis af det skiftende indhold af kiselalger i bundlagene i Dallund Sø er søvandets total-fosforkoncentration (TP) til forskellige tider beregnet. Som nævnt bygger beregningsmetoden på sammenhænge mellem den nutidige kiselalgesammensætning i en lang række søer og den målte totale fosforkoncentration i søernes vand. I et studie, hvor fosforkoncentrationen søges rekonstrueret 2000 år tilbage i tid, vil metoden uvægerligt have visse begrænsninger. Ikke alle kiselalgearter fundet i bundlagene i Dallund Sø indgår f.eks. i det moderne datasæt som beregningsmetoden bygger på. Dette gælder både den danske del af datasættet (27 søer) og det samlede nordvesteuropæiske datasæt (152 søer). Der arbejdes derfor løbende på, at finde moderne analoger til såvel de enkelte subfossile kiselalgearter som til de subfossile kiselalgesamfund som helhed. Jo flere af de subfossile kiselalgearter og -samfund der er med i det moderne datasæt, jo sikrere bliver de beregnede fosforværdier tilbage i tid. Koncentrationen af fosfor i søvandet kan også tilbage i tid have været afhængig af fosforfri-

givelse fra søernes bundsedi-ment; denne interne fosforpulje i bundsedimentet er for en stor dels vedkommende et resultat af tilførsel fra det omgivende land, og afspejler således også ændringer i næringsstoffabet fra det omgivende landområde. Fosforfrigivelsen fra bundsedi-menterne ser dog ud til at være af begrænset omfang i perioder med en høj ekstern tilførsel af fosfor.

I fig. 5 er vist de beregnede fosforværdier i Dallund Sø på basis af henholdsvis det samlede nordvesteuropæiske- og det danske datasæt. Beregningerne på grundlag af det samlede nordvesteuropæiske datasæt må anses for at give de mest sikre resultater, idet der her indgår flest kiselalgearter og -samfund.

Op gennem jernalderen er søens kiselalgesamfund domineret af især bundlevende arter (primært store former), forskellige *Fragilaria*-arter og arten *Cyclotella radiosa*, der lever i de frie vandmasser. Den store mængde af bundlevende arter tyder på, at søen i dette tidsrum har haft en forholdsvis lav vandstand. Fra Kristi fødsel og frem stiger den beregnede fosforkoncentration, fra 71 µg/l (mikro-

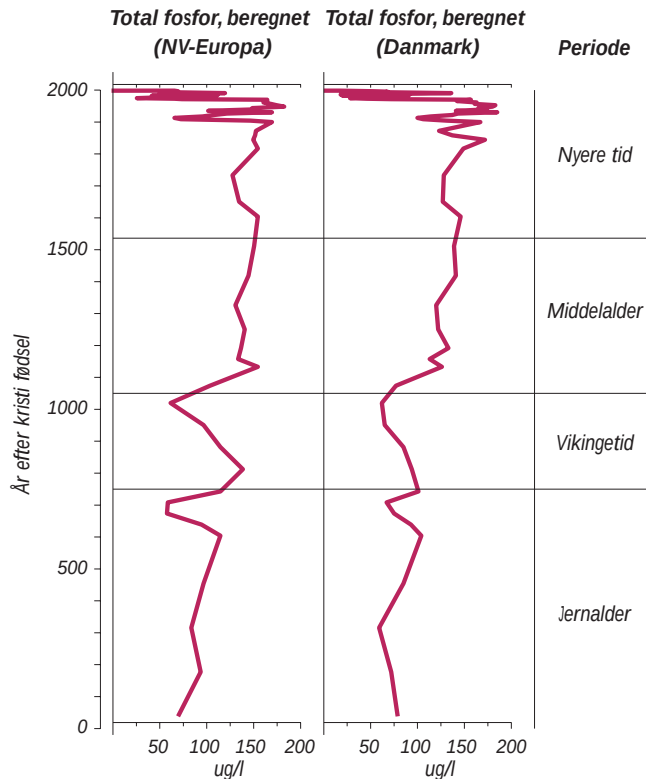


Fig.5 Udviklingen i søvandets total fosforkoncentration i Dallund Sø beregnet på basis af henholdsvis det nordvesteuropæiske og det danske datasæt.

gram pr. liter) omkring Kristi fødsel til 116 µg/l omkring år 600. I midten af 600-tallet øges mængden af arten *Cyclotella cf. unipunctata*. Den øgede hyppighed af denne art falder sammen med faldet i den beregnede fosforkoncentration på dette tidspunkt, og arten anses da også

for at trives bedst under mindre næringsrige forhold end mange af de andre planktoniske arter, som findes i søens bundlag. I den sidste del af jernalderen stiger koncentrationen af fosfor igen, og den når i begyndelsen af vikingetid op på 140 µg/l. I løbet af vikingetiden ænd-

res kiselalgefloraen på ny, fra et *Fragilaria*-domineret til et *Cyclotella*-domineret samfund. Dette fører til et jævnt fald i den beregnede fosforkoncentration, som ved vikingetidens slutning når ned på 63 µg/l.



Fig.6 Scanning elektron billede af kiselalgen *Cyclotella dubius*. Denne planktoniske kiselalgeart er i dag almindelig i mange næringsrige danske søer. Arten forekommer hyppigt i Dallund Sø i bundsedynter fra middelalder og nyere tid. Kiselalgen har en diameter på ca. 0,015 mm. (Foto: N.J. Anderson).

Ved middelalderens begyndelse afspejler kiselalgefloraen en pludselig stigning i fosforkoncentrationen i søvandet. Den relative hyppighed af arterne *Stephanodiscus parvus* og *Cyclotella dubius* (fig. 6) tiltager markant på dette tidspunkt. Begge arter beskrives i dag ofte som "eutrofi-indikatorer". Den beregnede fosforkoncentration kommer i tidlig middelalder op på 156 $\mu\text{g/l}$, og koncentrationen ligger herefter næsten konstant gennem resten af middelalderen og det meste af nyere tid. I slutningen af 1800'erne/begyndelsen af 1900'erne sker der et pludseligt fald i den beregnede fosforkoncentration. Efterfølgende stiger koncentrationen og ligger i en årrække på høje værdier ($> 150 \mu\text{g/l}$). Helt op mod nutid sker der igen et brat fald i fosforkoncentratio-

nen. Da kronologien for den yngste del af søens lagserie endnu ikke er fastlagt i detaljer, kan de pludselige ændringer i søens fosforkoncentration kun vanskeligt sættes i relation til kendte udviklinger i søens belastning. Det seneste fald i fosforniveauet hænger dog for en dels vedkommende antagelig sammen med, at udledningen af spildevand til søen fra Dallund Slot blev stoppet i 1970 (Fyns Amt 1995). De seneste års målte fosforkoncentrationer i søen stemmer godt overens med de beregnede koncentrationer: F. eks. målte Fyns Amt i 1998 total-fosforkoncentrationen til 66 $\mu\text{g/l}$ (årgennemsnit); den beregnede koncentration på basis af kiselalgeindholdet i den øverste centimeter af søens bundsediment, udtaget i 1998, var 67 $\mu\text{g/l}$.

Arealanvendelse og næringsstoffab

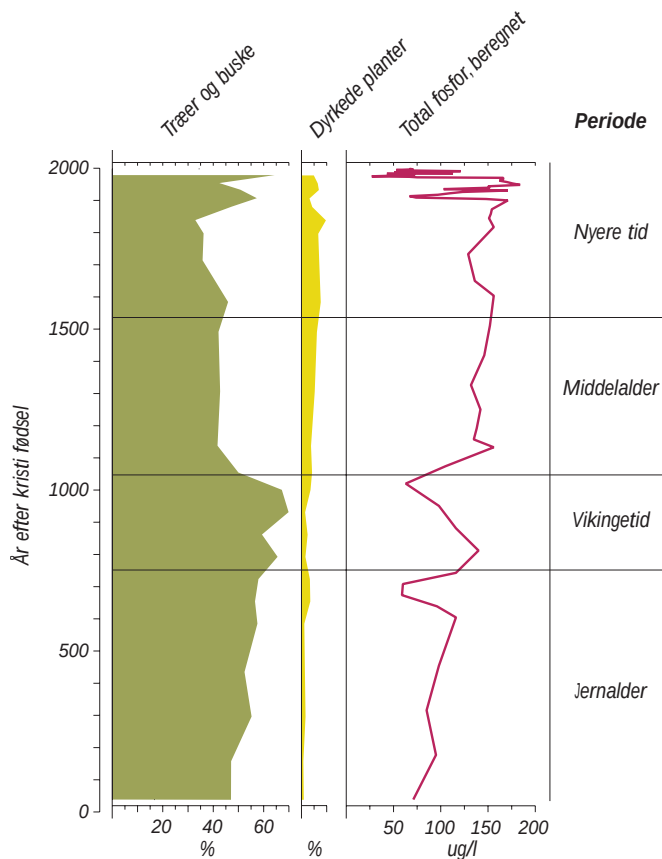
Overordnet viser de palæoekologiske data, at landskabet i Dallund-området og fosforkoncentrationen i søen har gennemgået store ændringer i løbet af de sidste 2000 år. Det er endvidere klart, at de skiftende landbrugsaktiviteter gennem dette lange tidsrum har påvirket tabet af næringsstoffer til søen. Fra undersøgelser i nutidens landskab ved vi, at tabet af næringsstoffer er styret af mange forskellige faktorer. En meget betydende faktor er som nævnt omfanget af de dyrkede arealer, idet en bar jordbund i modsætning til en vedvarende plantedækket jordbund - alt andet lige - vil føre til en større vand- og vinderosion af fosforrige jordpartikler til vandmiljøet. Men også markernes topografiske

beliggenhed og afstanden til en sø eller et vandløb er afgørende for fosfortabet: Jo stejlere en markoverflade og jo tættere den ligger på vandmiljøet jo større vil fosfortabet være (Rebsdorf et al. 1994; Schjønning et al. 1995; Tunney et al. 1997).

Da det ud fra de pollen-analytiske data ikke er muligt at sige hvor markerne, græsgangene, skovene m. v. præcist har ligget i forhold til søen, vil det undertiden være vanskeligt at identificere den præcise årsagssammenhæng mellem arealanvendelsen i søens omgivelser og næringsstofniveauet i søen.

På grundlag af de palæoekologiske data er der i fig. 7 givet en oversigtlig sammenstilling af udviklingen i Dallund-områdets relative skovareal (~ pollenkurven for træer og buske), relative markareal (~ pollenkurven for dyrkede planter) og den beregnede fosforkoncentration i søen.

Arealudnyttelsen omkring Kristi fødsel i form af store græsgange og forholdsvis begrænsede markarealer har næppe haft nogen stor effekt på søens næringsstofniveau, idet



Figur 7: Sammenstilling af pollendiagrammets sumkurver for træer & buske og dyrkede planter med den beregnede total-fosforkoncentration.

størstedelen af de åbne arealer har været permanent plantedækkede. Samtidig med at markarealet udvides op gennem jernalderen øges fosforniveauet. Den betydelige stigning i mængden af pollen fra dyrkede planter i løbet af 600- og 700-årene modsvares ikke af en øget fosforkoncentration i søen, tværtimod. I løbet af ca. 100 år falder koncentrationen fra 116 til ca. 60 µg/l. Denne uoverensstemmelse mellem de pollenanalytiske arealdata og den beregnede fosforkoncentration kan hænge sammen med, at markerne på dette tidspunkt var placeret længere væk fra søen end tidligere.

Frem mod og ind i begyndelsen af vikingetid sker der på ny en stigning i søens fosforniveau. I løbet af vikingetid aftager den landbrugsmæssige udnyttelse af området og det skovbevoksede areal øges. Denne ændring i arealanvendelsen modsvares af et fald i søens fosforkoncentration, der omkring år 1000 når ned på ca. 60 µg/l.

De betydelige skovrydninger i Dallund-området ved overgangen mellem vikingetid og middelalder, og den følgende kraftige ekspansion af især korn dyrk-

ningsarealet, har en meget tydelig effekt på søen: I løbet af de ca. 100 år hvor agerdyrkningen intensiveres stiger fosforkoncentrationen i søen med omkring 100 µg/l. Tidspunktet for disse markante ændringer i landskabet og søen falder sammen med begyndelsen af det historikerne benævner "Middelalderens landbrugsrevolution", hvor bl.a. hjulploven med muldfjæld og de højryggede agre introduceres i Danmark. Med den nye plovtype kunne langt større arealer opdyrkes, og desuden betød muldfjælden, at det nu var muligt at vende jorden og pløje gødning ned. Ved dyrkning på højryggede agre blev jorden overfladedrænet, idet der ofte var en halv meter mellem den dyrkede agerryg og dens rener (render) (Porsmose 1999). Såvel de større markarealer som overfladedræningen af disse må generelt have ført til et øget tab af fosfor til vandmiljøet, og det er givetvis dette vi ser afspejlet i Dallund Sø fra middelalderens begyndelse. Brugen af søen til rødning af Hamp og Hør har formentlig også ført til en vis næringsberigelse.

Op gennem middelalder og nyere tid fortsætter den intensive landbrugsudnyttelse af området med hovedvægten på kornavl. Den vedvarende og høje udnyttelsesgrad af landskabet genspejles i søens fosforværdier, der fra omkring år 1100 og frem til begyndelsen af 1900-tallet ligger på et højt og nogenlunde konstant niveau (mellem 130 og 170 µg/l). 1400-årenes svage stigning i søens fosforniveau kan evt. hænge sammen med anlæggelsen af Dallund Slot, og den dermed forbundne udledning af spildevand til søen.

Indenfor de sidste 2000 år findes de højeste fosforkoncentrationer i søen i vort århundrede. Dette er næppe overraskende, mere overraskende er det derimod, at fosforniveauet i tidlig middelalder var mere end dobbelt så højt som i 1998. De palæoekologiske data peger på, at denne forskel mellem i dag og for 900 år siden, tillige med de øvrige variationer i søens fosforniveau gennem de sidste 2000 år, i vid udstrækning har været styret af menneskets aktiviteter i søens omgivelser.

Naturen i et menneskeskabt landskab

I vor tids strategier for miljøets tilstand opstilles undertiden begrebet "naturtilstand" som et miljømål for bl.a. vore søer (Miljø- og Energiministeriet 1998). Etableringen af en naturtilstand er et besnærende mål, men hvornår har naturen egentlig været i en naturlig tilstand? Med hensyn til søerne kan man ofte få svar som: Den tilstand søerne var i før 2. Verdenskrig, tilstanden før industrialiseringen eller hvis munden tages fuld, den tilstand søerne henlå i før Landboreformerne for 200 år siden. Med undersøgelsen i Dallund Sø er det første gang vi får belyst langtidsudviklingen i fosforkoncentrationen i en dansk sø. Resultaterne af undersøgelsen rokker ved vore almindelige forestillinger om søernes udvikling. For det første viser resultaterne, at det tidsperspektiv vi normalt opererer med er alt for begrænset, når vi vil belyse søernes natur- eller baggrundstilstand. For det andet viser undersøgelsen, at Dallund Sø siden Kristi fødsel har gennemgået mange forskellige tilstande og at ingen af disse kan betegnes som en naturtilstand i streng forstand. - Søen har ikke ligget som et stykke isoleret natur i det

omskeftelige kulturlandskab: De skiftende menneskelige aktiviteter i søens omgivelser har til stadighed sat deres tydelige præg på søens miljø. På denne baggrund kan man derfor med rette spørge om vi i de moderne landskaber, som ændres med hidtil uset hastighed kan forventes stabile sømiljøer.

