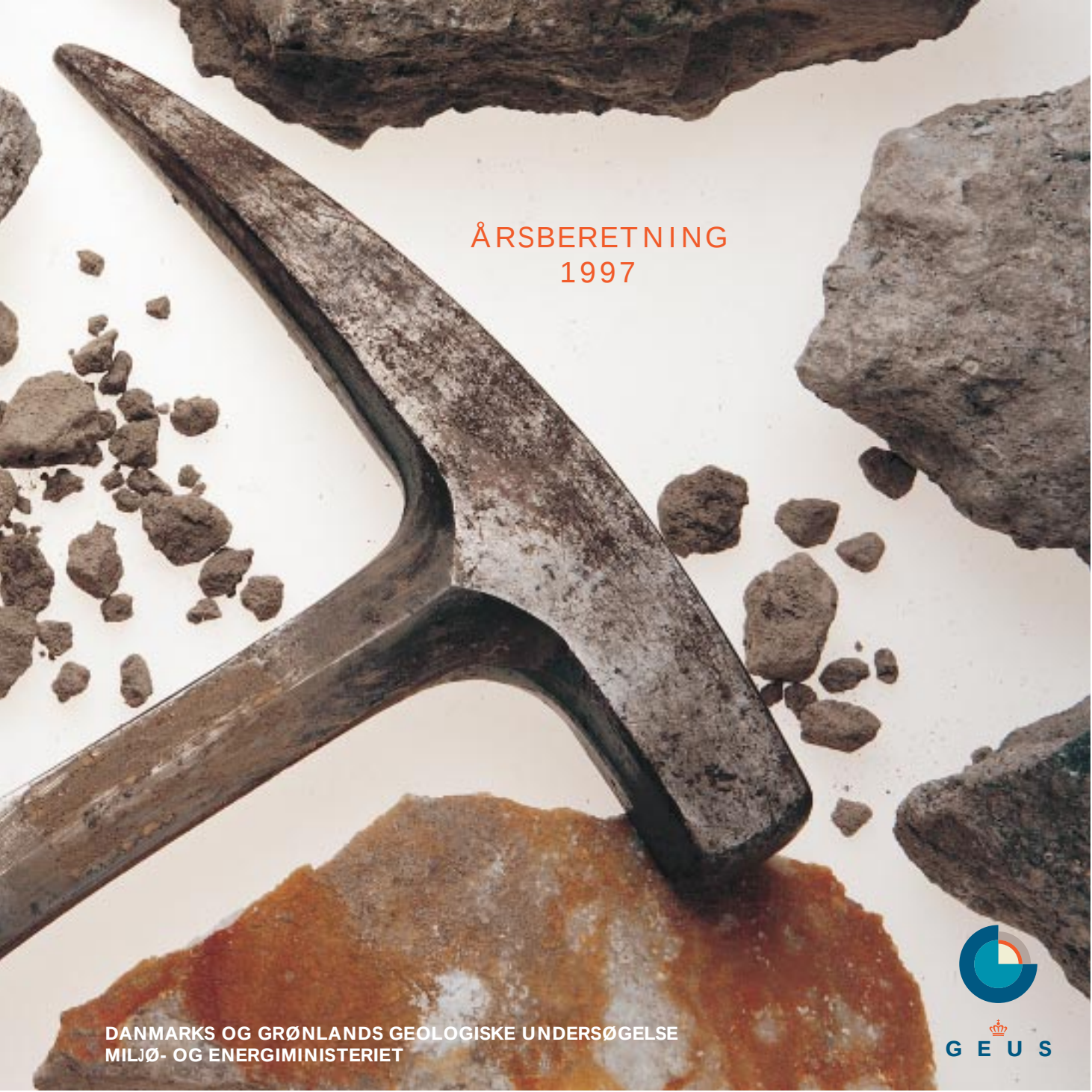
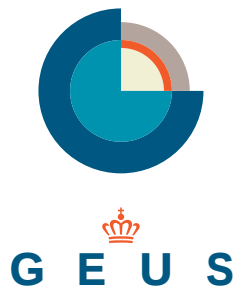


A geological hammer with a dark, weathered head and a lighter handle is positioned diagonally across the frame. It is surrounded by various rock samples: large, dark, crystalline fragments at the top and right; a cluster of small, dark, angular clasts on the left; and a large, flat, reddish-brown rock fragment at the bottom. The background is a plain, light-colored surface.

ÅRSBERETNING 1997

DANMARKS OG GRØNLANDS GEOLOGISKE UNDERSØGELSE
MILJØ- OG ENERGIMINISTERIET



ÅRSBERETNING FOR 1997

Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse
Miljø- og Energiministeriet

Udgivet af:
Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS)
Miljø- og Energiministeriet, 1998

ISBN: 87-7871-046-4
ISSN: 1396-3317

Omslag: Peter Moors
Tegning: Gitte Nicolaisen
Billedtekster: Knud Binzer
Foto: Peter Moors, Jacob Lautrup, Anne Vibeke Leth,
Agnete Steenfelt og Peter Friis Møller
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 1997.
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
Hjemmeside: www.geus.dk



INDHOLD

5	FORORD
	BERETNING:
6	GENERELT OM INSTITUTIONEN OG ARBEJDET
10	ARBEJDET PÅ PROGRAMOMRÅDERNE
12	Databanker, informationsteknologi og generel formidling
16	Vandressourcer
18	Energiråstoffer
22	Mineralske råstoffer og Grønlandskortlægning
26	Natur og miljø
26	GEUS' ORGANISATION
27	REGNSKAB FOR 1997
28	ØKONOMI 1997
30	GEUS' LEDELSE
31	GEUS' BESTYRELSE
	SPECIALARTIKLER:
33	JAGTEN PÅ RENT VAND
45	GEOLOGISK KORTLÆGNING I GRØNLAND - OG HVORFOR
55	MIKROBIOLOGI OG GEOLOGI - ET EKSPANDERENDE FORSKNINGSOMRÅDE
65	ET LEVENDE PRØVEARKIV
75	HAVBUNDENS GEOLOGI I NORDATLANTEN - FRA FÆRØERNE TIL ØSTGRØNLAND
89	OM BEGREBET NATUR
98	GEUS' FORMIDLINGSVIRKSOMHED (produktion)
100	GEUS' AFDELINGER (arbejdsområder)





FORORD

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

Den foreliggende *Årsberetning 1997* rummer en kort gennemgang af mål, aktiviteter og resultater samt regnskabs- og økonomioversigter. Dertil kommer 6 fagartikler, som belyser et udvalg af GEUS' mangesidige arbejdsopgaver.

GEUS' *Virksomhedsregnskab 1997* indeholder detaljerede oplysninger om sammenhængen mellem økonomiforhold og faglig indsats. Virksomhedsregnska-

bet tjener samtidig som afrapportering af fremdriften i GEUS' resultatkontrakt.

I en tredje publikation findes dels GEUS' *Projektkatalog 1998*, som udførligt fortæller om nyligt afsluttede og igangværende faglige opgaver, dels *Publikationskatalog 1997* med registrering af årets formidlingsaktiviteter på de enkelte program- og delprogramområder og på de strategiske indsatsområder.

Virksomhedsregnskab, Projektkatalog og Publikationskatalog kan rekvireres ved henvendelse til GEUS. Indholdet kan desuden

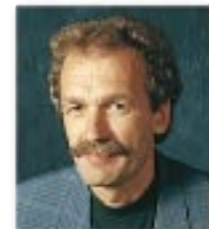
læses på GEUS' websider (www.geus.dk).

1997 er kendetegnet ved at være det første år, hvor det tidligere DGU og det tidligere GGU har fungeret som en fuldt integreret institution. Det er også det første år, hvor arbejdet har fundet sted under en resultatkontrakt, som er indgået mellem miljø- og energiministeren og GEUS' bestyrelse.