Referenceliste

Anderson, N.J. 1997: Reconstructing historical phosphorous concentrations in rural lakes using diatom models. In: H. Tunney, O.T. Carton, P.C. Brookes & A.E. Johnston (eds.), *Phosphorous Loss from Soil to Water*. CAB International, 95-118.

Anderson, N.J., Rippey, B. & Gibson, C.E. 1993: A comparison of sedimentary and diatom-inferred phosphorus profiles: implications for defining pre-disturbance nutrient conditions. *Hydrobiologia* 253, 357-366.

Bennion, H., Juggins, S. & Anderson, N.J. 1996: Predicting epilimnetic phosphorus concentrations using an improved diatom-based transfer function and its application to lake eutrophication management. *Environmental Science and Technology* 30, 2004-2007.

Birks, H.J.B. 1995: Quantitative palaeoenvironmental reconstructions. In: D. Maddy & J. Brew (eds.), *Statistical modelling of Quaternary Research Data*, Cambridge, Technical Guide 5, Quaternary Research Association, 161-254.

Fyns Amt 1995: Dallund Sø. Beskrivelse af søen og dens opland. Internt notat.

Hedeager, L. 1988: Jernalderen. I: C. Bjørn, (red.), *Det danske landbrugs historie I*, 109-203. Odense.

Hedeager, L. 1990: Danmarks jernalder. Mellem stamme og stat. Aarhus Universitetsforl., 430 pp.

Jeppesen, E. 1998: *The Ecology of Shallow Lakes - Trophic Interactions in the Pelagial*. Doctor's Dissertation (DSc). National Environmental Research Institute, Silkeborg, Danmark. NERI Technical Report No. 247. 420 pp.

Kronvang, B., Svendsen, L.M., Jensen, J.P. & Døge, J. 1997: *Næringsstoffer - arealanvendelse og naturgenopretning*. Danmarks Miljøundersøgelser. TEMA-rapport fra DMU, 13. 38 pp.

Miljø- og Energiministeriet 1998: *Natur og Miljø 1997 - udvalgte indikatorer*. 52 pp.

Møller, P.G. og Porsmose, E. 1997: *Kulturhistorisk inddeling af landskabet. Miljø- og Energiministeriet, Skov- og Naturstyrelsen*. 82 pp.

Odgaard, B. og Rasmussen, P. 1999: Kan (for)historisk arealanvendelse rekonstrueres kvantitativt? I tryk.

Porsmose, E. 1999: Landsbyens verden. I: P. Ingeman, U. Kjær, P.K. Madsen & J. Vellev (red.), *Midtaldernes Danmark. Kultur og samfund fra troskifte til reformation*, 170-187.

Rebsdorf, Aa., Friberg, N., Hoffmann, C.C. & Kronvang, B. 1994: *Ånære arealers samspil med vandløb*. Miljørapport nr. 275, Miljøstyrelsen. 140 pp.

Schjøning, P., Sibbesen, R., Hansen, A.C., Hasholt, B., Heidmann, T., Madsen, M.B. & Nielsen, J.D. 1995: *Overfladeafstrømning, vanderosion og tab af fosfor fra to landbrugsjorde i Danmark*. SP rapport no. 14, Statens Planteavlsvforsøg. 196 pp.

Tunney, H., Carton, O.T., Brookes, P.C. & Johnston, A.E. (eds.) 1997: *Phosphorus loss from Soil to Water*. CAB International.



Merete Binderup

I Øresund, midt mellem storbyerne København og Malmø, finder vi øen Saltholm, der med sine særprægede, næsten uberørte kyster, vidtstrakte grønne strandenge og rige fugleliv giver indtryk af en "oprindelig natur", som man efterhånden kun sjældent møder i Danmark.

Øen er lidet tilgængelig for offentligheden, i kraft af begrænsede transportmuligheder og omfattende fredninger med dertil hørende adgangsrestriktioner. Men Saltholm er kendt fra medierne, hvor øen har været i fokus i flere omgange i debatten om, hvorvidt en stor lufthavn skulle anlægges på øen. I de seneste årtier er forbindelse med planerne om at etablere en fast forbindelse mellem Danmark og Sverige, hvor debatten primært har drejet sig om at opretholde en uændret vandgennemstrømning i Øresund, og om forbindelsens eventuelle påvirkning af Saltholms dyreliv.

73

Fokus har også været rettet mod eventuelle konsekvenser for kystudviklingen på Saltholm og på andre naturskønne og forholdsvis uberørte kyststrækninger i umiddelbar nærhed af forbindelsen. Her tænkes specielt på "Sydstranden", sydvest for Dragør, og i Sverige på kysten mellem Lernacken og Klagshamn.

På disse strækninger, og på de tilstødende "storbykyster" har GEUS i perioden 1996 – 1998 gennemført en overvågning af kysterne og det kystnære marine miljø som en del af myndighedernes vurdering af de miljømæssige konsekvenser af byggerierne af den faste forbindelse over Øresund. Med det formål at skaffe viden om den hidtidige kystudvikling i regionen, dvs. i perioden forud for opstarten af anlægsaktiviteterne, har GEUS desuden gennemført en "Basisundersøgelse" af den generelle kystudvikling i perioden 1954 til 1993. Undersøgelsen er primært baseret på analyser af flyfotos.

Denne artikel giver et rids af byggeriets omfang, af kystens udformning, og af de metoder, der er anvendt i kystovervågningen. Endelig præsenteres nogle

af de væsentligste resultater af undersøgelserne.

Den faste forbindelse

Aftalen om at bygge den faste forbindelse over Øresund blev godkendt af det danske Folketing og den svenske Riksdag i 1991. Anlægsarbejdet på forbindelsen gik i gang i 1995, og den ventes færdig i år 2000. Forbindelsen omfatter:

- En kunstig halvø, der strækker sig 430 m ud fra kysten ved Kastrup.

- En sænketunnel (3.510 m) mellem den kunstige halvø og en kunstig ø (Peberholm).

- En kunstig ø, Peberholm (4.055 m) syd for Saltholm.

- En bro (7.845 m) mellem Peberholm og Lernacken i Sverige.

- En samlet strækning på ca. 15.840 meter.

Etableringen af anlægget har betydet, at omkring 7 mio. m³ materiale måtte graves væk fra

havbunden for at skabe plads til sænketunnel og bropiller og for at sikre en uændret vandgenemstrømning i Øresund. Det afgravede materiale er anvendt til at bygge den kunstige halvø og Peberholm.

Der er således tale om ret væsentlige ændringer af det fysiske miljø, dels i det eksisterende kystlinjeforløb, især ved den kunstige halvø, dels ved skabelsen af en række "forhindringer", specielt den kunstige ø, men også ved alle bropillerne. Endelig er der ved kompensationsafgravningerne sket ændringer af havbundstopografien.

Det er indlysende, at så markante ændringer har konsekvenser for miljøet: Det kan fx ikke helt undgås, at noget af det afgravede materiale spildes og påvirker vandkvalitet, fauna, flora og havbundstopografi. Desuden må det forventes, at de nye anlæg og den ændrede bundtopografi påvirker bølge- og strømforholdene, og i kraft heraf også kysterne og den kystnære del af havbunden.

I følge lovgivningen vedrørende den faste forbindelse er myndighederne da også forpligtet til at opstille en række miljøkriterier

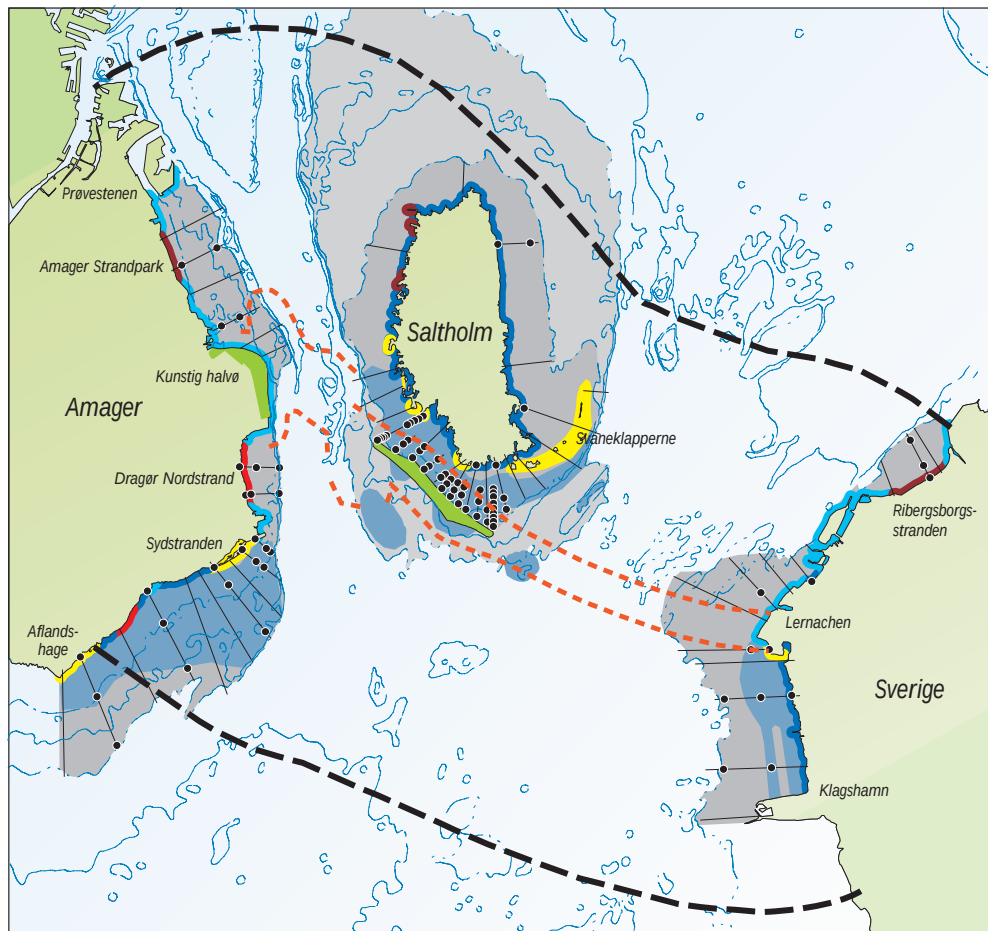


Fig. 1

Undersøgelsesområde med profil-målinger, sedimentprøveindsamling og flyfototolkninger

Undersøgelsesområde, der udelukkende analyseres vha. flyfotos

Profil

- Position for prøveindsamling

Nærområde: en 500 meter bred zone på hver side af den faste forbindelse

Påvirkningsområde: en 7 km bred zone på hver side af nærområdet

Område med opfyldning (den kunstige halvø og Peberholm)

Sanddækket havbund med aktive bundformer

Reguleret kyst, sandstrand der fodres (Amager og Sverige)
Mindre havne- og broanlæg (Saltholm)

Bebygget, befæstet kyst

Naturlig, ikke særlig aktiv kyst

Aktiv, naturlig kyst

Digekyst

for Øresund og Østersøen. For at sikre, at miljøkriterierne opfyldes under og efter byggeriets opførelse, er der forud for anlægsarbejdernes påbegyndelse opstillet et kontrol- og overvågningsprogram, som omfatter vandkvalitet, bundvegetation og –fauna, fisk, fugle og kystens udformning.

I begyndelsen af 1996 blev kontrol- og overvågningsopgaven lagt ud i EU-licitation. Resultatet af licitationen og de efterfølgende forhandlinger blev, at BioConsult A/S, Danmarks Miljøundersøgelser (DMU), Carl Bro A/S og GEUS dannede et joint venture, SEMAC JV, som udfører miljømyndighedernes kontrol- og overvågningsprogram. Indenfor SEMAC JV (Sound Environmental Monitoring And Control) er programområderne fordelt således, at BioConsult og DMU er ansvarlige for de biologiske undersøgelser, GEUS for de kystmorfologiske undersøgelser og Carl Bro for kvalitetssikringen.

Fig.2
Limhamn (A)
Dragør Nordstrand (B)
Amager Strandpark(C)
Sydstranden (D)





Kysterne i undersøgelsesområdet

På dansk side af Øresund strækker undersøgelsesområdet sig fra Prøvestenen i nord til Aflandshage i syd på Amager, og omfatter desuden hele kysten rundt om Saltholm. I Sverige strækker undersøgelsesområdet sig fra Malmø i nord til Klagshamn i syd. Der er tale om en samlet kystlængde på knap 50 km, hvoraf Saltholms kystlinje tæller ca. 20 km. På basis af "beskyttelses-graden" kan kysterne overordnet inddeles i 4 kategorier:

- A Massivt beskyttede kyster
- B Digebeskyttede kyster
- C Plejede, sandfodrede kyster
- D Naturligt udviklede kyster

Kategori A, de massivt beskyttede kyster, udgør ca. halvdelen af kysterne inden for undersøgelsesområdet på Amager og i Sverige. De er karakteriseret ved sammenhængende havne- og kaj anlæg eller massive stensætninger, der skal beskytte rekreative arealer, veje, bygninger og diverse installationer mod erosion. Kysten ud for Københavns Lufthavn (den kunstige halvø), Dragør, Kastrup og Prøvestenen på Amager er massivt beskyttede kyster. Det samme er, med ganske få, lokale undtagelser, tilfældet for den svenske kyst mellem Malmø og Lernacken (fig.2).

Kategori B, digebeskyttede kyster, findes på Dragør Nordstrand og rundt om parcelhuskvarteret Søvang, syd for Sydstranden. På Dragør Nordstrand, som ligger klemmt inde mellem Dragør Havn og lufthavnen, er der en ganske smal stenbræmme nedenfor diget. Egentlig strandbred eksisterer ikke (fig. 2). Ud for diget ved Søvang findes lokalt naturlige strandvolde, men kysten præges generelt af tilgroning.

Af kategori C, de plejede, sandfodrede kyster, er specielt Amager Strandpark og Ribergsborgsstranden syd for Malmø værd at nævne. Ved Amager Strandpark finder sandfodringen sted indenfor en lav træspunsvej, der ved normal vandstand udgør selve kystlinjen (fig. 2). Ved Ribergsborgsstranden finder sandfodringen sted på bagstranden, samtidig med at man plejer et kunstigt anlagt klitbælte. Begge "strandparker" har stor rekreativ værdi, ikke mindst betinget af deres ringe afstand til storbyer.

Kategori D, de naturligt udviklede kyster, udgør knap halvdelen af den totale kyststrækning, og kan underinddeles i 3 kysttyper: D1 Barrierekysten, D2 Strandvoldskysten og D3 Tilgronings-/strandengskysten.

Barrierekysten: Den største sammenhængende, naturligt udviklede barrierekyst er Sydstranden på Amager, som er en relativt ung dannelse (fig. 2). På basis af kortblade fra århundredskiftet og fra 1945 samt analyser af 9 serier af flyfotos (optaget i 1954, -74, -85, -89, -92, -93, -96, -97 og -98) må det antages, at

langt størstedelen af de barriere-
redannelser, der eksisterede i
1954, er skabt mellem 1945 og -
54. Tilsvarende vides det, at de
mest markante kystændringer i
dette område har fundet sted i

perioden før 1974. I den efter-
følgende periode, fra 1974 til
1998 har kysten tydeligvis også
været under forandring, men
den udvikling, der har fundet
sted, har overvejende været i

form af justeringer af det etable-
rede barriersystem, der fandtes
i midten af 1970'erne (fig. 3).



På den sydligste del af undersøgelsesområdet på Amager, ved Aflandshage, findes ligeledes en barrierekyst, hvor der er foregået en udvikling i løbet af undersøgelsesperioden, selv om

netto tilvæksten i dette område har været væsentlig mindre end den, der er registreret ved Sydstranden. De mest markante ændringer har hér fundet sted forud for 1985 og efter 1996.

Øgruppen Svaneclapperne, der fra den sydlige del af Salholm strækker sig mod øst og nord, er en række barriereøer, der har en længere udviklingshistorie end ovennævnte barrieresystemer. Den sydlige del af Svaneclapperne fremtræder allerede på J. Meyers kort fra 1656, men det kan ikke afgøres, om øgruppen på dette tidspunkt blot består af holme udviklet på højtliggende partier af kalkgrunden, eller om der er tale om egentlige barriereøer. Det samme er tilfældet for Generalstabskortet fra 1890, men på dette kort fremtræder hele øgruppen med det samme overordnede kystlinjeforløb, som det, der kendes i dag. Øgruppen har været under ændring gennem hele den undersøgte periode 1954-1998. I løbet af overvågningsperioden 1996 til -98 er der lokalt målt tilbagerykninger af kystlinjen på 7-10 m/år (jvf. fig. 7). I flere tilfælde er barriereøer vokset sammen i løbet af perioden, og der er samtidig skabt mindst én ny ø i gruppen.

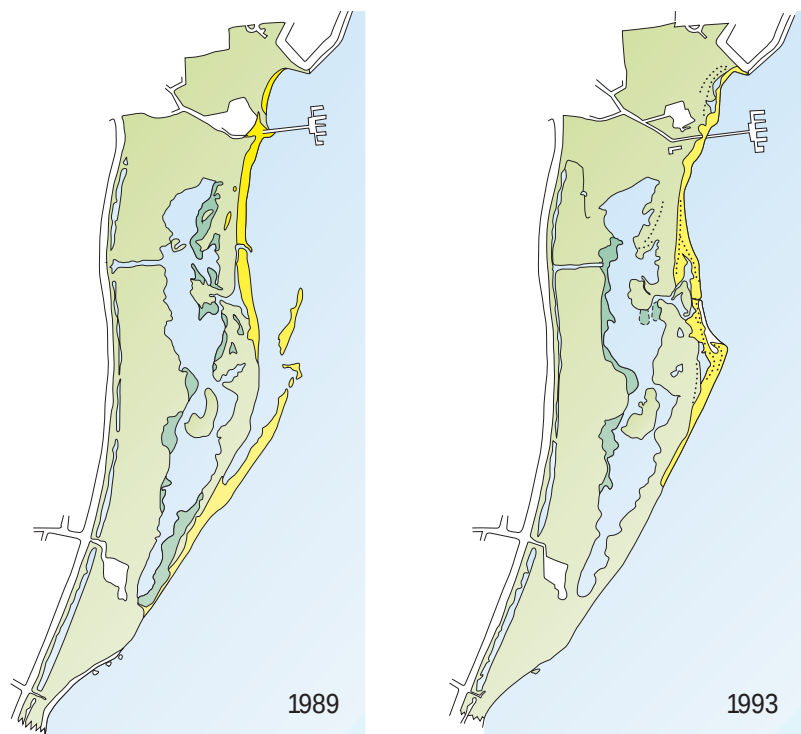


Fig.3 Kystudviklingen på Sydstranden, sydvest for Dragør. Gul farve angiver sand, der fremstår uden bevoksning på det angivne tidspunkt. De grønne farver angiver bevoksning; den mørkegrønne angiver sumpbevoksning.

I den svenske del af undersøgelsesområdet findes en barriere-kyst sydøst for Lernacken. Dette kompleks af tanger, strandvolde og krummoddedannelser er hovedsagelig skabt i perioden fra ca. 1970 til 1986.

I midten af 1950'erne eksisterede komplekset slet ikke, og i perioden efter 1986 har der kun fundet mindre ændringer sted (fig. 4). Denne, den mest dynamiske del af den undersøgte svenske kyststrækning, eksisterer formentlig kun i kraft af, at man ved udvidelsen af opfyldsarealet ved Lernacken, har etableret et kunstigt "forbjerg", der rækker så langt ud på strandplanet, at zonen for aktiv sedimenttransport er nået. Tangedannelserne er skabt ved sedimentation af materiale, der er ført rundt om Lernacken, og som dels kommer længere nordfra, dels fra lokal erosion af klinten ved Lernacken.

Strandvoldskysten: En større sammenhængende strandvoldskyst, der fremstår uden egentlige træk af barrieredannelser, findes kun på den nordlige del af Saltholms østkyst, som i modsætning til resten af øens kystlinje fremstår delvis udlignet. Strandvolde findes lokalt på nordkysten og den sydvestlige

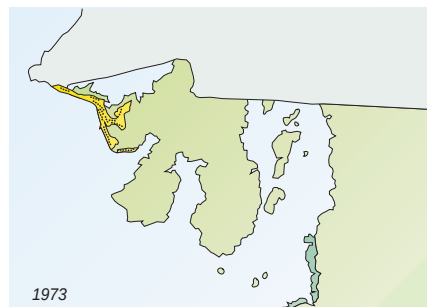
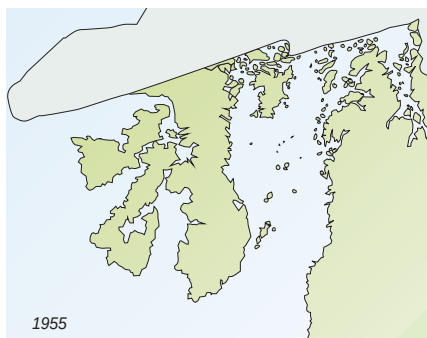
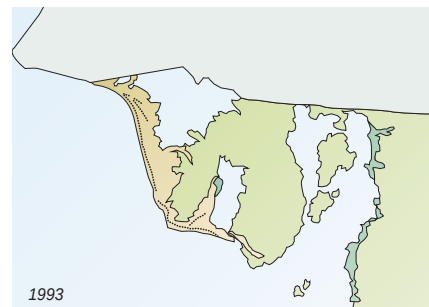


Fig.4 Kystudviklingen på den svenske kyst, sydøst for Lernacken. Gul farve angiver sand, der fremstår uden bevoksning på det angivne tidspunkt. Grønne farver angiver bevoksning. Priksignaturen angiver forløbet af strandvolde.



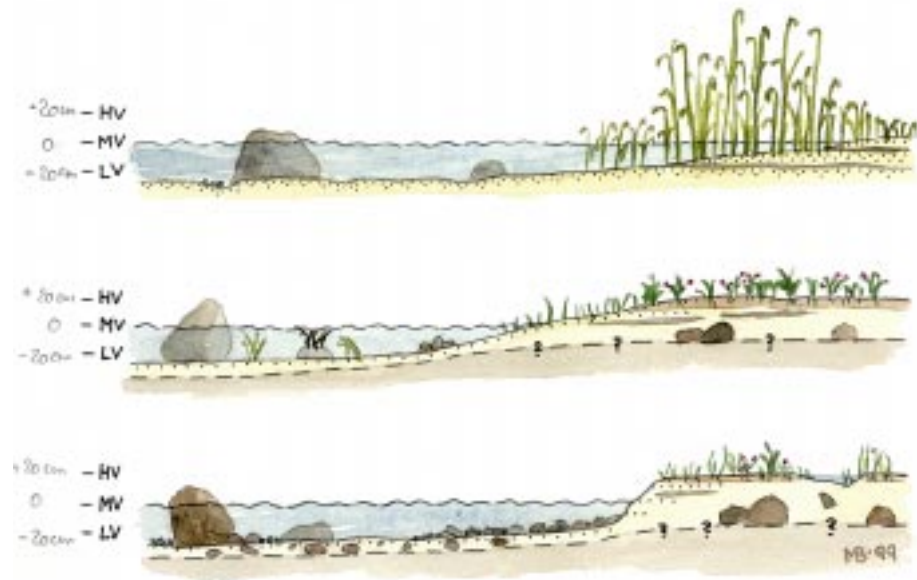


Fig. 5 De tre skitser afbilder hver især ca. 50 meter af et profil målt vinkelret på kysten.

Øverst: Tilgroningskyst på den sydlige del af den svenske kyst. Sandbund med blokke. Rørskove på forland af sand, der er aflejret under oversvømmelse, vekslede med lag af henfaldent, organisk materiale.

Midten: Tilgroningskyst på Saltholm. Havbunden: højtliggende kalk med tyndt sanddække, blokke, ålegræs og blæretang. Land: højtliggende kalk med residualblokke og sand, der er aflejret under oversvømmelse, vekslede med lag af henfaldent, organisk materiale. Øverst findes et tyndt muldlag med vegetation af bl.a. engelsgræs og malurt. Vegetationen gror helt ud i vandet, som det også er tilfældet langs den sydlige svenske kyst, men på Saltholm møder man ikke de tætte rørskove.

Nederst: Strandengskyst på Saltholm. Her er bølgeenergien lidt større end på tilgroningskysten, og en lav forlandskant er udviklet. Sedimentet på havbunden er en blanding af sand, grus, skarpkantede sten og blokke.

del af Saltholm, samt enkelte steder på den sydlige del af Amager.

Tilgronings-/strandengskysten: Tilgroningskysten findes især på den svenske kyst mellem Lernacken og Klagshamn. I læ af barrieren sydøst for Lernacken veksler rolige vandflader af varierende størrelse med tætte bevoksninger af forskellige rørskove. Herfra og til Klagshamn, der ligger ca. 3.7 km længere mod syd, bræmmes kystlinjen af en tæt og høj rørskov (fig. 5). Rørskoven har den største udbredelse i den sydlige del af regionen. Selv ved lavvande findes vandkanten indenfor den ydre afgrænsning af rørskoven, og det er vanskeligt at fastlægge kystlinjens eksakte beliggenhed. På denne kyststrækning, der er eksponeret mod vest og mod et relativt stort frit stræk, ville man umiddelbart forvente at møde en kysttype af høj- eller mellem-energitypen, svarende til fx barrierekysten sydøst for Lernacken, og bestemt ikke de tætte rørskove. Forklaringen på tilstedeværelsen af denne udprægede lav-energikyst er det tilstødende meget brede flakområde, der giver den nødvendige lævirkning. Bredden af flaket indenfor 2 meter vand-

dybdekurven er således hele 3.5 til 4 km.

Tilgroningskyster findes også på den sydlige del af Amager, dels omkring Søvang-diget, men mere udbredt umiddelbart nord og syd for digestrækningen.

Strandengs- og tilgroningskyster er de dominerende kysttyper på Saltholm, hvis kyst imidlertid er yderst særpræget for danske forhold. Nord-, vest- og sydkysten er meget lav og præges af mange småholme, stenklunger og tanger, som overvejende er opbygget af kantede flintesten. Vestkysten er forrevet, og kystlinjen har nærmest form af en skærgårdskyst. Størstedelen af Saltholm er præget af en frodig vegetation helt ud til vandkanten. Overalt på øen, i bunden af de utallige små vige og i læ af holme og småøer, støder man på små strimler af tilgroningskyst, mens det er strandengskysten, der dominerer, hvor energi-niveauet er blot en anelse større (fig. 5). Tilstedeværelsen af disse to lav-energi-kysttyper er begrundet i den energidæmpende effekt af det meget udstrakte flak, der omgiver øen. Flakket er desuden præget af talrige store sten og blokke.

Metoder anvendt i overvågningen

Overvågningen af kysterne og det kystnære, marine miljø er primært baseret på de 3 datatyper: Flyfotos, profilmålinger og sedimentprøver.

Flyfotos: Hvert år i maj/juni måned foretager Kampsax/Geoplan for GEUS en flyfotografering af hele undersøgelsesområdet, således at kystzonen dækkes af flyfotos fra mindst 100 meter indenfor kystlinjen ud til 6 meters vanddybde i alle tre regioner, Amager, Saltholm og Sverige. Ved den efterfølgende analyse af flyfotos identificeres elementer, som har betydning for karakteriseringen af kysten. Det gælder bl.a.: Kystlinje, strandvolde, vegetationsgrænser, strandsøer, kystklinter, revler samt andre bundformer på havbunden. Desuden afgrænses arealer på strandplanet, der har forskellige morfologiske, vegetations- og/eller sedimentologiske karakteristika.

Profilmålinger: Der foretages hvert år opmåling af et antal profiler, som er orienteret vinkelret på kysten. Opmålingen finder sted fra ca. 50 meter indenfor kystlinjen ud til 6 meters vanddybde for profilerne på

Amager og i Sverige, og til 2 meters vanddybde for profilerne på Saltholm. Et profil er i princippet blot en ret linje, på hvilken der i et stort antal punkter registreres sammenhørende værdier af afstand og dybde. Ved at foretage en tilstrækkelig tæt punktmåling er det muligt at opnå et meget præcist og detaljeret øjebliksbillede af topografien i profilet og af kystlinjens beliggenhed. Ved at sammenligne profilerne fra år til år kan det afgøres, om kystlinjen er stabil, under tilbagerykning eller i fremvækst, samt hvor stor en eventuel ændring er. Det kan samtidig vurderes, om der er områder af havbunden, der er udsat for erosion eller sedimentation og om eventuelle bundformer, fx revler, har bevæget sig fra år til år. Afhængig af typen og størrelsen af de ændringer, der registreres fra år til år, eller over en længere årrække, vurderes det, hvorvidt ændringerne blot er udtryk for naturlige variationer i kystmiljøet, eller om der kan være tale om effekter hidrørende fra gravearbejderne i Øresund, eller fra selve konstruktionerne i den faste forbindelse, jævnfør de førnævnte ændringer i bølge- og strømforholdene.

Antallet af profiler har varieret fra år til år. I det første undersøgelsesår, 1996, blev der foretaget opmåling af 65 profillinjer. Fra 1996 til -97 var antallet af opmålte profiler på Amager og i Sverige færre, mens antallet af opmålte profiler på den sydlige del af Saltholm, mellem Saltholm og Peberholm, øgedes. Programudvidelsen i dette område var en konsekvens af resultaterne fra 1996, der gav mistanke om,

at der fandt en sedimentation af finkornede materialer sted. Der var behov for at foretage en mere intensiv overvågning af dette område, hvor der i følge miljøkriterierne ikke må ske en sedimentation, der kan føre til landfæste mellem Saltholm og Peberholm. I 1997 blev der opmålt i alt 58 profiler. Antallet af profiler på Amager og i Sverige blev yderligere reduceret fra 1997 til -98 mens antallet og

lokaliseringen af profiler på Saltholm forblev uændret. I 1998 blev der således i alt opmålt 50 profiler.

Profilerne opmåles i to tempi. Den indre, lavvandede del af profilerne måles med elektronisk opmålingsudstyr (teodolit) fra land (fig. 6), mens den ydre, dybere del måles med ekkolod fra båd. For at sikre, at lokaliseringen og orienteringen af



Fig.6 Opmåling af profil på den sydvestlige del af Saltholm. Opmålingen finder sted med teodolit fra land. Bemærk fikspunktet, det gule rør, under teodoliten nederst i billedet(se pilen)



profilerne er identisk fra år til år, er der forud for opmålingen etableret et system af fikspunkter indenfor kystlinjen. Koordinaterne på samtlige fikspunkter er målt ind ved anvendelse af satellit-baseret positioneringsudstyr (DGPS), mens koordinaterne på den ydre ende af profilerne er aflæst på kortblade. Niveauet, eller koten, på fikspunkterne er ved hjælp af teodolitten målt ind i forhold til officielle fikspunkter, hvorved det er blevet muligt at beregne det absolutte niveau på den del af profilinjen, der måles op fra land. Tætheden af målepunkter i den "landopmålte" del af profilet afpasses efter topografien og eventuelle skift i sedimenttyperne. Hvor bunden er plan og ensartet, er der således længere mellem målepunkterne, end dér, hvor der er revler og andre "ujævnheder".