Det er vort håb, at læserne vil finde årsberetningen nyttig og informativ.

Anne Marie Nielsen
Bestyrelsesformand

Ole Winther Christensen
Administrerende Direktør



Skrivekridt er en af de mest karakteristiske bjergarter i Danmark.

Kridtet kommer frem i klinerne på Møn og Stevns og flere steder langs Limfjorden, hvor ordet "lim" netop er et gammelt ord for kalk eller kridt.

Skrivekridt er måske bedst kendt som et vigtigt råstof for cementindustrien, men bruges også som miljøvenligt råstof i papirindustrien, hvor der kan spares på træ til papirmasse og kemiske blegemidler ved fremstillingen. Kalk og kridt anvendes desuden som jordforbedringsmiddel i landbruget foruden til en lang række andre formål.

GEUS udfører geologisk kortlægning i forbindelse med efterforskning af mineralske råstoffer på land, til havs og i undergrunden.

Store Stejlebjerg, Møns Klint.

BERETNING

GENERELT OM INSTITUTIONEN OG ARBEJDET

1997 blev både fagligt og økonomisk et usædvanligt godt år for GEUS. Der har været fremgang på de fleste områder, og der er opnået en lang række væsentlige faglige resultater, som er nærmere omtalt i den følgende gennemgang af indsatsen på GEUS' faglige programområder. Programområderne vedrører:

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

GEUS' bestyrelse har for perioden 1997-99 indgået en resultatkontrakt med miljø- og energiministeren. I forbindelse hermed er det aftalt, at bestyrelsen hvert år skal udarbejde en redegørelse, som beskriver i hvilken udstrækning de fastsatte resultatmål er blevet nået i de(t) foregående år af kontraktperioden. Redegørelsen for 1997 ind-

går i Virksomhedsregnskabet. Målopfyldelsen i 1997 vurderes som helhed at være meget tilfredsstillende. Det gælder såvel for den samlede produktion som på de strategiske områder, hvor GEUS har valgt at gøre en særlig indsats. På programområderne Vandressourcer og Energiråstoffer ligger antallet af videnskabelige artikler publiceret i internationale tidsskrifter dog ca. 10% lavere end måltallet, som angives i resultatkontrakten. GEUS vil derfor i de kommende år arbejde på at øge antallet af internationale videnskabelige artikler på disse fagområder.

Såvel GEUS som Geologisk Institut ved Københavns Universitet er værtsinstitution for Dansk Lithosfærecenter (DLC), der finansieres af Danmarks Grundforskningsfond. Efter en international evaluering i 1997 har Grundforskningsfonden besluttet at videreføre DLC frem til 31. januar 2004. GEUS er administrativt ansvarlig for DLC medens den faglige ledelse er henlagt under Grundforskningsfonden.

GEUS indgår i projektering af et Geocenter på Østervold i København, sammen med Geologisk Institut, Geologisk Museum, Geografisk Institut (alle Københavns Universitet), samt med Dansk Lithosfærecenter. Arbejdet med etablering af Geocenter København forløb planmæssigt i 1997. I 1998 er der beklageligvis opstået problemer i forbindelse med en væsentlig overskridelse af budgettet. Problemerne forventes løst inden udgangen af 1998.

På tre af GEUS' faglige programområder har aktivitetsniveauet i 1997 været markant højere end forventet. Det gælder på Vandressourceområdet, hvor den politiske bevågenhed især er øget som følge af, at nedslivningen af pesticider til grundvandet har vist sig at udgøre et større problem end hidtil antaget, og at Vandmiljøplan I ikke har haft den påregnede effekt på nitratområdet. Regeringen har på den baggrund iværksat en række initiativer, herunder forsknings- og udredningsprojekter, der sigter mod at opretholde Danmarks gunstige vandforsyningsmuligheder. På pesticidområdet har

GEUS i 1997 således bidraget med et omfattende udredningsarbejde som led i et internationalt panels evaluering af Miljøstyrelsens godkendelsesprocedure. GEUS har desuden haft en lang række spørgsmål fra Folketinget og Miljøstyrelsen til udtalelse.

Det mere langsigtede arbejde med opbygningen af en landsdækkende vandressourcemodel er videreført under en projektkontrakt med Miljø- og Energiministeriets departement. En tilsvarende projektkontrakt dækker en del af GEUS' pesticidforskning. De to projektkontrakter, hvis løbetid oprindelig var 1996-1999, er på grund af tidskrævende udredningsarbejde m.v. forlænget med et år.

GEUS' arbejde med pesticidforskning er i 1997 først og fremmest foregået i Grundvandgruppens regi med finansiering fra det Strategiske Miljøforskningsprogram (SMP 96). GEUS varetager ledelses- og sekretariatsfunktion for Grundvandsgruppen under Det Strategiske Miljøforskningsprogram. Grundvandsgruppen er et center uden mure med deltagelse af 8 institutioner.

Aktivitetsniveauet på Databankområdet og på Energiråstofområdet har også været højere end forudset. Det hænger især sammen med det vellykkede forløb af 5. udbudsrunde vedr. olie- og gaslicenser på dansk sokkel, herunder det forberedende arbejde som olieselskaberne foretog i 1997. Selskabernes interesse for udbudsrunderen medførte, at salget af frigrivne data indbragte ca. 8 mio. kr. mod forventet 2 mio. kr. Desuden rekvirerede udenlandske licensansøgere rådgivningsydelser i betydeligt omfang på baggrund af, at GEUS' arbejde gennem årene har tilvejebragt en lang række forskningsresultater, som belyser mulighederne for at gøre nye fund af olie og gas i den danske del af Nordsøen.

På de to andre faglige programområder har aktivitetsniveauet stort set været som forventet.

På programområdet Mineralske råstoffer og Grønlandskortlægning skal nævnes udgivelsen af det geologiske kortblad "Dove Bugt" fra det centrale Østgrønland; endvidere fundet i Nordgrønland af en ny zink-bly-sølv mineralisering, der har vakt interesse hos mineindustrien.

En tungmineralundersøgelse i Danmark er afsluttet med påvisning af en større, muligvis kommerciel forekomst ved Skjern. Desuden er der udarbejdet en samlet oversigt over marine råstofforekomster i de indre danske farvande. Oversigten danner grundlag for Skov- og Naturstyrelsens fremtidige administration af råstofloven på havområdet.

På Natur og miljøområdet har den glaciologiske forskning sandsynliggjort, at afsmeltningen fra undersiden af flydende iskanter i Grønland kan have betydning for den globale klimaudvikling. Endvidere er der udviklet en metode til beregning af søvandets fosfatindhold gennem tiden ved hjælp af studier af søbundsaflejringer. Metoden muliggør, at ændringer i arealanvendelsen i søernes opland kan beskrives.

Arbejde med at omlægge de eksisterende jordartskort i Danmark til digitalt format er afsluttet. Der er stor interesse hos brugerne for de nye kort. Forskningen inden for jordforurening har vist at tjærestoffer kan indeles i stoffer, der nedbrydes i naturen, og stoffer der kun kan fjernes ved anvendelse af jordrensningsteknikker.

I det følgende afsnit er arbejdet og resultaterne på de faglige programområder nærmere uddybet.

Virksomhedsregnskab 1997 rummer en mere detaljeret redegørelse for sammenhængen mellem den faglige indsats og de økonomiske forhold samt et "Grønt Regnskab" for GEUS. I Virksomhedsregnskabet er desuden omtalt de skridt, der i 1997 er taget m.h.t. medarbejder- og organisationsudvikling, f.eks. ved udarbejdelse af kompetenceprofiler for personalegrupperne. Virksomhedsregnskabet er tilgængeligt på GEUS hjemmeside (www.geus.dk), men kan også rekvireres ved henvendelse til GEUS.