Ved gennemførelsen af ekkolodspejlingerne benyttes det samme system af fikspunkter og koordinater, som ved nivellermenterne. Koordinaterne er forud for sejladsen indlagt i et navigationsprogram på den computer, der anvendes til navigation af båd under sejlads. Data

indsamles med et 200 kHz ekkolod, og der navigeres med DGPS-udstyr. Ved ekkolodsmålingerne registreres dybden automatisk én gang for hver ca. 60 cm. Alle data opsamles og lagres på computer.

Ved at sikre et tilstrækkeligt stort overlap mellem hhv. den teodolit- og den ekkolodsopmålte del af profilet, er det muligt at koble de to profildele sammen, hvorved også den eksakte dybde på ekkolodsopmålingen kendes.

I forbindelse med profilopmålingen fra land, foretages der samtidig en beskrivelse af kysten i og omkring profilet. Denne kystkarakteristik indeholder oplysninger om stranden, om type og afgrænsning af vegetation, af kystlinjen og den indre del af strandplanet, om morfologien og sedimenttyperne, samt specielle omstændigheder på kysten i nærheden af profilet, der kan være væsentlige at kende til for den efterfølgende tolkning af eventuelle kystændringer. Beskrivelserne suppleres med fotos af kysten omkring profilet. Fotos optages fra de samme positioner og viser ens udsnit af

kysten fra år til år, således at eventuelle ændringer kan iagttages.

Kystkarakteristikken er et væsentligt supplement til profilmålingerne, når omfanget og typen af de ændringer, der har fundet sted, skal vurderes.

Sedimentprøver: I udvalgte profiler indsamles sedimentprøver fra normalt 3 forskellige prøvetagningspositioner, i enkelte profiler syd for Saltholm, dog fra 10 positioner. I 1996 blev der indsamlet prøver fra i alt 63 positioner. I 1997 og -98 blev antallet af prøvetagningspositioner øget til 93 i forbindelse med intensiveringen af overvågningen mellem Saltholm og Peberholm. Positionerne er identiske fra år til år, hvorved eventuelle ændringer i sedimenterne kan bestemmes. Fra hvert profil, hvori der indsamles prøver, er én af positionerne lokaliseret meget kystnært, oftest i opskylszonen. De øvrige prøver indsamles fra båd på strandplanet på positioner, hvor det fra ekkolodspejlingerne vides, at der er aktiv sandbund, således ofte fra revlerne.



På GEUS' laboratorier foretages bestemmelse af kornstørrelsesfordeling, og prøverne analyseres bl.a. for indhold af total organisk kulstof (TOC) og total kulstof (TC). Fra kornstørrelsesanalyserne anvendes middelnormstørrelsen og den procentvise fordeling af fraktionen under 63 μm (ler+silt indholdet) som de væsentligste parametre til belysning af bundsedimentets sammensætning.

På de lavvandede, eksponerede områder af Øresund ligger den procentvise del af fraktionen under 63 μm (ler+silt indholdet) normalt på under 5%. På de dybere dele af sundet er procenten ofte over 50%. Da hovedparten af spildmaterialerne fra gravearbejderne ved brobygget ligger i ler+silt-fraktionen, anvendes denne del af kornkurven til belysning af spildmateriale aflejret på havbunden. Da spildmaterialet fra gravearbejderne langt overvejende består af kalk, må det forventes, at der samtidig sker en forøgelse af kalkindholdet, hvis der er tale om, at en eventuel sedimentation af ler og silt er forårsaget af spildmaterialer. Det er derfor også nødvendigt

at have kendskab til kalkindholdet i sedimentprøverne. Kalkindholdet (CaCO_3) måles ikke direkte, men kan beregnes som $(\text{TC}-\text{TOC}) \cdot (\text{molvægten for kalk/molvægten for kulstof})$, idet det antages, at næsten alt karbonat i dette miljø er bundet i kalk. Forhøjede silt+ler koncentrationer i kombination med høje værdier af kalkindholdet er således væsentlige oplysninger til bedømmelse af om en akkumulation af sediment på havbunden kommer fra gravearbejdet, altså om der er tale om egentlige spildmaterialer.

Resultater

Analysen af flyfotos kombineret med feltundersøgelser og sedimentanalyser fra den første undersøgelseskampagne i 1996 har resulteret i en klassifikation af alle de kyststrækninger med tilstødende strandplan, som er indeholdt i overvågningsprogrammet; det vil sige kystzonen fra ca. 50 meter inden for kystlinjen og ud til 6 meters vanddybde.

"Basisundersøgelsen" af kystudviklingen i perioden 1954 til 1993 har resulteret i, at der er

opnået et overblik over hovedtrækkene af kystudviklingen forud for anlægsarbejderne i hele regionen.

Kortlægningen af kysttyperne og kendskabet til den generelle kystudvikling, sammenstillet med detaljerede profilmålinger og sedimentanalyser fra 1996 har været af central betydning for tolkningen af de efterfølgende registrerede ændringer af kysten og det kystnære, marine miljø.

Såvel i 1997 som -98 er der registreret talrige ændringer i kystprofilerne og markante ændringer i sedimentparametrene.

Den overvejende del af profilændringerne kan umiddelbart forklares ved vandring af revlesystemerne eller kystlinjebewægelser i forbindelse med den barriereudvikling, der er i gang flere steder i området af naturlige årsager (fig. 7). Disse profilændringer er derfor foreløbig tolket som værende naturlige profiljusteringer. Om der er indeholdt en langtidsudvikling i ændringerne, som knytter sig til anlæggelsen af den faste forbin-

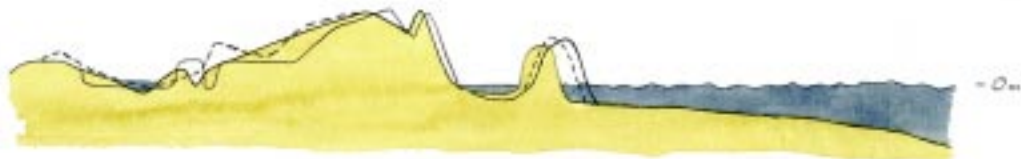


Fig.7 Barrierevandring, illustreret ved et udsnit af profil 35, som er lokaliseret på den syd-sydøstlige del af Saltholm. Profilet er orienteret nordvest-sydøst. Den hér viste del af profilet ligger ca. 400 meter udenfor Saltholm. Barriereøen i midten af figuren er Sivklap. Den mindre barriereø udenfor Sivklap er ikke navngivet. Nord for profilet er de to barriereøer smeltet sammen. Det viste udsnit af profilet er ca. 400 meter langt. Toppen af Sivklap er godt 1 meter over havspejlsniveauet. Fuldt optrukken linje: Profilmåling fra 1996. Stiplet linje: Profilmåling i 1997. Med guldt er vist situationen fra opmålingen i 1998.

delse, vides endnu ikke. Andre profilændringer, fx på havbunden mellem Saltholm og Peberholm og på kysten af den syd- og sydvestlige del af Saltholm, er formentlig forårsaget af ændrede strøm- og bølgeforhold efter byggeriet af Peberholm. Da profilerne kun er målt 2-3 gange, og da der altid er en vis naturlig variation i kystprofilerne fra år til år, er det endnu for tidligt

med sikkerhed at fastslå en direkte sammenhæng mellem de registrerede profilændringer og etableringen af den kunstige ø, Peberholm.

Større sikkerhed knytter sig til tolkningen af de markante ændringer i sedimentparametrene i de prøver, der er indsamlet på havbunden mellem Saltholm og Peberholm.

Middelkornstørrelse: På den sydvestlige del af Saltholm blev der i 1997 overvejende registreret middelkornstørrelser i fraktionen fint sand. Bredden af fint-sandsbæltet var øget fra 1997 til -98. Det samme gør sig gældende umiddelbart syd for Saltholm. I 1997 og -98 er der på nordsiden af Peberholm registreret områder med middelkornstørrelse i siltfraktionen.

Ler+siltfraktionen: I mellem Saltholm og Peberholm steg ler+silt indholdet væsentligt mellem 1996 og –97. Der blev i 1997 registreret 60-70% ler+silt på enkelte positioner i dette område, og fra 1997 til –98 skete der en yderligere tilsiltning af området. Arealerne, der i 1997 fremstod med forøget ler+silt indhold, er blevet større og der er endvidere registreret et mindre

område, hvor andelen af ler+siltfraktionen er helt oppe på 70-80% (fig. 8).

Kalkindholdet: Ved Peberholm blev der beregnet kalkindhold på over 20% i et mindre område i 1996. I 1997 var koncentrationerne steget til 50-60% i dette område. Der er ikke beregnet højere værdier i 1998, men de arealer, der er karakteriseret

ved forhøjede kalkværdier, er samlet set større i 1998 (fig. 8).

Sammenfattende viser undersøgelserne af havbundssedimenterne mellem Saltholm og Peberholm, at der ikke kan herske tvivl om, at tilsiltningen og det forøgede kalkindhold på havbunden er sket som følge af tilført spildmateriale i forbindelse med gravearbejderne.

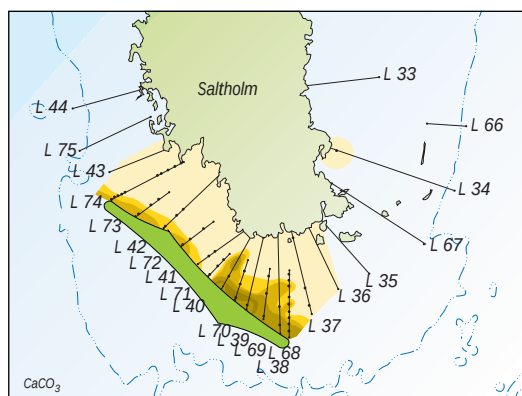
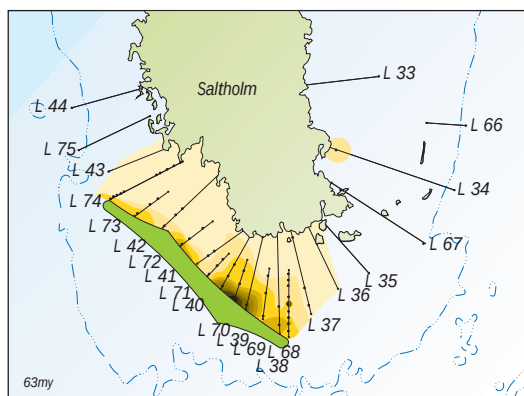


Fig.8 Venstre: Procentvis fordeling af materiale under 63 my i området mellem Saltholm og Peberholm, 1998. Langs Saltholms kyst ligger værdierne på 0-5 %. Ved Peberholm er den højeste, registrerede værdi mellem 70 og 80 %. Højre: Indhold af CaCO_3 i bundsedimentet, 1998. Langs Saltholms sydkyst ligger værdierne på 0-5 %. Ved Peberholm er de højeste, registrerede værdier mellem 40 og 50 %.





Flemming G. Christiansen

Men hvad er der sket i Vestgrønland siden 1970'erne, hvor industrien forlod området efter 5 skuffende boreriger? Hvorfor er Vestgrønland, der dengang højst blev betragtet som et muligt "gas-land" pludselig så interessant? Hvorfor er Fylla området, der engang blev tolket som oceanisk havbund, pludselig hovedmålet for ny efterforskning? Svaret er simpelt – og alligevel meget kompliceret: god forskning, men med en række bemærkelsesværdige og på forhånd ofte uforudsigelige gennembrud; men samtidig

(Foto K. Binzer)



Fig.1 To eksempler på olieudsvninger fra Nuussuaq



gennembrud, som var interessante nok til, at både myndigheder og industrien har været parate til at gå ind og ofre de store investeringer, der skal til i moderne olieefterforskning.

GEUS (og tidligere GGU) har været involveret i mange vestgrønlandske forskningsprojekter i den sidste halve snes år med god støtte fra det statsligt finansierede Energiforskningsprogram (EFP), Carlsbergfondet, Råstofforvaltningen for Grønland i Miljø- og Energiministeriet og Grønlands Hjemmestyre. Disse forskningsbevillinger har "ynglet" i den forstand, at senere investeringer fra industrien (Nunaoil, grønArctic Energy, Statoil og Phillips grupperne, seismiske selskaber) snart vil blive 10 gange højere målt i kroner. Hvis der hurtigt gøres fund, vil investeringerne i løbet af få år ryge flere størrelsesordener op i forhold til de oprindelige forskningsbevillinger.

Undersøgelserne i Vestgrønland har spændt meget bredt fagligt, men det er især to typer af projekter, der har givet de mest spektakulære gennembrud i ef-

terforskningsmæssig sammenhæng:

1. Reprocessering og tolkning af gamle seismiske data; nyindsamling og yderligere tolkning af seismiske data, offshore det sydlige Vestgrønland.

2. Studier af overfladegeologien på land i Nuussuaq bassinet, herunder især de mange olieudsvninger i de vulkanske bjergarter (basalter).

Seismik offshore Sydvestgrønland

Da olieindustrien forlod Vestgrønland sidst i 1970'erne, var det den almindelige opfattelse, at der i store dele af området ikke var chance for at gøre kommercielle fund af kulbrinter. Denne negative opfattelse skyldtes især, at der ikke seismisk kunne påvises lejringsforhold i form af strukturer, som kunne danne de nødvendige fælder for olie- og gasforekomster. Det var desuden den fremherskende opfattelse, at jordskorpen udfor Vestgrønland var af relativt ung "oceanisk" oprindelse, således at de basale forudsætninger for olie- og gasfore-

komster ikke var til stede. Disse tolkninger stod uimodsigende indtil sidst i 1980'erne, hvor GGU begyndte sin revurdering af området. To mindre projekter (EFP-89: Reevaluering af dybvandsområder og EFP-90: Reprocessering Grønland) med en støtte på ca. 1.3 mio. kr fik helt afgørende betydning. Reprocesseringen af ældre seismiske linier fra 1977 indsamlet af en tysk forskningsinstitution viste nemlig, at der på dybt vand ud for det sydlige Vestgrønland findes store roterede forkastningsblokke af ældre alder under de delvist kendte Øvre Kridt-Tertiære sedimenter. Dette var specielt bemærkelsesværdigt, idet disse strukturer tidligere var tolket som oceanhavbund eller magmatiske intrusioner! Den nye tolkning betyder, at udbredelsen af kontinentalskorpe med sedimenter ovenpå – og dermed mulighed for dannelse og akkumulering af olie eller naturgas, var langt større end tidligere formodet.

På baggrund af disse nye positive modeller forestod GGU i 1990–92 indsamling af ca. 6.600 km seismik i Vestgrønland for

offentlige midler, ligesom et geofysisk selskab indsamlede ca. 1900 km data med salg for øje. Disse linier repræsenterer et vidmasket regionalt net. Den sidste linie, der blev indsamlet i 1992, GGU/92-22, var en såkaldt "tie line" på relativt dybt vand, der skulle danne en kobling mellem to geologisk forskellige områder. Linien krydsede det område, der senere skulle blive kendt som Fylla området. Da de seismiske data i

løbet af 1993 var processerede, viste der sig store spektakulære forkastningsblokke med Direkte Hydrokarbon Indikatorer i form af "flat spots" på netop denne linie (Fig. 2). Efterfølgende specialprocessering har vist, at disse "flat spots" efter al sandsynlighed skyldes gas-væske kontakter. Men svarer flat spot'en til den nuværende kontakt – og findes der olie nederunder? Disse i efterforskningsmæssig sammenhæng helt essentielle

spørgsmål kan kun besvares, når olieselskaberne, som senere har fået licens i området, har udført den første boring.