I 1998 fortsættes bestræbelserne på at opfylde resultatkontraktens målsætninger. Den planlagte anvendelse af de

mandskabsmæssige og økonomiske ressourcer fremgår i detaljer af GEUS' Arbejdsprogram, som specielt gør rede for opgaverne på de udpegede strategiske indsatsområder. Arbejdet vil bl.a. være fokuseret på etablering af et nyt varslingsystem for pesticider, udbygning af den nationale grundvandsmodel, intensiveret olie- og gasefterforskning på dansk og grønlandsk område samt nye projekter på mineral- og klimaforskningsområdet. Samlet er der forventninger om en moderat udvidelse af den økonomiske ramme gennem øget tilgang af eksterne midler.

Udsigterne for GEUS' aktivitetsniveau i årene efter 1998 er på nuværende tidspunkt mindre sikre som følge af de uafklarede finansieringsmuligheder, der især gør sig gældende fra år 2000 og frem. I en eventuel prioriteringssituation vil GEUS naturlig-

vis først og fremmest søge at opretholde aktivitetsniveauet på de strategiske områder, som er nævnt i den efterfølgende gennemgang af de faglige programområder.

Der kan i øvrigt læses mere i Virksomhedsregnskabet om forventningerne til de kommende år.

■ GEUS udfører undersøgelser af kuls og biobrændsels egenskaber. Resultaterne nyttiggøres af kraftvarmeværkerne i bestræbelserne på at forbedre udnyttelsen af brændslerne og derved begrænse udslip af bl.a. drivhusgasser. København Havn, Lynetten. Udsigt til det kulfyrede kraftvarmeværk Amagerværket.



ARBEJDET PÅ PROGRAMOMRÅDERNE

Databanker, informationsteknologi og generel formidling

Ressourceindsats	Realiseret 96	Budget 97	Realiseret 97	Budget 98
Årsværksforbrug	73	78	72	81
Samlet omsætning (mio. kr.)	38,6	41,1	37,8	40,3
Heraf basismidler (mio. kr.)	34,8	37,9	27,5	35,1
Ekstern finansiering (mio. kr.)	3,8	3,2	10,3	5,2
Ekstern finansierungsgrad	10%	8%	27%	13%

■ Hovedopgaverne på programområdet omfatter registrering og opbevaring samt udvikling og drift af systemer, som fremmer dataadgangen og dataudnyttelsen. Det drejer sig først og fremmest om lovpligtigt indberettede data fra aktiviteter på vand-, olie/gas- og råstofområderne. I databankerne indgår desuden resultaterne af GEUS' egen virksomhed. GEUS har fagdatacenterfunktioner vedr. undergrundsdata, borings- og grundvandsdata og i forhold til det Europæiske Miljøagentur.

Under programområdet hører endvidere GEUS' centrale edb-forvaltning, deltagelse i Miljø- og Energiministeriets fælles infor-

mationsteknologiske udviklingsprojekt samt formidlingsopgaver af generel art, såvel i forhold til omverdenen som internt.

■ GEUS søger løbende at effektivisere driften af databankerne, som er omkostningstunge og normalt lægger beslag på anseelige basismidler. Takket være investeringer i de foregående år og en ekstraordinær stor omsætning af frigrivne undergrundsdata i forbindelse med 5. udbudsrunde på dansk sokkel er det i 1997 lykkedes at begrænse den samlede ressourceindsats og trækket på basismidler.

Rationaliseringsbestrebelseerne omfatter en trinvis sammenlægning af det tidligere DGUs og GGUs omfattende datasamlinger i magasiner og arkiver. Sammenlægningen er videreført i 1997, og der er også på dette område opnået driftsmæssige fordele.

Et af resultatkontraktens strategiske indsatsområder (nr.3) vedrører en omlægning og sammenkobling af en række databaser med oplysninger om geologiske forhold, grundvandskemi, drikkevandskemi, vandindvinding m.v. til et integreret, GIS-baseret MiljøInformationsSystem (MIS). Testning af en foreløbig version af informationssystemet blev i

1997 påbegyndt i Miljøstyrelsen og på GEUS, og indarbejdelse af yderligere databaser blev forbedret.

GEUS har sammen med Energi- styrelsen fortsat bestræbelserne på at videreudvikle det fælles olie/gas-relaterede database- system (SAMBA) med henblik på systemeksport.

Omlægningen af GEUS' termi- nal-baserede hardware-syste- mer til servere fuldførtes, og der er derved opnået en årlig besparelse i driftsomkostninger- ne på 1,5 mio kr. Ligeledes er implementeringen af Miljø- og Energiministeriets "Projekt Elek- tronisk Arbejdsplads" afsluttet i årets løb, for GEUS' vedkom- mende.

I ndsatsen på generel formidling i 1997 har udover institutionsre- degørelser som årsberetning, virksomhedsregnskab, publikati- ons- og projektkatalog m.v. om- fattet 4 numre af det populærv- idenskabelige tidsskrift "GEO- LOGI-nyt fra GEUS", der bl.a. har belyst vandressource- og pesticid-problematikken. End- videre er en ny og stærkt for- bedret hjemmeside lagt på in- ternettet (www.geus.dk).



■ Et geologhold i Østgrønland er klar til at bli- ve fragtet med helikopter ud til feltarbejde i kortlægningsområdet. Flyveruten bliver gennem- gået med piloten.

Resultatet af feltarbejdet indgår siden i udar- bejdelse af geologiske kort i en målestok alt ef- ter formålet med kortet.

GEUS arbejder med færdiggørelsen af det over- sigtlige geologiske kortværk over Grønland i 1:500.000 og fortsætter den mere detaljerede systematiske kortlægning i 1:100.000. Desuden udarbejdes geologiske kort i større målestok i områder med muligheder for at indkredse øko- nomisk interessante mineralforekomster. Mestersvig i Østgrønland.

Vandressourcer

Ressourceindsats	Realiseret 96	Budget 97	Realiseret 97	Budget 98
Årsværksforbrug	50	52	61	65
Samlet omsætning (mio. kr.)	24,5	29,8	32,6	37,5
Heraf basismidler (mio. kr.)	15,9	19,5	17,5	23,4
Ekstern finansiering (mio. kr.)	8,6	10,3	15,2	14,1
Ekstern finansierungsgrad	35%	35%	46%	38%

■ Arbejdet på vandressourceområdet er især knyttet til følgende hovedopgaver:

1. Overvågning af udviklingen i grundvandets kvalitet, herunder årlig rapportering af amternes overvågningsresultater.
2. Etablering af en landsdækkende grundvandsmodel, som gør rede for størrelse, geografisk fordeling og tilgængelighed af vandressourcerne.
3. Undersøgelse af geologiske forhold og processer, som har betydning for, om miljøfremmede stoffer, først og fremmest pesticider nedbrydes eller

spredes i jordlagene og i vandmiljøet.

De senere års omlægning af aktiviteterne har medført, at indsatsen på de miljøfremmede stoffer er øget markant. Derimod er indsatsen på forureningselementer som nitrat, fosfat og tungmetaller kun af begrænset omfang.

For Grønlands vedkommende har de glaciologiske undersøgelser bl.a. til formål at skaffe viden om variationerne i smeltevandsmængderne til brug ved projektering af vandkraftanlæg.

■ Aktivitetsøgningen i 1997 har flere årsager. Der er således gennemført et større udredningsarbejde i forbindelse med en international evaluering af Miljøstyrelsens procedure for og godkendelse af pesticider. Der er desuden leveret mange bidrag til besvarelser af spørgsmål, som er rejst fra politisk eller administrativt hold, og der er igangsat yderligere udredningsarbejde bl.a. vedr. kvantificering af risikofaktorer for pesticidudvaskning og risikoen ved pesticidanvendelse på udyrkede arealer.

Medvirkende til aktivitetsøgningen er også, at GEUS har fået mulighed for at tilknytte en forskergruppe, som arbejder med udvikling af metoder til mikrobiologisk bekæmpelse af grundvands- og jordforurening.

Øgningen i den eksterne finansierungsgrad skyldes bl.a. tilgang af projekter, som finansieres af EU, forskningsrådene m.v.

Den årlige rapport om grundvandsovervågningen, der blev startet i 1988 som led i Vandmiljøplan I, blev udsendt 1. december 1997. Blandt observationerne er, at grundvandets nitratinhold ikke er mindsket, og at den vejledende grænseværdi på 25 mg/l, der anbefales vandværkerne, er overskredet i 25% af vandprøverne fra de filtersatte intervaller i overvågningsboringerne. På det foreliggende grundlag er det imidlertid ikke muligt at drage sikre konklusioner angående udviklingstendensen med hensyn til grundvandets nitratinhold siden iværksættelsen af Vandmiljøplan I.

Organiske mikroforureninger (klorerede kulbrinter, aromatiske kulbrinter og fenoler) er påvist i omkring 15% af de analyserede filtre i grundvandsboringerne (inkl. vandforsyningsboringer).

Der er samlet analyseret for godt 100 forskellige pesticider (inkl. få nedbrydningsprodukter). Heraf er et antal på omkring 35 påvist i grundvandet ved grundvandsovervågningsprogrammet eller ved vandværkernes råvandskontrol. Grænseværdien for pesticider i drikkevand på 0.1 mikrogram/l er overskredet i godt 4% af de filtersatte boringer i overvågningsprogrammet og i 5% af vandværkernes boringskontrolprogram. I det yngste, senest dannede terrænnære grundvand er antallet af påviste pesticider større end i ældre dybtliggende grundvand, idet hyppigheden aftager med dybden.

Arbejdet med de ovennævnte hovedopgaver vedr. en landsdækkende grundvandsmodel og pesticidundersøgelser er angivet som strategiske indsatsområder i resultatkontrakten (hhv. nr.5 og nr.7). Etableringen af grundvandsmodellen, der finansieres pr. projektkontrakt med Miljø-

og Energiministeriet, er fuldført for Fyns vedkommende, og modellen er testet med lovende resultat.

Pesticidundersøgelserne foregår overvejende i Grundvandsgruppens regi, med finansiering fra Det Strategiske Miljøforskningsprogram (SMP 96) i perioden 1996-1999. Det tværinstitutiønelle samarbejde er organiseret i 3 projekter. De to første er rettet mod forhold og processer, som har indflydelse på, om pesticider bindes, nedbrydes eller transporteres. Det gælder dels i jordlagene over grundvandsspejlet, dels i grundvandsmagasinerne. I det tredje projekt arbejdes med udvikling af modeller, som kan belyse spredningsmulighederne. En væsentlig del af indsatsen i 1997 er lagt på udvælgelse af egnede feltlokalteter og pesticidtyper samt på tilrettelæggelse og igangsætning af felt- og laboratorieforsøg.

En del af pesticidforskningen finansieres gennem kontrakt med Miljø- og Energiministeriet og vedrører udvikling af nye metoder til identifikation af pesticidtyper med henblik på screening af grundvand for pesticider.

Aktiviteterne i 1997 har været mindre end planlagt på grund af højt prioriteret udredningsarbejde.

Grundvandsgruppens arbejde under det første miljøforskningsprogram (SMP 1, 1992-1996) er afsluttet med fremlæggelse af en række nye forskningsresultater, som bl.a. viser, at de grundvandskemiske og hydrauliske processer primært foregår i de overfladenære grundvandsmagasiner. Det forventes at disse forskningsresultater bliver yderligere formidlet til en international forskerkreds gennem publicering i internationale videnskabelige tidsskrifter.

Den nye metode til grundvandsdatering, som er baseret på CFC-gasser, er blevet yderligere afprøvet og indkørt i løbet af 1997. Metoden er et nyttigt værktøj, bl.a. i forbindelse med pesticidundersøgelserne.

Strategisk indsatsområde nr. 6 i GEUS' resultatkontrakt vedrører en reorganisering og udbygning af det landsdækkende net af pejlestationer, der registrerer variationerne i grundvandsstanden. Arbejdet i 1997 har omfattet afprøvning af forskellige fabrikater af udstyr til

automatisk og kontinuerlig registrering af grundvandsspejlet. Andre grundvandsopgaver i 1997 består i et samarbejde især med Københavns Vandforsyning om indvindingsproblemerne som det Storkøbenhavn-ske område er stillet over for.

Ved hjælp af midler fra Miljøstøtteordningen og DANIDA er der desuden arbejdet med vandforsyningsprojekter i Østeuropa, Indien og Afrika.

Indsats vedr. de grønlandske vandressourcer er påbegyndt i tæt samarbejde med ASIAQ (Grønlands Forundersøgelser). Arbejdet sigter i første omgang mod udformning af en model, der kan beskrive de hydrologiske processer og massebalancer i arktiske egne.

■ På vore himmelstrøg, og andre steder med lignende geologisk opbygning af jordlagene, er søerne en synlig del af grundvandet. Det er her grundvandet kommer frem til jordoverfladen og opfylder lavninger i terrænet. Vandet i søerne indgår som en del af det hydrologiske kredsløb, hvor opholdstiden i søen kan være meget varierende afhængig af bl.a. afløb og fordampning fra søen. Søerne gemmer tillige på oplysninger om fortidens naturforhold. Boreprøver fra søernes bundaflejringer undersøges bl.a. for deres indhold af pollen (blomsterstøv) og fosfat. Resultaterne giver mulighed for at beskrive miljøudviklingen og arealanvendelsen omkring søerne gennem tiden.
Farum Sø nord for København.



Energiråstoffer

Ressourceindsats	Realiseret 96	Budget 97	Realiseret 97	Budget 98
Årsværksforbrug	118	105	121	110
Samlet omsætning (mio. kr.)	65,8	56,3	64,1	59,1
Heraf basismidler (mio. kr.)	25,5	25,3	25,3	29,0
Ekstern finansiering (mio. kr.)	40,3	31,0	38,8	30,2
Ekstern finansierungsgrad	61%	55%	60%	51%

■ Målsætningen for indsatsen på programområdet er at tilvejebringe et geologisk videngrundlag, der kan fremme effektiv efterforskning og udnyttelse af danske, grønlandske og færøske energiresourcer. Den opbyggede viden er forudsætningen for GEUS' rådgivning af myndighederne på energiområdet og for løsningen af faglige opgaver for erhvervslivet, især olieindustrien.

I Danmark er aktiviteterne på energiområdet primært knyttet til efterforskning og udnyttelse af kulbrinteforekomsterne i Nordsøen. Arbejdet er i resultatkontrakten placeret på tre strategiske indsatsområder (nr.8, nr.11 og nr.12).

Hovedopgaven på kulbrinteområdet i Grønland består i at bi-

drage til geologisk og geofysisk dataindsamling og i at formidle viden om det grønlandske potentiale med henblik på at tiltrække den internationale olieindustri. I resultatkontrakten er dette arbejde omfattet af to strategiske indsatsområder (nr.9 og nr.10).

På Færøerne foretager GEUS generelle geologiske undersøgelser og sammenstiller tilgængelig viden, der kan belyse områdets kulbrintepotentiale. GEUS rådgiver Færøernes Landsstyre i forberedelserne til en kommende udbudsrunde.

GEUS erfaringer på kulbrinteområdet udnyttes i forbindelse med danske bistandsprojekter bl.a. i Vietnam og i Baltikum. GEUS er i begrænset omfang engageret i udredningsopgaver

vedr. eventuel udnyttelse af geotermisk energi samt i forskningsprojekter, som sigter mod at opnå miljømæssige forbedringer i forbrændingsprocesserne for kul og biomasse. Geotermiarbejdet er strategisk indsatsområde ifølge resultatkontrakten (nr.13).