Linie GGU 92/22 såvel som andre data fra området er siden vist talrige gange overfor industrien, i brochurer og artikler og har været en meget væsentlig del af markedsføringen af olieefterforskningsmulighederne i Vestgrønland.

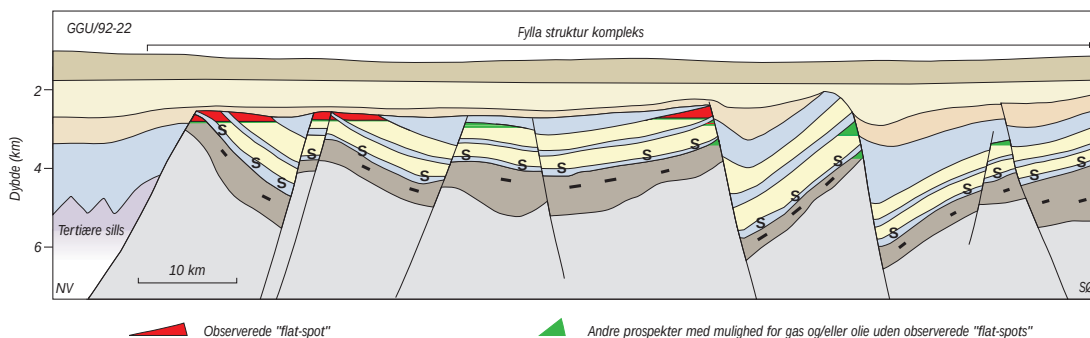


Fig.2 Geologisk profil gennem Fylla området baseret på fortolkning af den seismiske linie GGU/92-22. Fylla strukturkomplekset er opbygget af meget store roterede forkastningsblokke med store "flat-spots", der sammen med efterfølgende specielle beregninger antyder gas-væske kontakter med et indhold af store mængder gas- og muligvis underliggende olieforekomster.

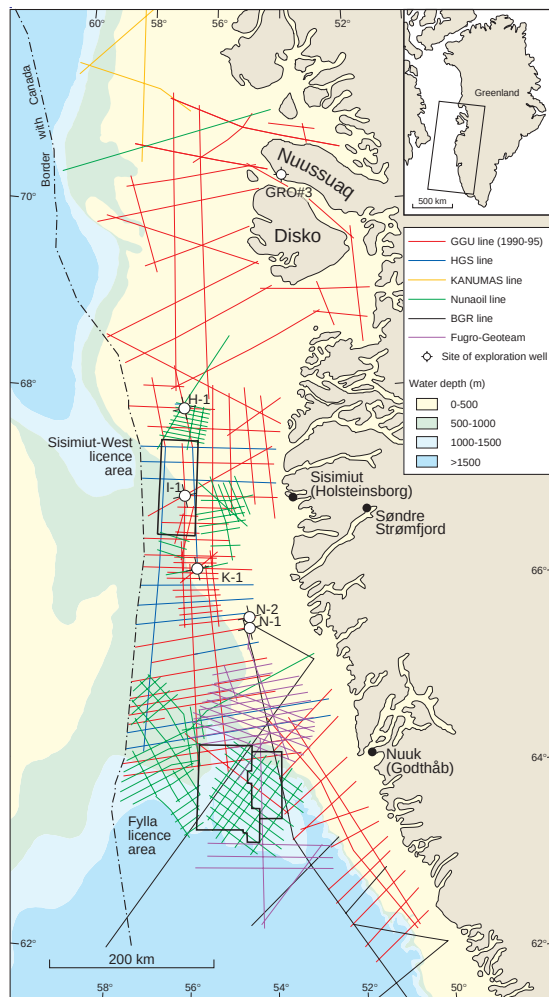


Fig.3 Kort over Vestgrønland med seimiske linier, tilladelser m. v. .

Allerede i 1994 fulgte Nunaoil op på de nye observationer og indsamlede et noget tættere net af seismiske data i Fylla området. Markedsføringen af dette datasæt medførte stor interesse i den internationale olieindustri. På baggrund af ansøgninger indgivet i foråret 1996 blev der senere på året tildelt en efterforsknings- og produktionstilladelse til én gruppe af olieselskaber: Statoil (operatør, står for det praktiske arbejde), Phillips, DOPAS og Nunaoil (båren partner i efterforskningen, d.v.s. at de andre selskaber finansierer aktiviteterne). Dermed var en ny efterforskningsæra i Grønland sat igang..

Siden er der sket tildeling af yderligere én tilladelse (Sisimiut Vest) til den samme gruppe af selskaber men med Phillips som operatør, ligesom der er indsamlet flere seismiske data i Vestgrønland (fig. 3).



*Fig.4 GRO#3 boringen på det vestlige
Nuussuaq med Vaigat sundet og
Disko i baggrunden.*

Olieudsivninger på Nuussuaq

Studiet af olieudsivningerne på Nuussuaq har i efterforskningsmæssig sammenhæng været en succeshistorie, der bygger på en blanding af "gamle mænds" tommelfingerregler, hårdt arbejde i felten og avancerede organisk geokemiske undersøgelser i laboratoriet. Siden 2. verdenskrig har der været rygt om olie på Nuussuaq, men bortset fra enkelte prøver med stærkt omdannet bitumen, blev prøver med næsten uomdannet olie – som analytisk kan beskrives i stor detalje – først fundet i 1992. Dette fund, som blev gjort i forbindelse med kortlægning af vulkanske bjergarter, blev i første omgang kun fulgt nogle få titalsmeter langs kysten ved Marraat. Sommeren efter i 1993 blev det erkendt, at olie fandtes i et flere km² stort område, hvorefter der i offentligt regi blev boret en 448 m dyb boring i den vulkanske lagserie. Borekernen viste intens olieimprægnering i især de øverste 90 m men med spredte spor hele vejen ned.

Olien i borekernen, såvel som ved overfladen, havde en karakteristisk sammensætning, der viste, at kildebjergarten måtte

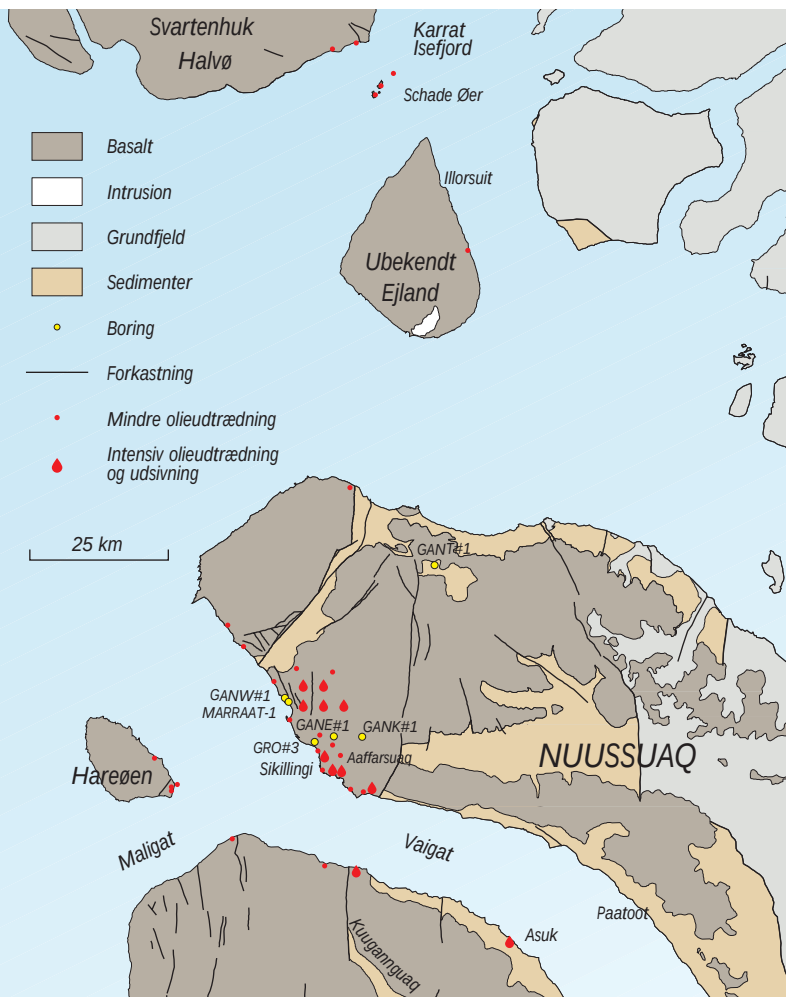
være af alleryngste Kridt eller Paleocæn alder, og at kildebjergarter må have haft et markant indhold af terrigent materiale, typisk for deltaaflejringer. Samtidig viste analyserne homogenitet over store områder, hvilket tyder på at olien stammer fra større akkumulationer, og at udsivningen – i hvert fald set med en geologisk tidsskala – er nutidig.

Dermed var der ikke alene skabt grundlag for yderligere en række målrettede forskningsprojekter men også for egentlig kommerciel efterforskning på Nuussuaq. Et lille canadisk selskab, grønArctic Energy, fik tilladelse til efterforskning, og i 1995–96 oplevede Nuussuaq en kort intens efterforskning med adskillige kerneboringer til 400–900 m dybde, geofysiske undersøgelser og endelig en 3 km dyb konventionel efterforskningsboring i sommeren 1996 (fig.4). Især i den tidlige del af denne periode fik grønArctic en række bemærkelsesværdigt positive resultater. Da den langt fra optimalt placerede dybe boring ikke levede op til efterforskningsmodellen, fik grønArctic imidlertid problemer med at skaffe finansiering til de fortsatte arbejdsforpligtelser

(onshore seismik). grønArctic måtte derfor opgive tilladelsen i foråret 1998. Senere undersøgelser ved GEUS i forbindelse med et EFP projekt tydede på, at der i den øverste del af boringen er tykke sandstensenheder med høje kulbrintemætninger, som ikke blev testet i forbindelse med boreprogrammet. Nuussuaq fremstår bl.a. derfor stadig som et område, hvor efterforskningsaktiviteter er påkrævede.

Parallelt med grønArctics efterforskning har GEUS og samarbejdspartnerne ved Københavns Universitet og Geologisk Museum fortsat en lang række studier, der især retter sig mod aflejringsmodeller for kilde- og reservoirbjergarter samt den strukturelle historie af Nuussuaq bassinet. Også de systematiske studier af olieudsivninger er fortsat.

I visse områder omkring Marraat og Sikillinge er der tale om ganske spektakulære olieudsivninger (se figur1). I mange andre tilfælde skal der en god næse til, for at olieudsivninger kan blive opdaget i felten. De erfarne feltgeologer udviklede dog hurtigt et sæt tommelfingerregler for, hvor der er størst chance for at



finde olie i de vulkanske bjergarter som bygger på viden om stratigrafisk position, hovedstrukturer, tilstedeværelse af gange, forkastninger og sprækker, omdannelsesminerale og frem for alt en ikke helt objektivt defineret fornemmelse. Med hårdt arbejde fra gummi-båd er kysterne langs Disko, Hareøen, Nuussuaq, Ubekendt Ejland, Schade Øer og den sydlige del af Svartenhuk Halvø blevet systematisk gennemført i 1996–97.

Der er fundet et meget stort antal lokaliteter (mere end 100) med olie i analyserbare mængder spredt udover hele regionen, omend de fleste eksempler er fra den vestlige del af Nuussuaq (Fig. 5).

Fig.5 Kort over Disko–Nuussuaq–Svartenhuk Halvø området med angivelse af olieudsvininger (røde pletter).

Det efterfølgende analyseprogram ved GEUS har vist spændende forskelle i sammensætning og fordeling af olierne, som kan klassificeres i fem hovedtyper med kildebjergarter af vidt forskellig alder og aflejringsmiljø. Mindst to af disse kildebjergarter, Itilli typen og Marraat typen, kan vise sig at være regionalt udbredte i store områder offshore Vestgrønland. Det drejer sig om en marin kildebjergart af Cenoman–Turon alder og en marin/deltaisk kildebjergart af Paleocæn alder. Herudover findes der tre andre olietyper, som formentlig er dannet fra kildebjergarter med mere lokal udbredelse.

Selvom der stadig mangler direkte oplysninger om, hvor store mængder kulbrinter de pågældende kildebjergarter kan generere, er der ingen tvivl om, at påvisningen af de aktuelle olietyper er stærkt medvirkende til at tiltrække olieindustrien til Vestgrønland. Netop manglen på dokumenterede oliekildebjergarter har tidligere været en af de mest kritiske negative parametre, når den samlede efterforskningsrisiko for Vestgrønland skulle vurderes.

Hvor kommer de næste gennembrud?

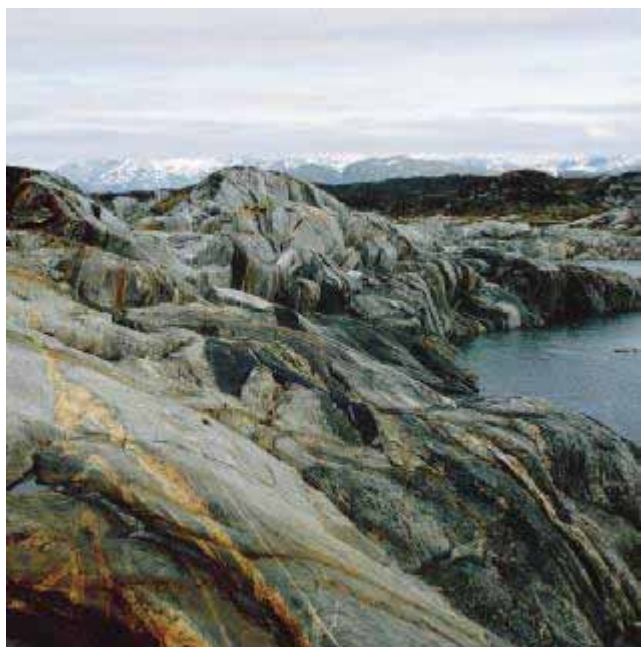
Til trods for, at der har været en positiv udvikling i Vestgrønland i de senere år, er der stadig tale om en ganske uafklaret situation, hvor myndigheder, olieindustri og forskningsverdenen stadig må vente på nye gennembrud, før der er udsigt til at olieefterforskning og produktion kan blive et stabilt og bærende erhverv i Grønland.

I et samfundsøkonomisk perspektiv ser alle frem til, at olieindustrien snart får succes. Boringer i Fylla området kan give det næste gennembrud, men også resultater fra seismiske data indsamlet af Nunaoil eller seismiske selskaber kan åbne for nye efterforskningsmål. Der er allerede på nuværende tidspunkt kendskab til en lang række nye muligheder, f.eks. i nærheden af den gamle Kangamiut boring fra 1970'erne og vest for Disko.

GEUS' igangværende forskningsprojekter i Vestgrønland vil givetvis føre til flere vigtige resultater i de kommende år. Dette er vigtigt både for modningen af nye områder og udviklingen af nye efterforskningskoncepter, men også for at give den etablerede olieindustri i Grønland et konstruktivt med- og modspil.

Det er dog svært at gætte på, hvor de næste forskningsdrevne gennembrud kommer, idet karaktertrækket ved god forskning netop er, at resultaterne ikke på forhånd kan forudsiges i stor detalje. Hårdt arbejde og godt arbejde vil dog uvægerligt øge chancen for at opsnøge helheden, og det er der trods alt stadig brug for i Vestgrønland! Det er i den sammenhæng specielt tankevækkende, hvor vanskeligt det er at markedsføre et område, som først én gang har fået et negativt ry i industrien. Eksemplerne fra Vestgrønland viser, at der skal overbevisende data og forskningsresultater på bordet for at vende stemningen. Det ser ud som om, det er ved at lykkes; men det har faktisk taget 10 år.





GEOFYSISK KORTLÆGNING AF GRØNLAND FRA LUFTEN

Leif Thorning og Thorkild Maack Rasmussen

Indledning

Anvendelsen af geofysiske målinger fra fly har rødder tilbage til den anden verdenskrig, hvor metoden blev anvendt til eftersøgning af ubåde. De nuværende anvendelser i Grønland har en mere fredelig, videnskabelig karakter og de flybårne operationer er desuden udviklet til nu at omfatte mange forskellige metoder med mange forskellige anvendelser, alle interessante i Grønland, som er præget af udbredte vanskeligt tilgængelige områder.

Inden for de sidste seks til syv år er der sket en voldsom vækst i antallet af flybårne undersøgelser; dels har GEUS gennemført et stort antal projekter finansieret af den danske stat og især det grønlandske Hjemmestyre, og dels har flere og flere mineselskaber selv gennemført flybårne undersøgelser inden for deres egne koncessionsområder. Resultaterne har været særdeles gode. Selv i klassiske, geologisk velkendte områder med stor international aktivitet

i mange år, har f.eks. de seneste regionale aeromagnetiske målinger afsløret strukturer og sammenhænge, som ikke kan forklares ud fra den eksisterende viden, og som altså peger på en endnu ufuldstændig forståelse af de geologiske forhold.

De første systematiske aeromagnetiske undersøgelser i Grønland blev gennemført af Kryolitselskabet Øresund A/S i sidste halvdel af tresserne. De første offentligt finansierede luftbårne geofysiske undersøgelser blev gennemført i første halvdel af halvfjerdserne. Alene i halvfemserne vil GGU og siden GEUS ved udgangen af 1999 have gennemført flybårne målinger svarende til ca. 480.000 liniekilometer, en afstand svarende til tolv gange rundt om jorden ved ækvator. I det følgende omtales hovedsageligt de offentligt finansierede undersøgelser. Figur 1 viser de opmålinger, der er gennemført i 90'erne.

Parti fra Godthåbsfjorden i Vestgrønland med renskurede, prækambriske bjergarter. Her er det muligt at beskrive de geologiske forhold på grundlag af direkte iagttagelser på jordoverfladen. Fra flyvemaskiner kan man ved hjælp af indirekte målemetoder udføre regionale undersøgelser. Selv i velkendte og velundersøgte områder som på billedet, har det vist sig at resultater af flybårne geofysiske målinger giver mulighed for en bedre forståelse af de regionale geologiske forhold. Resultaterne af undersøgelserne er bl.a. med til at øge mineselskabernes interesse for efterforskningslicenser i de mest lovende områder.



Fig.1 Kort over Grønland der viser de aeromagnetiske (Aeromag) og elektromagnetiske (AEM Greenland) opmålinger gennemført i Grønland 1992 – 1999.



Formål

Det overordnede samfunds-mæssige formål med de offentligt finansierede, flybårne geofysiske undersøgelser er at fremme råstofefterforskningen i Grønland. Både mine- og olie-selskaber inddrager i udstrakt grad geofysiske data i deres efterforskning. De har en forventning om, at staten tilvejebringer disse data på samme måde som geologiske kort og geokemiske data, i hvert fald i regional skala. Senere i forløbet vil de ofte selv indsamle flere flybårne data, men da som regel mere detaljeret i mindre områder. Der vil indenfor sådanne begrænsede områder næsten altid være sammenhænge, der kun kan forstås på baggrund af de offentligt finansierede, regionale undersøgelser.

Det videnskabelige formål med den geofysiske kortlægning af Grønland, udført af GEUS og tidligere af GGU, skal ses i sammenhæng med den øvrige geologiske og geokemiske kortlægningsvirksomhed i Grønland. Geofysiske data indeholder information om de geologiske strukturers udbredelse under overfladen og deres forløb under vand eller isdækkede regioner. De flybårne geofysiske

målinger er derfor et vigtigt supplement til den geologiske kortlægning, der oftest er begrænset til observationer af bjergarter tilgængelige på overfladen. Ingen af disse data giver alene hele billedet, men ved integreret fortolkning af samtlige geodata opnås en langt mere komplet forståelse af forholdene. Modeller baseret på geofysiske data vil ofte give et generelt billede af de geologiske strukturer, og direkte korrelation med direkte, egentlige geologiske observationer er væsentlig for en optimal udnyttelse af de geofysiske data. Samspillet mellem den geofysiske og den øvrige geologiske kortlægning illustreres måske bedst gennem den internationalt udbredte anvendelse af geofysiske kort ved planlægning og udførelse af geologiske kortlægningsopgaver. Det er af samme årsag efterforskningsindustrien værdsætter adgangen til alle typer af geodata. Store geologiske strukturer kan være afgørende for det økonomisk geologiske aspekt af et område. De kan imidlertid ofte kun erkendes inden for de geografisk begrænsede koncessionsområder, hvis man har adgang til regionale datasæt, som viser strukturerne forløb over måske hundredvis af kilometer.

Forskellige metoder

Generelt udgør tætheden af geofysiske målinger en vigtig parameter for hvilken geologisk og geofysisk information man kan opnå fra de målte data. I praksis afgøres det af flyvehøjden og afstanden mellem flyvelinier. En afvejning af forskellige faktorer som økonomiske begrænsninger, ønsker om undersøgelse af så stort et areal som muligt og områdets geologiske problemstillinger medfører som regel et kompromis med hensyn til hvor detaljeret målingerne kan udføres. Det modsvares dog af, at data indsamles i et systematisk, kontinuert net uden hensyn til terrænets beskaffenhed.

Planlægningen af flybårne geofysiske undersøgelser omfatter derfor en meget grundig overvejelse af i hvilken sammenhæng de målte data skal og kan anvendes. Det er en almindelig fremgangsmåde i områder som Grønland at indlede med regionalt anlagte målinger, og så efterfølgende gennemføre en mere detaljeret geofysisk kortlægning i mindre, udvalgte områder med en større måletæthed. Ud fra målingerne fremstilles ofte anomalikort, der viser hvor de målte fysiske parametre er anomale eller afvigende i for-

hold til baggrunden. I de tilfælde, hvor der er positive indikationer for økonomisk interessante anomalier, fortsættes undersøgelserne som regel derefter på jorden.

Uanset hvilken metode det drejer sig om, er det en videnskab i sig selv at gennemføre nøjagtige og korrekte målinger af fysiske parametre fra luften. De komponenter i målingerne, som har deres oprindelse i geologiske forhold, er ofte forsvindende små, og det er en teknisk og beregningsmæssigt vanskelig proces udfra målingerne at producere de nødvendige kort og digitale data, der danner baggrund for den efterfølgende fortolkning. Men bortset fra de specielle betingelser som måling fra fly medfører, adskiller den efterfølgende tolkning sig ikke meget fra de procedurer som anvendes for tilsvarende geofysiske målinger direkte på jorden. Det må dog også understreges, at flybåren geofysik i dag er en højteknologisk disciplin, der kræver adgang til kraftige computere og omfattende software.

Der eksisterer et antal forskellige geofysiske metoder, der lader sig anvende fra fly. De er alle baseret på udnyttelsen af forskelli-

ge petrofysiske egenskaber hos de bjergarter, som danner undergrunden. Disse fysiske egenskaber er et resultat af bjergartens sammensætning og geologiske historie. Tolkning af forskellige geofysiske anomalier går derfor ud på at udnytte og forstå sammenhængen mellem de petrofysiske parametre, den geometriske placering af målepunktet – flyet – i forhold til kil- den for anomalien og endelig selve anomalien, så der opnås en bedre forståelse af geologien i overfladen og i dybden.

● *Aeromagnetiske eller flymagnetiske målinger* er en af de mest almindeligt benyttede metoder. Her udnyttes det, at tilstedeværelsen af magnetiske mineraler, hovedsagelig magnetit, i bjergarter under flyet påvirker Jordens naturlige magnetfelt. Magnetfeltet måles af et instrument placeret enten på flyet eller op- hængt under flyet, og målingerne korrigeres for påvirkninger fra flyet og for naturligt forekom- mende tidlige variationer i Jordens magnetfelt. Magnetiske målinger er relativt enkle at fortolke i forhold til andre flybårne metoder. Flyvehøjden har indfly- delse på hvilke detaljer målin- gerne kan registrere, men min-

dre variationer i flyhøjden har kun en begrænset betydning for målingernes kvalitet.

● *Tyngdemålinger fra fly* udnytter at bjergarterne har forskellig vægt- fyldte og derfor lokalt påvirker Jordens naturlige tyngdefelt i forskellig grad. Målinger af tyng- den fra fly sker i specielt stabili- serede gravimetre og stiller sto- re krav til flyets stabilitet i luften og til en nøjagtig bestemmelse af flyets acceleration i tre ret- ninger. Denne type af målinger kan på nuværende tidspunkt ik- ke betegnes som rutinemæssige, men må siges stadig at være un- der udvikling. Principperne for tolkning af denne variation i tyngdefeltet er de samme som for tolkning af magnetfeltet, men endnu er opløsningen af tyngdemålingerne langt dårli- gere.

● *Radiometriske målinger fra fly* af- spejler efter passende korrekti- oner udelukkende fordelingen af radioaktive grundstoffer tæt ved jordoverfladen. Korrelation med geologiske observationer er derfor ofte lettere end ved de øvrige geofysiske metoder, hvor data også indeholder informati- on fra dybere liggende struktu-

rer, som ikke kan ses i overfladen. Målingen sker ved at observere gammastrålingens vekselvirkning med en bestemt type af krystaller. De tre mest almindelige grundstoffer, som kortlægges med radiometriske målinger, er visse isotoper af kalium, uran og thorium. Koncentrationen af disse stoffer bestemmes ved måling af energien af den udsendte gammastråling, og kan sættes i forbindelse med forskellige typer af bjergarter i undergrunden.

●
Flybårne elektromagnetiske metoder omfatter et antal forskellige metoder, der alle baserer sig på den reaktion (sekundærfeltet), som undergrundens bjergarter udviser på kunstigt skabte elektromagnetiske felter (primærfeltet). Primærfeltet udsendes af spoler på flyet og sekundærfeltet måles af sensorer, der som regel hænger under og efter flyet, se fig. 2. De mest almindelige mineraler som f.eks. kvarts og feldspat er meget dårlige elektriske ledere og vil derfor ikke medvirke til dannelsen af sekundærfelter; de er gennemsigtige for metoden. Mange typer af blandt andet malmmineraler er derimod gode ledere og viser deres tilste-



Fig.2 Et geofysisk målefly i luften over Constable Pynt, Østgrønland, i august 1997 (AEM Greenland 1997). Mange forskellige fly anvendes til flybåren geofysik. Her er det et CASA fly med den elektromagnetiske sender på flyet og to målesonder (små sorte prikker på billedet) hængende i kabler under og efter flyet. Flyet befinder sig i den sædvanlige målehøjde for denne type af opmåling, ca. 120 meter over terrænet, mens de to sonder befinder sig ca. 50 – 60 meter over terrænet.

deværelse gennem dannelsen af sekundærfelter, som kan detekteres fra flyet. Elektromagnetiske metoder er derfor velegnede til direkte malmprospektering ('anomali-jagt'), men bruges i stigende grad også som kortlægningsværktøj. Resultater fra elektromagnetiske målinger præsenteres ofte som kort over den elektriske ledningsevne i den del af jorden som påvirkes af primærfeltet.

● *Remote sensing* er en fælles betegnelse for metoder hvor elektromagnetisk stråling, f.eks. i form af reflekteret og refrakteret lys eller termisk udsendt infrarød stråling, registreres ved hjælp af forskellige former for skanner-instrumenter. Sådanne Landsat TM og SPOT billeder fra satellit har længe været anvendt i forbindelse med geologisk kortlægning og mineralefterforskning. Der eksisterer nu lignende, men endnu mere nøjagtige instrumenter baseret på nyudviklet teknologi til anvendelse fra fly, således f. eks. hyperspektrale målinger, som registrerer væsentligt flere bånd (512) end Landsat satellitterne der kun registrerer 7 bånd. Dermed opnås betydelige forbedringer med hensyn til opløsning og en

langt større sikkerhed i identificeringen af mineraler og bjergarter på jordoverfladen.

Nogle eksempler fra Grønland

I 1998 gennemførtes de sidste to elektromagnetiske undersøgelser i et projekt finansieret af Grønlands Hjemmestyre, nemlig projekt AEM Greenland 1994–1998. I løbet af de fem år blev der gennemført ret detaljerede målinger i seks forskellige regioner af Grønland, med en afstand mellem flyvelinierne på 200 – 400 meter. Alle undersøgelserne producerer en kombination af magnetiske og elektromagnetiske målinger, mens der ét af årene desuden samtidigt blev indsamlet radiometriske og VLF målinger (Very Low Frequency). Dette var muligt, fordi der dette ene år blev anvendt en helikopter som platform for de geofysiske målinger, mens der de øvrige fire år blev brugt fastvingede fly. Formålet var blandt andet at tiltrække mineindustriens interesse, og det lykkedes. For hvert delprojekt svarende til hvert år i den femårsperiode er nye digitale data og tilhørende geofysiske kort blevet frigivet 1. marts i det efterfølgende år. Figur 3 viser et eksempel på et kort over en

geofysisk parameter, ledningsevnen af undergrunden, indsamlet i 1998 over Washingtonland, Nordgrønland. Industriens interesse for disse data har været stor og frigivelsen af resultater er i mange tilfælde blevet fulgt af nye koncessioner og forøget aktivitet i de undersøgte områder. Selvom aktiviteterne har været rettet mod regioner, hvor prospektering efter malm synes rimelig, har det samtidigt været tilstræbt at opsøge så mange forskellige egne af Grønland som muligt, med forskellig topografi og geologi for derved at demonstrere metodens egnethed i Grønland. De indsamlede digitale data (ca. 73.500 linie kilometer) indgår nu i GEUS videnskabelige database og vil udgøre et værdifuldt datasæt mange år ud i fremtiden. Efterforskningsindustrien har desuden ofte suppleret med mere detaljerede flybårne geofysiske undersøgelser i de nye koncessionsområder.