■ Aktivitetsniveauet har været højere i 1997 end påregnet. Det skyldes primært, at institutionen har løst en del udredningsopgaver som led i udenlandske oleselskabers forberedelse til 5. udbudsrunde på dansk sokkel. Udredningsarbejdet og projekter med støtte fra Miljø- og Energiministeriets energiforskningsprogram (EFP) har givet resultater, som kan bidrage til yderligere fund af olie og naturgas i den danske del af Nordsøen. Der er bl.a. opnået for-

bedret indsigt i kulbrinternes migration fra kildebjergarter til potentielle reservoirer samt i sandstensreservoirernes udbredelsesmønstre. En del af det efterforskningsrelaterede arbejde i 1997 er udført for olieselskaber, som opererer på norsk sokkelområde.

Med støtte fra Energiforskningsprogrammet er der indledt et 5-årigt samarbejdsprojekt med deltagelse af Mærsk olie og Gas A/S, DTU og GEUS. Projektet har til formål at skaffe viden, der kan bidrage til øget olieindvindingsgrad fra Nordsø-felter, der producerer fra tætte og lerede kalkstensreservoirer. GEUS har desuden deltaget i EU-finansierede projekter, der har til formål at udvikle sikrere reservoirsimuleringsmetoder, bl.a. for opsprækkede reservoirer.

I Vestgrønland er der udført feltarbejde i Disko-Nuussuaq-Svartenhuk regionen. I forbindelse med feltarbejdet er påvist olieudsvining i jordoverfladen i et langt større område end tidligere konstateret.

Et EFP-projekt vedrørende undersøgelse af grønlandske reservoirbjergarter er afsluttet. Desuden er en række 3-årige

projekter med finansiering fra Staten og Grønlands Hjemmestyre blevet afsluttet og rapporteret.

I Østgrønland og i Nordgrønland blev der gennemført feltundersøgelser som led i det danske Polarforskningsprogram (TUPOLAR) med støtte fra Statens Naturvidenskabelige Forskningsråd. Yderligere er et EFP-projekt om sekvensstratigrafi i Jameson Land afsluttet og rapporteret.

GEUS stod for koordineringen af det geologiske arbejde ved uddybningen af den færøske boring Lopra-1, der udførtes i 1996. Resultaterne blev i 1997 samlet og rapporteret i en foretørlig rapport, som blev forelagt for de olieselskaber, der finansierede boringen. I samarbejde med olieindustrien deltager GEUS i et projekt, som sigter på at forbedre de seismiske efterforskningsmetoder i basaltdekede sedimentområder. GEUS har desuden deltaget i havbundsundersøgelser som led i en vurdering af de miljømæssige og tekniske forhold, der må tages i betragtning ved kommende kulbrinteaktiviteter i færøske farvande.

Arbejde med relation til olie/gas efterforskning på internationalt område har med støtte fra DANIDA og EFP især været koncentreret omkring Vietnam. GEUS har ved hjælp af udstationerede medarbejdere i Hanoi og træningskurser i København bidraget til kompetenceopbygningen hos vietnamesiske fagfolk og myndigheder.

Som deltager i Energistyrelsens udvalg vedr. geotermi har GEUS medvirket i en vurdering af de geotermiske ressourcer, som står til rådighed for en række danske fjernvarmebyer. Det skønnes at betydelige producerbare ressourcer er til stede.

Et EFP-projekt, der karakteriserer aske fra biobrændsler, blev afsluttet. Flere projekter angående mulighederne for at opnå miljømæssige forbedringer i forbrændingsprocesserne ved kulfyring er igangsat i samarbejde med elværkerne. Med sigte på formindskelse af udslippet af drivhusgasser til atmosfæren er der desuden taget initiativ til vurdering af mulighederne for CO₂-deponering i undergrunden i et internationalt samarbejde.

Mineralske råstoffer og Grønlandskortlægning

Ressourceindsats	Realiseret 96	Budget 97	Realiseret 97	Budget 98
Årsværksforbrug	53	56	59	66
Samlet omsætning (mio. kr.)	41,6	46,7	45,8	49,3
Heraf basismidler (mio. kr.)	24,0	28,2	27,2	28,4
Ekstern finansiering (mio. kr.)	17,6	18,5	18,6	20,8
Ekstern finansierungsgrad	42%	40%	41%	42%

■ Hovedformålet med arbejdet på programområdet er at tilvejebringe et solidt grundlag for målrettet efterforskning og bæredygtig udnyttelse af mineralske råstoffer i Grønland og Danmark.

Indsatsen i Grønland omfatter en systematisk geologisk kortlægning af de isfrie landområder dels i en oversigtsmålestok på 1:500.000, dels i større detaljer i målestok 1:100.000.

I resultatkontraktperioden er en væsentlig del af kortlægningen placeret på et strategisk indsatsområde (nr.14), der vedrører kortbladet Kong Oscar Fjord, som dækker regionen mellem 72° og 75° N i det centrale Østgrønland.

Den generelle kortlægning følges op med indhentning af data og specialundersøgelser, som bidrager til belysning af det grønlandske råstofpotentiale. Gennemførelsen af regional evaluering af Sydgrønlands mineralressourcer er således udpeget som et særligt strategisk indsatsområde i resultatkontrakten (nr.15). Dataindhentningen, bl.a. af regionale aeromagnetiske målinger, og specialundersøgelserne medfinansieres af Grønlands Hjemmestyre, og resultaterne tjener til at styrke mineselskabernes interesse for mulighederne i Grønland.

Mineselskabernes efterforskningsaktiviteter er stærkt voksende, og mere end 70 licenser

er i kraft. Interessen er især rettet mod diamantforekomster men desuden mod metaller som guld, zink og nikkel. Nogle af licensaftalerne er kommet i stand på baggrund af guld- og zinkfund, som er gjort under GEUS' feltarbejde.

I Danmark foretages råstofkortlægning på land og maringeologiske undersøgelser i farvande. Der ydes bistand ved større offentlige anlægsarbejder (Øresund, Femern Bælt, Minimetro). Som strategisk indsatsområde (nr.16) under resultatkontrakten gennemføres en etapevis vurdering af de vigtigste danske råstoffer. Vurderingen gælder i første omgang kortlægning, kvalitetsanalyse og undersøgelse af

markedsforhold vedr. tungminerale og teglværksler.

■ Grønlandsopgaverne tegner sig for langt den største del af årsværksforbruget og af den totale omsætning på programområdet i 1997, mens indsatsen på råstofområdet i Danmark var relativt begrænset som følge af manglende finansieringsmuligheder.

Den systematiske Grønlands-kortlægning omfatter feltarbejde, bearbejdningssindsats og kortbladsfremstilling. I 1997 var der omfattende feltaktiviteter i Mestersvig-området som første led i udarbejdelsen af oversigtskortbladet Kong Oscar Fjord. Andet feltarbejde, men i langt mindre omfang, var desuden knyttet til en række kortlægnings- og forskningsprojekter i andre egne af Grønland.

Feltarbejde, der udførtes i perioden 1988-1990 er mundet ud i publikation af oversigtskortbladet Dove Bugt i målestok 1:500.000. Kortbladet dækker Østgrønlands-regionen mellem 75° og 78° N.

Bearbejdningen af materiale, som i årene 1993-95 indhentes fra Østgrønlands-regionen mellem 78° og 81° N er videreført, og udarbejdelse af kortblad og en række artikler om resultaterne pågår.