Sideløbende hermed er der i offentligt regi blevet gennemført regionale magnetiske undersøgelser i Aeromag projekterne. I begyndelsen finansieret af staten og Hjemmestyret i fællesskab, siden kun af Hjemmestyret. I alt ca. 406.500 liniekilometer data

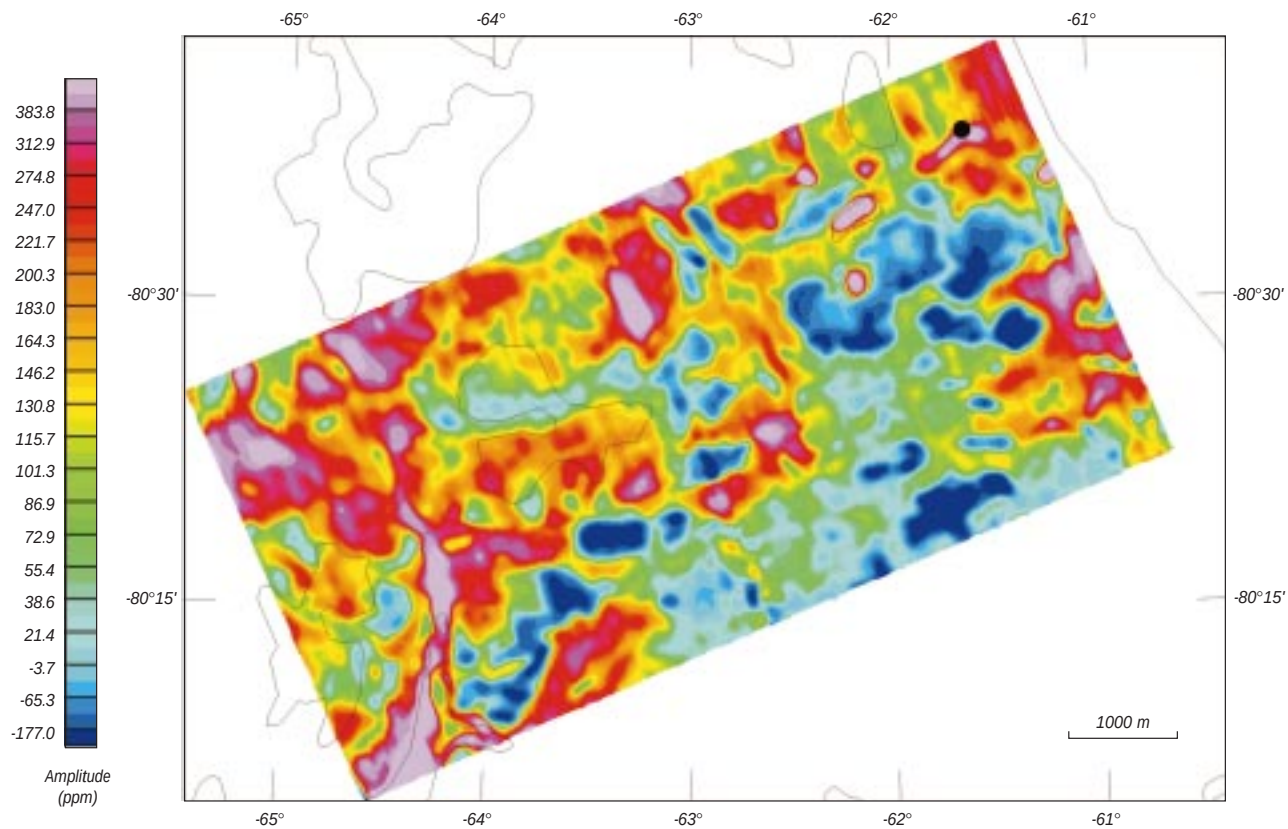


Fig.3 Et anomalikort over undergrundens ledningsevne. Kortet er baseret på data fra projekt AEM Greenland 1998 i Washington Land, Nordgrønland.

vil være indsamlet ved udgangen af 1999, med en indbyrdes afstand mellem flyvelinier på 500 meter, i enkelte områder 1000 meter. Skønt disse opmålinger har haft et andet sigte end de mere detaljerede elektromagnetiske undersøgelser i projekt AEM Greenland 1994 - 1998, nemlig den geofysiske kortlægning af regionale strukturer, er Aeromag projekterne ligeledes blevet fulgt med stor interesse af industrien. De regionale aeromagnetiske målinger indeholder information fra hele jordskorpen. Intrusioner og gangbjergarter giver ofte meget tydelige anomalier, og geologiske grænser og strukturer kan identificeres ved forskelle i anomalimønstrene. Aeromagnetiske målinger er derfor velegnede i forbindelse med regionale tektoniske studier. Dette er

glimrende illustreret i den rigdom af oplysninger, som er til stede i det aeromagnetiske anomalikort fra Godthåbsfjorden, baseret på data indsamlet i projekt Aeromag 1998, vist i Figur 4.

Det forventes at Aeromag undersøgelserne vil fortsætte i år 2000, hvor den sidste del af Vestgrønland vil kunne dækkes, så der vil være opnået kontinuert dækning af det vestlige Grønland fra Kap Farvel til nord for Nuussuaq.

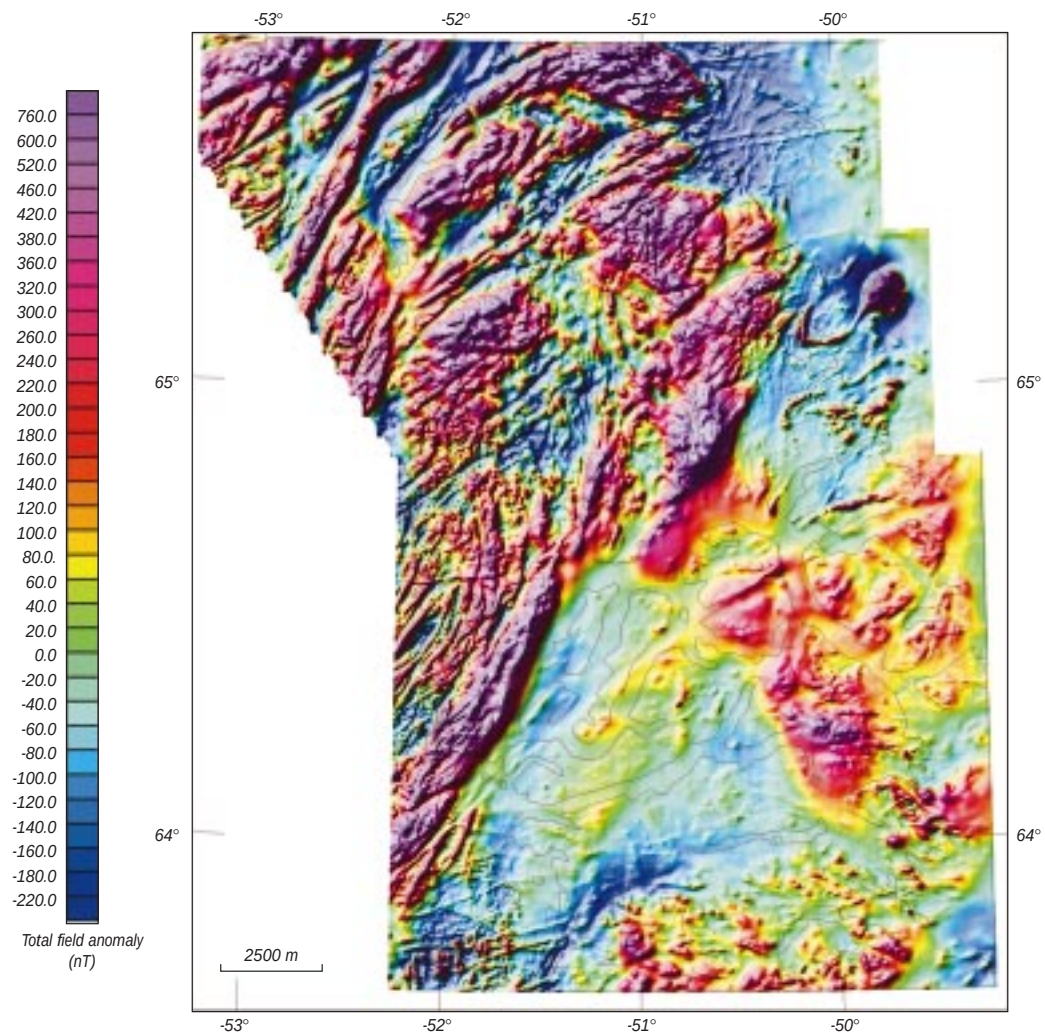
Som noget nyt har GEUS også bestræbelser i gang for at gennemføre hyperspektrale målinger fra fly i år 2000, rettet mod miljømæssige aspekter af mineområder i Grønland, idet GEUS deltager i en fælles projektansøgning til EU sammen med mange andre Geologiske Un-

dersøgelser inden for Euro-GeoSurveys regi. Det er samtidig tanken at forsøge metoden anvendt til påvisning af kimberlitter i Vestgrønland.

Endelig ser det ud til, at der er mulighed for at flybårne geofysiske metoder nu også vil finde anvendelse i Danmark; GEUS er involveret i en vurdering af anvendeligheden af flybårne elektromagnetiske målemetoder i forbindelse med amternes arbejde med zoner i de danske vandindvindingsområder. Hvis det besluttes at anvende metoden i Danmark, vil man også her i luften kunne se hvad der i Grønland af lokalbefolkningen er blevet døbt 'det flyvende tørrestativ'.



Figur 4: Et aeromagnetisk anomalikort over Godthåbsfjorden, Vestgrønland, baseret på data fra projekt Aeromag 1998. Selv uden at forstå de geofysiske enkeltheder illustrerer kortet på overbevisende måde, hvordan især regionale strukturer, men også detaljer i områdets geologiske opbygning, afsløres af de magnetiske anomalier.





GEUS' FORMIDLINGSVIRKSOMHED

Uddrag fra Virksomhedsregnskabets skema med resultatindikatorer.
Tallene viser oversigtligt GEUS' produktion udtrykt som antal "formidlingsenheder" inden for de nævnte "resultatindikatorer" fordelt på programområder.
Bortset fra GEUS-notater findes en fuldstændig publikationsliste på GEUS' internetsted: www.geus.dk.

Resultatindikatorer

Programområder

	Databanker og for- midling	Vand- ressourcer	Energi- råstoffer	Mineralske råstoffer	Natur og miljø	1998
Langsigtet vidensopbyg- ning						
Antal artikler i internationale videnskabelige tidsskrifter/ publikationer (m. referee)	-	15	34	25	45	119
Antal videnskabelige artikler i egne serier (m. referee)	-	-	2	6	4	12
Antal videnskabelige publi- kationer i øvrigt (u. referee)	-	4	4	-	5	13
Antal publicerede geologi- ske kort	-	-	-	2	2	4
Antal tematiske kort	-	-	-	5	-	5
Antal conferencebidrag	4	31	71	59	105	270
Løbende faglig opgave- løsning, rådgivning og formidling						
Antal offentligt tilgængelige rapporter	8	30	32	27	33	130
Antal fortrolige rapporter	-	1	41	3	2	47
Antal erhvervsrelaterede artikler	2	16	16	9	1	44
Antal notater, udtalelser, redegørelser m.v. (GEUS notater)	7	23	40	22	7	99
Generel formidling						
Antal institutionsrapporter (årsberetning, arbejdsprogram, projektkatalog, strategiplan)	7	-	-	-	-	7
Antal populærviden- skabelige artikler	49	-	-	-	-	49
Antal avisartikler, foredrag, udstillinger m.v.	94	-	-	-	-	94
Samlet formidling	171	120	240	158	204	893

Vandhul nær Farum Sø. Den ubarm-
hjertige natur lader den svage gå til
grunde; kun den stærke trives og
overlever. Livsvilkårene, eller miljøet i
videste betydning, ændrer sig uaflede-
ligt gennem tiden og det afspejler sig
i de dyre- og plantesamfund, som
geologerne finder resterne af i aflej-
ringerne på land og i havet.



GEUS' AFDELINGER

I dette afsnit bringes en kort karakteristik af GEUS' organisatoriske enheder og arbejdsopgaverne i de enkelte enheder. Beskrivelsen er opdelt i to dele; først omtales ADMINISTRATION OG SERVICEENHEDERNE, og derefter FORSKNINGSAFDELINGERNE. Bortset fra Direktionen der nævnes først, er enhederne omtalt i alfabetisk rækkefølge. Organisationsdiagrammet findes på side 30.

ADMINISTRATION OG SERVICE:

DIREKTION

*Ole Winther Christensen,
Administrerende Direktør (til 14/11-98)
Jens Morten Hansen,
Viceadministrerende Direktør (til 30/11-98)
Martin Ghisler,
Direktør; Konstitueret adm. direktør fra 15/12-98;
Administrerende Direktør fra 15/2-99.
Kai Sørensen,
Vicedirektør fra 1/3-99
Johnny Fredericia,
Konstitueret Vicedirektør fra 1/12-98; Vicedir. fra 19/3-99.
Kirsten Svarrer Nielsen,
Kontorfuldmægtig (til 28/2-99)
Maj-Britt Liljensøe,
Kontorfuldmægtig
Helle Dybdal Pedersen,
Kontorfuldmægtig
Gitte Linder Rasmussen
Kontorfuldmægtig fra 1/3-99
Carina Aarfelt Andersen,
Kontorfuldmægtig vikar fra 20/7-98 til 7/1-99*

ADMINISTRATIVT SEKRETARIAT

Økonomi- og personalechef Ole Bjørn Hansen

Arbejdsområder:

Sekretariatet varetager fælles administrative opgaver for institutionen, herunder sekretariat for bestyrelsen og direktionen, udarbejdelse af finanslovsbidrag og virksomhedsregnskab, styring af interne budgetter, personaleadministration og -udvikling, regnskabs- og kassetjeneste og juridisk rådgivning mv. Under sekretariatet sorterer sikkerhedsorganisationen, betjent- og receptionsfunktion, journal og kantine, samt administration i forbindelse med elever og jobtilbudsordninger, kurser m.m.

EDB

IT-chef Sten Troelstrup

Arbejdsområder:

Afdelingen har ansvar for opbygning, drift og videreudvikling af de centrale servere, netværk og udbuddet af fælles service og faciliteter som printere og plottere, for DBA-funkere og for anskaffelse og opsætning af pc'er, i nettet og som hjemme-arbejdspladser, og afdelingen yder brugerstøtte og afholder interne brugerkurser indenfor dette område. Det overordnede formål er at sikre en sammenhængende, tidssvarende og brugervenlig IT-installation der er så robust som muligt både i drift og i relation til kapacitetudvidelser og muligheden for at tilføje nye systemer og anvendelser, hvadenten det drejer sig om geologiske databaser, GIS-værktøjer, analyse- og tolkningsprogrammer, administrative løsninger og andet.

Afdelingen varetager GEUS' interesser i udformningen og realiseringen af Miljø- og Energiministeriets fælles IT-strategi, herunder PEA-projekter, og er GEUS-ansvarlig for År2000-projektet.

Ekkodalen på Bornholm er ca. 60 meter bred og 2 km lang og er orienteret nordøst-sydvest; det er Bornholms kendteste sprækkedal dvs. en dal i grundfjeldet begrænset af lodrette dalsider. Den stejle granitvæg, der giver det tydelige ekko, er opstået som følge af jordskorpebevægelser; hele dalbunden er sænket langs de brudlinier, der begrænser dalen. Dalen kan spores i undergrunden tværs over Bornholm fra Saltune i nord til Lobbæk i syd.

FAGLIGT DIREKTIONSSEKRETARIAT

Chefgeolog Arne Dinesen

Arbejdsområder:

Sekretariat for institutionens direktion i faglige anliggender, herunder bistand og redaktionelt arbejde ved udarbejdelse af arbejdsprogram, årsberetning, publikationskatalog, projekt-katalog og informationsblad. Koordinering af kvalitetsstyring af GEUS' produkter, samt varetagelse af udvalgte internationale aktiviteter.

FOTO OG GRAFISK ENHED

Tegnestueleder Henrik Klinge Pedersen

Arbejdsområder:

Grafisk tjeneste, herunder tegnestuefunktioner med DTP, video, multimedia og fotolaboratorium.

FORSKNINGSADFELINGER

GEOFYSIK

Statsgeolog Kai Sørensen (til 28/2-99)

Konstitueret statsgeolog Jens Jørgen Møller (fra 1/3-99)

Arbejdsområder:

Afdelingen er primært engageret i løsning af geologiske opgaver inden for programområdet energiråstoffer. Arbejdet omfatter deltagelse i forskningsprojekter (nationale såvel som internationale), kortlægning og udredning til brug for statslige styrelser samt kontraktopgaver især for olieselskaber. De fleste projekter, hvor afdelingens professionelle stab indgår, er multidisciplinære i angrebsvinkel. Til brug for tolkning af 2D & 3D refleksionsseismik råder afdelingen over otte Landmark arbejdsstationer. En række avancerede modellerings- og kortlægningsprogrammeller anvendes i forbindelse med efterforskningsopgaver og kortlægning af olie-gasfelter m.v., herunder software til basinmodellering, seismisk modellering og processing.