En særbevilling fra Grønlands Hjemmestyre har muliggjort, at 10 tidligere publicerede kortblade i målestok 1:500.000 er konverteret til digitalt rasterformat. Digitaliseringen, som vil blive udgivet som CD-ROM, har fundet sted specielt for at imødekomme mineindustriens behov. Hjemmestyret har også finansie-

ret videreførelsen af de resourcekrævende, geofysiske undersøgelser, som er specifikt rettet mod mineralefterforskning. Selve dataindhentningen varetages af geofysiske firmaer, mens GEUS forestår projektledelse og den efterfølgende præsentation og distribution af data i forhold til mineindustrien.

Med sigte på at øge mineindustriens interesse for Grønland er der i 1997 desuden gennemført geokemisk kortlægning og råstofgeologiske undersøgelser nord for Uumannaq i Vestgrønland samt malmgeologiske studier i det centrale Østgrønland og i Washington Land i Nordgrønland. I sidstnævnte område har GEUS lokaliseret en zinkbly-sølv mineralisering, hvis brydeværdighed nu vurderes af mineindustrien.

Indsatsen på den regionale resourceevaluering af Sydgrønland, hvor det tilhørende feltarbejde afsluttedes i 1996, har i 1997 overvejende bestået i afklaring af forskellige informationsteknologiske spørgsmål, herunder vedr. GIS-anvendelse. Bearbejdningssindsatsen ligger fortrinsvis i 1998.

■ Grejsdalen i det centrale Østgrønland



I Danmark har tungmineralundersøgelserne ført til indkredsning af en større og muligvis kommerciel forekomst ved Skjern. De lovende resultater er senere offentliggjort i en GEUS-rapport, som udkom i april 1998. Den etapevise gennemgang af danske råstoftyper fortsætter med teglværksler som emne. Med finansiering fra EU er igangsat et projekt angående diatomit-aflejringers, herunder molerets, anvendelsesmuligheder som filter- og bygningsmateriale.

I 1997 er der udarbejdet en oversigt over forekomsterne af sand og grus mv. i de indre danske farvande. Oversigten bidrager til at skaffe Skov- og Naturstyrelsen et grundlag for den fremtidige forvaltning af råstoffer på havområdet.

Der er desuden indhentet nye seismiske data fra Nordsøen som led i videreførelsen af den maringeologiske kortlægning, der sigter mod lokalisering af yderligere råstofforekomster. I tilknytning til de store offentli-

ge anlægsopgaver har GEUS sammenstillet maringeologiske data fra Femern Bælt til brug for Trafikministeriet. I Øresund er påvist en ny forekomst af koralalk. Den interessante forekomst er bl.a. undersøgt af dykkeruddannede GEUS-geologer.

■ Arbejder med etableringen af de faste forbindelser over Storebælt og Øresund involverer foruden ingeniørvidenskaberne også naturvidenskaberne.

I de forberedende faser indgår undersøgelse af geologiske forhold, som har betydning for fundering af bropiller og tunnelanlæg. Endvidere udføres undersøgelse af de bund- og kystmorfologiske konsekvenser af byggeriet og af materialeegenskaberne ved de råstoffer, der skal anvendes i selve bygningskonstruktionerne. Øresundsforbindelsen. Anlægsarbejderne ud for Limhamn.



Natur og miljø

Ressourceindsats	Realiseret 96	Budget 97	Realiseret 97	Budget 98
Årsværksforbrug	36	32	38	37
Samlet omsætning (mio. kr.)	18,9	21,4	21,1	26,4
Heraf basismidler (mio. kr.)	12,6	11,4	11,2	9,3
Ekstern finansiering (mio. kr.)	6,3	10,0	9,8	17,1
Ekstern finanseringsgrad	33%	47%	47%	65%

■ Programområdets formål er at tilvejebringe viden om natu-rens tilstand og udvikling i vor nærmeste fortid samt at forstå den nuværende tilstand som en funktion heraf. Kun derved kan der skelnes mellem på den ene side de naturlige tilstande og på den anden side de menneske-skabte forandringer.

Forskningen vedrører såvel de geologiske, hydrografiske, atmo-sfæriske og biologiske forhold på landjorden som i havet, i de ferske vande og i Grønlands is-kappe. Arbejdet omfatter den naturlige og menneskeskabte påvirkning af det ydre miljø frem til nutiden under istider og mellemistider, efter istiden, un-der landets bebyggelse og svin-gende befolkningstal, under op-dyrkning og landbrugsprodukti-

on, under afskovning og tilplant-ning under varierende klimati-ske, hydrografiske, udnyttelses-mæssige og forureningsmæssige betingelser m.v.

Formålet med GEUS' forskning på området er endvidere at kunne tilbyde befolkningen, myndighederne og andre for-skere en fundamental, videnska-belig forståelse af de forskellige miljøpåvirkningers betydning: En fundamental forståelse af begre-bet miljømæssig betydning i for-hold til tiden og naturens almin-delige forandring, således at der kan foretages en pålidelig frem-skrivning af klima-, miljø- og na-turudviklingen.

Programområdet omfatter des-uden jord, jordforurening, jord-rensning og den klassiske, de-taljerede geologiske jordarts-

kortlægning i målestok

1:25.000. Denne kortlægning af jordarterne umiddelbart under muldlaget er af betydning i en række sammenhænge, hvor op-lysningerne vil have en høj nyt-teværdi bl.a. i forbindelse med de kommende arealreformer omkring grundvandsbeskyttel-seszoner, braklægning, særligt følsomme landbrugsområder m.m.

Arbejdet med jordforurening og jordrensning er koncentreret om Dansk F&U-Center for Rensning af Jord og Sediment, der er oprettet af institutioner-ne bag "Danish Environmental Group" (DMU, VKI, RISØ, DTI og GEUS).

■ Aktiviteterne på den del af programområdet, som omhandler miljøhistorie og klimaudvikling, er hovedsageligt grupperet i tre af resultatkontraktens strategiske indsatsområder.

Et af indsatsområderne (nr.17) angår studier af klimaudviklingen, først og fremmest ved undersøgelse af sammenhængen mellem klimatiske ændringer og variationer dels i den grønlandske iskappes udbredelse, dels i vandudvekslingen over tærsklerne i Nordatlantens oceanbund. Forskningen i afsmeltningen fra undersiden af nordgrønlandske istunger, som flyder ud i havet, og i udviklingsforløbet for bundstrømmen fra Grønlandshavet og i de færøske farvande er fortsat i 1997. Resultaterne tyder på, at såvel afsmeltning som bundstrømsintensitet er af væsentlig betydning for det globale klima.

Et andet indsatsområde (nr.18) er af bredere miljøhistorisk art og rettet mod at udrede forholdet mellem naturbetingede og menneskefremkaldte træk ved det danske landskab, herunder søer og skove.

På søforskningsområdet er der udarbejdet en metode til bereg-

ning af udviklingen i søvandets fosfatindhold på basis af sammensætningen af fossilt plankton, der er bevaret i søbundens aflejringer. Ved kombination med pollenanalyser kan ændringerne i fosfatindholdet sættes i relation til ændringer i arealanvendelsen i søernes oplande. Denne type undersøgelser er i 1997 praktiseret ikke blot i Danmark og andre steder i Nordvesteuropa men også i Grønland, hvor menneskets påvirkning af landskabet er minimal.

Studierne af landskabsudviklingen har i en årrække været koncentreret om kulturlandskaberne og skovene. Med støtte fra flere forskningsråd og i samarbejde med Skov- og Naturstyrelsen, Aarhus Universitet, DMU og Forskningscenter for Skov og Landskab er der bl.a. foretaget undersøgelser af sammenhængen mellem graden af biologisk mangfoldighed og arealanvendelsen, og der er arbejdet på opstilling af egnede indikatorer for miljøtilstanden.

Forskningen omkring naturskove er opprioriteret. GEUS koordiner således et EU-projekt vedr. de nordvesteuropæiske skoves udvikling. GEUS' egen andel i projektet har bl.a. be-

stået i at udarbejde kort over de danske skoves potentielle træbestand gennem de seneste 3000 år ud fra en sammenstilling af pollenanalytiske resultater.

Miljøhistoriske forhold i Kattegat og Øresund er undersøgt i 1997 i samarbejde med svenske og tyske forskere.

Det tredje strategiske indsatsområde i resultatkontrakten (nr.19) vedrører de danske kysters tilstand, herunder kysternes stabilitet. I 1997 er der på dette område arbejdet med overvågning af den faste Øresundsforbindelses effekter på kyster og havbund med udgangspunkt i "baseline"-studier vedr. sedimentspild, erosion m.v. Sammen med Skov- og Naturstyrelsen og Kystinspektariatet er der desuden sat ind på at videreføre arbejdet med karakterisering af kysterne omkring Fyn.

Digitalisering af resultaterne af den hidtidige jordartskortlægning, der dækker omtrent 80% af Danmarks landareal, afsluttedes i 1997 med udgivelsen af yderligere ca. 400 kort i målestok 1:25.000.

Digitalkortene nyder betydelig interesse fra brugerside. Feltarbejde i udækkede områder på Lolland og i Salling fortsattes, og for Vejdirektoratet blev der sammenstillet jordarts-kort over planlagte motorvejstrækninger mellem Århus og Herning.

Udgivelsen i 1997 af bogen "Djurslands Geologi" betegner afslutningen på kortlægningsarbejde, som indledtes i forbindelse med Kolindsunds tørlæggelse for henved 100 år siden. Bogen rummer beskrivelse til det geologiske kortblad Djursland, som blev udgivet i 1995.

På jordforureningsområdet opnåedes kontrakt med bl.a. EU om forskning i monitorering og modellering af selvrensende effekter i opsprækket jord (kalk). Beslægtede projekter omkring oprensning af benzin- og tjæreforurenede grunde er iværksat med støtte fra hhv. Erhvervsfremmestyrelsen og Miljøstyrelsen. Forskningen inden for jordforurening viser bl.a., at punktforureninger fra tjærestoffer kan opdeles i en gruppe, hvor stofferne nedbrydes af sig selv i naturen, og en anden gruppe, hvor nedbrydning kun kan finde sted ved anvendelse af jordrensningssteknikker.

Endelig fortsatte samarbejdet med Statens Institut for Strålehygiejne angående den naturlige udsivning af radon, der i moderne byggeri menes at give anledning til en stor procentdel af tilfældene af lungekræft.

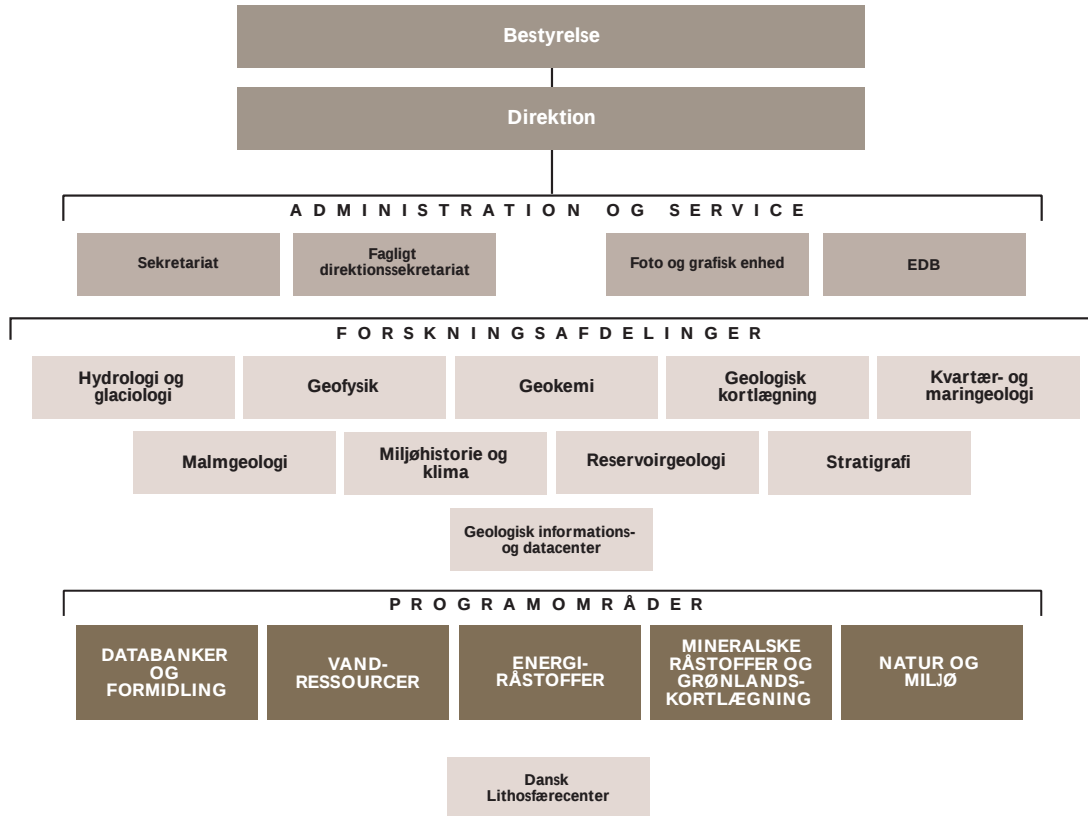
■ *Det urgamle grundfjeld og de yngre sedimenter mødes langs en brudlinie i den fennoskandiske randzone.*

Til højre ses dele af det henved 1500 millioner år gamle stærkt nederoderede skandinaviske grundfjeld. Til venstre kan man finde sedimenter aflejret i et havområde for 500-300 millioner år siden (kambrium, ordovicium og silur); et spring i tid på omkring 1000 millioner år.

Bjergarterne rummer en lang række oplysninger om dannelse og aflejningsmiljø. Medens grundfjeldet sjældent kan fortælle om muligheden for biologisk liv, vidner forsteninger i sedimenterne om et rigt og varieret biologisk liv under skiftende betingelser; f.eks. fra iltfattige til ilttrige bundforhold. Sådanne skift finder også sted i nutidens havbundsområder, som det nu og da rapporteres om fra de indre danske farvande. Fortiden var fuld af "miljøkatastrofer" set med nutidens øjne. Åkirkeby, på Bornholm.



GEUS' ORGANISATION



GEUS er organiseret med 10 forskningsafdelinger og fire administrative/serviceafdelinger. På tværs af funktionsopdelingen er der etableret en projektorganisation med 5 programområder, der i forbindelse med udarbejdelsen af det kommende års arbejdsprogram fungerer som rammerne for planlægningen af arbejdet. Indenfor hvert programområde delta-

ger medarbejdere fra flere forskellige forskningsafdelinger. Projektorganisation er med til at sikre institutionens helhed på tværs af de enkelte afdelinger og er medvirkende til at styrke og fremme såvel den faglige som den sociale udvikling. Der kan læses mere om organisationen på GEUS' web-side og i beskrivelsen af afdelingerne på side 100-104.

REGNSKAB FOR FINANSÅRET 1997

Regnskab for finansåret 1997

(mio.kr.)	Bevillinger (FL)	Regnskab
<i>Udgifter</i>		
Lønninger	110.00	114.60
Øvrige driftsudgifter	84.60	99.40
I alt udgifter	194.60	214.00
<i>Indtægter</i>		
Nettotal (tilskud)	122.30	122.30
Driftsindtægter	72.30	106.20
I alt indtægter	194.60	228.50
Årets resultat	-	14.50
Beløb overført fra 1996	-	7.00
Opsparing (beløb at overføre til 1998)		21.50

Regnskabet viser GEUS økonomiske dispositioner i 1997. Udgifterne var 214 mio.kr.