GEOKEMI

Statsgeolog Erik Thomsen

Arbejdsområder:

Afdelingens arbejde omfatter undersøgelse af materialer og kemiske processer mellem jord- og vandfase i den umættede zone og i grundvandszonen, såvel naturlige processer som processer forårsaget af menneskelig aktivitet (forurening m.v.). Endvidere organokemiske undersøgelser af kulbrinter og kildbjergarter for olie og gas samt forbrændingsteknologiske undersøgelser.

Undersøgelserne udføres dels med forskningsformål dels som anvendte undersøgelser af miljø-, energi- og råstofferhold for offentlige myndigheder og private. Afdelingen forestår driften af avancerede laboratorier indenfor vandressourceområdet (grundvandsdatering, mikrobiologi, molekyler biologi og miljøkemi) og olie/gas området (organisk geokemi, petrologi og SEM-EDX).

Afdelingen administrerer hydrokemiske og geokemiske databaser, og der rådgives om geokemiske forhold.

GEOLOGISK INFORMATION OG DATACENTER

Databankchef Finn Nyhuus Kristoffersen

Arbejdsområder:

Afdelingen er ansvarlig for institutionens databankvirksomhed vedrørende geologiske basisdata og har et tæt samarbejde med institutionens øvrige videnskabelige afdelinger som datamodtager, dataorganisator og dataleverandør. De centrale arkiver og prøvemagasiner rummer alle gængse datatyper fra olie/gas aktiviteter inden for rigsfællesskabet mellem Danmark, Grønland og Færøerne, maringeologiske data, samt oplysninger indsendt i henhold til råstof- og vandforsyningsloven. Endvidere varetages udstillingsvirksomhed og bibliotekstjeneste (søgning, udlån, udsendelse). Afdelingen formidler information og data til såvel interne brugere som olieselskaber, universiteter, amter m.v. Afdelingen har i den sammenhæng specialiseret sig i reproduktion af data, senest i effektiv overførsel af digitale data imellem forskellige medier.

GEOLOGISK KORTLÆGNING

Statsgeolog Niels Henriksen

Arbejdsområder:

Afdelingen udfører geologisk kortlægning med tilhørende geovidenskabelige undersøgelser i Grønland. Der arbejdes med 1) regionalgeologisk kortlægning i 1:500.000 til over-sigtsformål, 2) basal kortlægning i 1:100.000 over områder, der har særlig interesse for råstofeftersforskning eller har specifik forskningsmæssig relevans, og 3) geologiske specialundersøgelser med bl.a. kort i varierende skala fra 1:250.000 til 1:20.000. Emnemæssigt spænder afdelingens arbejde vidt, idet der foretages undersøgelser i prækambri-ske grundfjeldsområder, i proterozoiske til palæozoiske bas-sinområder, i palæozoiske foldebælter og i mesozoiske til tertiære sediment- og basaltområder. En væsentlig del af arbejdet er baseret på et videnskabeligt samarbejde med en række danske og udenlandske geologiske institutioner, hvis medarbejdere deltager i feltarbejdet og oparbejder materia-le indsamlet i forbindelse hermed.

GEUS' tyndslibslaboratorium samt laboratoriet for bjergarts-kemiske analyser er placeret i afdelingen. Afdelingens flyfo-tolaboratorium foretager udtegnning af geologiske og topo-grafiske kort efter flyfotos på fotogrammetrisk grundlag. Af-delingen varetager den overordnede administrative koordi-nering af feltarbejdet på Grønland og forsyner ekspeditio-nerne til Grønland med feltudrustning.

HYDROLOGI OG GLACIOLOGI

Statsgeolog Bjarne Madsen

Arbejdsområder:

Afdelingen arbejder med videnopbygning og rådgivning inden for de dele af det hydrologiske kredsløb, der vedrører forvaltning af vandressourcerne. Hovedvægten er lagt på grundvandet og dets samspil med overfladevandssystemer-ne, men også isdækkede områder og deres betydning for smeltevandsafstrømningen og klimaets udvikling indgår i afdelingens arbejde.

En væsentlig del af arbejdet vedrører beskyttelse og udnyt-telse af ferskvandsressourcerne, herunder undersøgelse og beskrivelse af de mekanismer og processer, der er af betyd-ning for grundvandets strømningsforhold. Det gælder fore-komst og mængde samt transport og spredning af opløste stoffer. Mere specifikt arbejder afdelingen med opgaver in-den for områderne grundvandsindvinding og ressourcevur-dering, grundvandsbeskyttelse og grundvandsrestaurering samt overvågning. Dette omfatter bl.a. analyser af grund-vandsressourcens størrelse og kvalitet på regionalt niveau gennem systematiske målinger og modellering. I forbindelse hermed varetager afdelingen GEUS' fagdatacenter funktion vedrørende det nationale overvågningsprogram på grund-vand. Desuden udvikles og opstilles der i øjeblikket en vand-ressourcemodel for hele landet, hvis formål primært er at beregne variation og udvikling i vandressourcens fordeling på regionalt og nationalt niveau som følge af ændringer i arealanvendelse, nedbør og vandindvinding.

På det glaciologiske område udfører afdelingen forskning in-den for masse- og energibalance for gletschere samt gletscherdynamik og hydrologi. Arbejdet omfatter tillige pa-læoklimatiske undersøgelser og kortlægning af gletscheræn-dringer med henblik på en bedømmelse af havspejlet under ændrede klimatiske forhold. Afdelingen driver og udvikler en national database for indlandsisen i Grønland. Databasen anvendes til udvikling af regionale modelberegninger, bl.a. til brug i globale atmosfæremodeller. En væsentlig side af de glaciologiske aktiviteter er knyttet til vandkraftplanlægning og -udnyttelse.

På grundlag af den opbyggede viden yder afdelingen rådgiv-ning til offentlige og private rekvirenter i både ind- og ud-land. Det gælder bl.a. danske og internationale bistandsop-gaver i Østeuropa og Den Tredje Verden samt Grønlands Hjemmestyre i vandkraftspørgsmål.

Opgaverne løses med anvendelse af en række værktøjer, der til stadighed vedligeholdes og udvikles og omfatter føl-gende: Modelleringsteknikker, aldersbestemmelse og spor-stofmålinger, geofysiske målemetoder (borehulslogs),

hydrauliske testmetoder, samt remote sensing teknikker. En væsentlig del af afdelingens aktiviteter er knyttet til forsknings- og udviklingsprojekter inden for de nævnte områder i tæt samarbejde med danske og udenlandske forskningsinstitutioner og ved deltagelse i nationale og internationale forskningsprogrammer inden for klima og miljø.

KVARTÆR- OG MARINGEOLOGI

Statsgeolog Johnny Fredericia (til 30/11-98)

Konstitueret statsgeolog Peter Gravesen (fra 1/12-98)

Arbejdsområder:

Afdelingen arbejder med videnskabelige undersøgelser inden for kvartærgeologi, herunder kvartær stratigrafi og jordbundsforhold. Afdelingen udfører geologisk, hydrogeologisk og råstofgeologisk kortlægning, herunder undersøgelse af specielle råstoffer f.eks. moler, tungsand og ler, samt praktisk geologiske undersøgelser bl.a. for private. Arbejdet omfatter desuden ingeniørgeologiske undersøgelser i forbindelse med større anlægsarbejder, og geologisk rådgivning over for råstof erhvervet og offentlige myndigheder i råstof- og fredningsspørgsmål. Afdelingen driver Vandressourcearkivet og Drikkevandsregisteret med bl.a. drikkevandsanalyser.

Oplysningerne i afdelingens arkiver og registre indgår i Fagdatacenteret for Boring- og Grundvandsdata – et af de fagdatacentre, som bl.a. står til rådighed for Miljøstyrelsens overordnede administration af vandhusholdningen. Arkiver og registre udgør samtidig det Nationale Referencecenter for Grundvand, der er en del af det danske netværk under Det Europæiske Miljøagentur. Konsulenttjenesten, som er offentlighedens indgang til geologisk rådgivning på GEUS, sorterer også under afdelingen. Afdelingen varetager den overordnede koordinering af institutionens anvendelse af Geografiske Informations Systemer (GIS) og rummer et "GIS laboratorium", der virker i samarbejde med ministeriets øvrige styrelser. Afdelingen varetager det Nationale Referencecenter for Jord og deltager i det Europæiske Temacentrum for Jord under Det Europæiske Miljøagentur samt i Dansk F&U Center for Jordrensning, der er et samarbejde mellem 5 forskningsinsti-

tutioner og 4 industrielle partnere.

Inden for maringeologi udføres, bl.a. som støtte for Skov- og Naturstyrelsen, kortlægningsopgaver med henblik på lokalisering af sømaterialer til byggeindustrien og afdelingen deltager i videnskabelige maringeologiske projekter i danske farvande og i farvandene omkring Færøerne og Grønland. Endvidere varetager afdelingen arbejdet med overvågning af sedimentforholdene i Øresundsområdet i forbindelse med bygningen af den faste forbindelse over Øresund.

MALMGEOLOGI

Statsgeolog Leif Thorning

Arbejdsområder:

Afdelingens hovedopgave er at varetage institutionens indsats vedrørende mineralske råstoffer i Grønland. Denne indsats har de senere år været præget af et klart politisk ønske om igen at gøre minedrift til et væsentligt fundament for samfundsøkonomien og velfærdsudviklingen i Grønland. Strategien for forskning og udvikling inden for mineralområdet i Grønland er tostrengt, idet den dels skal fremme indsamling og bearbejdning af geodata med henblik på at opbygge viden af væsentlig betydning for vurderingen af et områdes mineralpotentiale, og dels skal muliggøre anvendelse af denne viden til at afgrænse og karakterisere Grønlands mineralprovinser. Det er målet at indsamle og sammenstille tidssvarende geologiske, geofysiske, geokemiske data samt flere andre typer observationer over udvalgte områder med henblik på samtidigt at forbedre grundlaget for mineindustriens efterforskning i disse områder.

Sideløbende hermed gennemføres en målrettet udvikling af relevante metoder vedrørende bearbejdning, forståelse og udnyttelse af de forskellige typer data. Tidens generelle udviklingstendens mod stadig mere IT-baserede metoder til sammenstilling, analyse og præsentation af store komplicerede datamængder har stor indflydelse på de ovennævnte aktiviteter.

Afdelingen yder bistand til Råstofdirektoratet i Nuuk i forbindelse med efterforskning og udnyttelse af mineralforekom-

ster, herunder bl.a. behandling af ansøgninger samt myndighedsbehandling af selskabernes aktiviteter, og er involveret i forskellige informationsaktiviteter rettet mod den internationale mineindustri. Afdelingen driver en række databaser og arkiver af interesse for mineindustrien, herunder et borenærarkiv, malmdatabase samt en database for LANDSAT-billeder.

MILJØHISTORIE OG KLIMA

Richard Bradshaw

Arbejdsområder:

Afdelingen arbejder med naturlige og menneskeskabte miljøændringer i kvartærtiden særlig med hensyn til udviklingen i de sidste 15.000 år. Klimaændringers baggrund og effekt på miljøet undersøges ved analyse af bløde sedimenter fra havbund, søer og moser i hele det nordatlantiske område. Arbejdet omfatter tillige undersøgelse af udvikling af natur- og kulturlandskaber, arealanvendelse, ændringer i vandmiljøet, naturskovens langtidsdynamik og forureningspåvirkning i søer. Derudover ydes rådgivning vedrørende naturovervågning, klima, kulturmiljø, skovdrift, anlægsarbejder og krimineltekniske undersøgelser.

RESERVOIRGEOLOGI

Statsgeolog Niels Peter Christensen

Arbejdsområder:

Afdelingen varetager udredningsarbejde for det danske tilsyn med olie- og naturgasbevillinger. I den forbindelse udføres rådgivning vedrørende reservoirstørrelse, reservoregenskaber og indvindelige olie/gas mængder. Desuden deltager afdelingen i vurderingen af dybtliggende energilag i salthorste og sandlag, samt af mulighederne for underjordisk affaldsdeponering. I afdelingen gennemføres en række forskningsprojekter inden for kalkbjergarternes geologi og reservoirsimuleringsteknik sat i relation til struktur og sprækkeudvikling. Desuden forskes der i mulighederne for, at lagre store mængder CO₂ fra naturgasproduktion og

kraftværker i porøse dybtliggende sandlag. Under afdelingen sorterer et Kerneanalyselaboratorium, som udfører konventionelle og specielle analyser for såvel institutionen som eksterne kunder.

STRATIGRAFI

Statsgeolog Flemming Getreuer Christiansen

Arbejdsområder:

Afdelingens hovedopgave er at analysere og beskrive den geologiske udvikling af sedimentbassiner i og omkring Danmark, Grønland og Færøerne. Dette udføres ved hjælp af sedimentologiske, biostratigrafiske og strukturelle analyser af sedimenter, med det sigte at beskrive deres fordeling i rum og tid, samt deres aflejringsmiljø. Frem for alt udføres arbejdet for at klarlægge de geologiske forudsætninger for olie- og gas gasforekomster i Danmark, Grønland og på Færøerne, men afdelingen udfører også projekter i udlandet. I praksis udføres dette arbejde tværfagligt i samarbejde med andre afdelinger dækkende en bred vifte af metoder, især sedimentologi, mikropalæontologi, palynologi, geokemi, seismik og anden geofysik, som kombineres i udarbejdelse af større bassinsynteser.

Afdelingen deltager i stort omfang i primær dataindsamling i Grønland i forbindelse med feltarbejde og boreri med henblik på at vurdere efterforskningsmulighederne for olie og gas.

Rådgivning til Råstofdirektoratet i Nuuk vedrører især strategiovervejelser, tilladelsesvilkår, behandling af ansøgninger og myndighedsbehandling af selskabsaktiviteter. Endvidere deltager afdelingen i markedsføringen af olieefterforskningsmulighederne i Grønland, f.eks. ved udstillingsarrangementer i forbindelse med internationale møder, udsendelse af nyhedsbreve samt besøg hos olieselskaber.

GEUS, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, er en forsknings- og rådgivningsinstitution i Miljø- og Energiministeriet.

Institutionen har som hovedopgave at varetage kortlægning og dataindsamling samt forskning, rådgivning og formidling med det sigte at forbedre kendskabet til materialer, processer og sammenhænge, der har betydning for nyttiggørelse og beskyttelse af geologiske naturværdier.

Blandt institutionens opgaver på miljøområdet kan nævnes forskning og rådgivning vedrørende miljøbeskyttelse, vandforsyning, råstofindvinding og naturbeskyttelse.

Tilsvarende bistår institutionen myndighederne i administrationen af lovgivningen om udnyttelse af forekomster i Danmarks, Grønlands og Færøernes undergrund, herunder i varetagelsen af statens tilsyn med efterforskning og indvinding af olie og naturgas m.m. Desuden udfører institutionen i vidt omfang opgaver på kontraktvilkår.

I de forløbne år har institutionen publiceret en lang række kort og afhandlinger med resultaterne fra institutionens videnskabelige og praktiske virksomhed.

GEUS blev oprettet i 1995 ved fusion mellem Danmarks Geologiske Undersøgelse (DGU, oprettet 1888) og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GGU, oprettet 1946).



GEUS er en forsknings-
og rådgivningsinstitution
i Miljø- og Energiministeriet

ISBN: 87-7871-0066-9
ISSN: 1396-3317



Thoravej 8
2400 København NV
Danmark

Telefon: 38 14 20 00
Telefax: 38 14 20 50
E-post: geus@geus.dk
Internetsted: www.geus.dk

Danmarks og Grønlands
Geologiske Undersøgelse (GEUS)
Miljø- og Energiministeriet