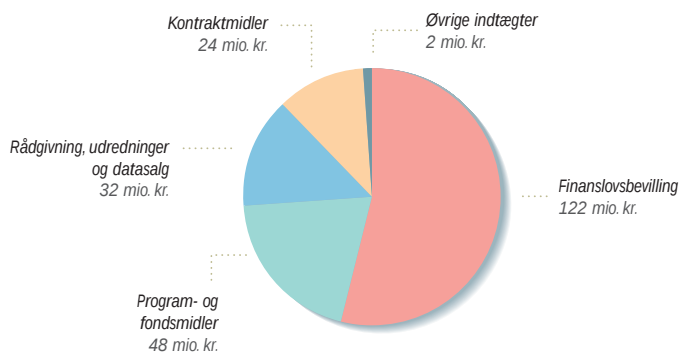
GEUS' drift blev dækket dels af finanslovsbevillingen og dels af indtægter ved salg af ydelser og data, forskningsbevillinger m.m.

Omtrent 50 % af GEUS' indtægter i 1997 kom fra eksterne midler.

Et mere detaljeret regnskab findes i Virksomhedsregnskab for 1997

ØKONOMI 1997

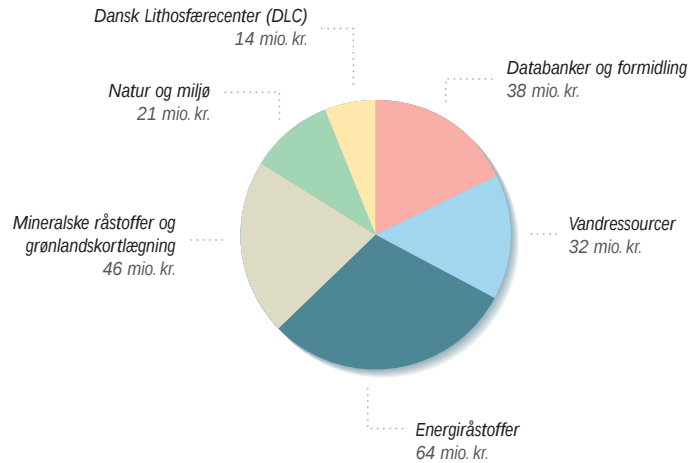
Indtægter fordelt på indtægtskilder (1997)



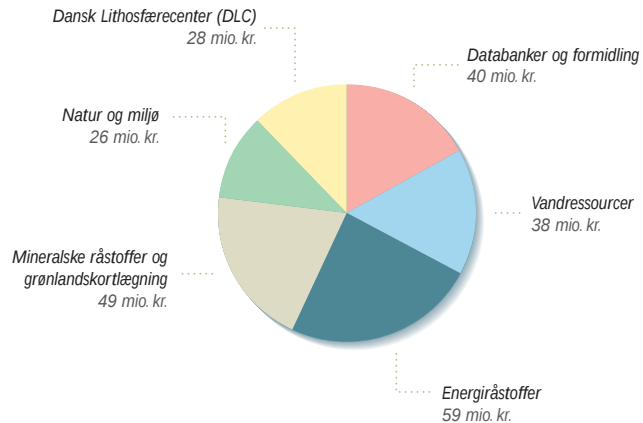
Figurerne viser oversigtligt de økonomiske ressourcer som GEUS havde rådighed over i 1997 (indtægtskilder), og hvorledes disse blev fordelt på aktiviteter (udgifter), samt det budgetterede forbrug i 1998 (udgiftbudget). Basisoplysninger er taget fra Virksom-

hedsregnskabet for 1997 og alle tal er afrundede. I Virksomhedsregnskabet findes en detaljeret resultatanalyse af GEUS' samlede virksomhed og af de enkelte programområder.

Udgifter fordelt på programområder (1997)



Udgiftsbudget fordelt på programområder (1998)



GEUS' LEDELSE

DIREKTION:

Ole Winther Christensen, administrerende direktør (14)

Jens Morten Hansen, viceadministrerende direktør (15)

Martin Ghisler, direktør (6)

ADMINISTRATION OG SERVICE:

Erik Stenestad, chefgeolog, (12)

Direktionskonsulent

Arne Dinesen, chefgeolog, (11)

Fagligt Direktionssekretariat

Ole Bjørn Hansen, kontorchef (ikke på foto)

Administrative sekretariat

Sten Troelstrup, EDB-chef (5)

Henrik Klinge Pedersen, tegnestueleder (13)

FORSKNINGSAFDELINGER:

Kai Sørensen, statsgeolog (3)

Geofysik

Erik Thomsen, statsgeolog (2)

Geokemi

Niels Henriksen, statsgeolog (4)

Geologisk Kortlægning

Bjarne Madsen, statsgeolog (16)

Hydrologi og Glaciologi

Johnny Fredericia, statsgeolog (8)

Kvartær- og Maringeologi

Hans Kr. Schønwandt, statsgeolog (til 31/12-97)(ikke på foto)

Malmgeologi

Leif Thorning, statsgeolog (1)

Malmgeologi

Richard Bradshaw, statsgeolog (9)

Miljøhistorie og Klima

Niels P. Christensen, statsgeolog (ikke på foto)

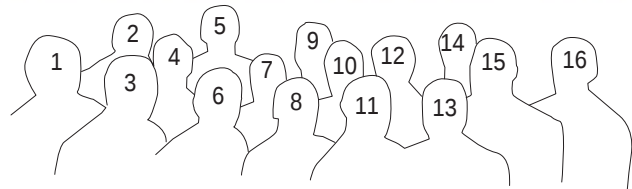
Reservoirgeologi

Fl.G. Christiansen, statsgeolog (10)

Stratigrafi

F.N. Kristoffersen, databankchef (7)

Geologisk Informations- og Datacenter



GEUS' BESTYRELSE

Anne Marie Nielsen, bestyrelsesformand, direktør cand.polit. (9)

Anders Bækgård, direktør, civilingeniør (1)
Danske Vandværkers Forening

Kirsten Friis, laboratoriefuldmægtig (2)
Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS)

Martin Heinesen, afdelingsleder, cand.scient. (3)
Naturhistorisk Museum, Tórshavn

Ole Christiansen, vicedirektør, cand.jur. (4)
Skov- og Naturstyrelsen

Gert Vigh, forvaltningschef, cand.jur. (5)
Råstofforvaltningen for Grønland

Jørgen Høj, direktør (6)
Dansk Olie og Naturgas A/S

Else Marie Friis, professor, lic.scient. (7)
Naturhistoriska Riksmuseet, Stockholm

Leo Larsen, underdirektør, cand.scient. (8)
Miljøstyrelsen

Hans Kr. Schönwandt (fra 1.1.98), direktør, mag. scient. (10)
Råstoffdirektoratet, Nuuk, Grønland

Jens Jørgen Møller, seniorrådgiver, cand.scient. (11)
Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS)

Peter Helmer Steen, vicedirektør, akademiingeniør (12)
Energistyrelsen



Ikke på foto:

Finn Surlyk, professor, dr.scient.

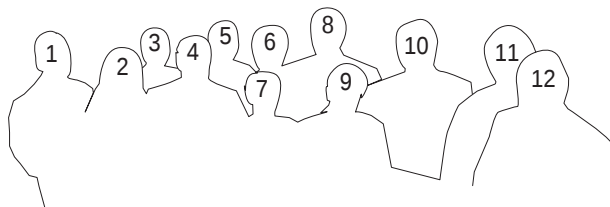
Geologisk Institut, Københavns Universitet

Lars Vesterbirk (indtil 31/12-97), direktør, cand.jur.
Råstoffkontoret, Nuuk, Grønland

Suppleanter:

Hans Kristian Olsen, chefgeolog, cand.scient.
(Suppleant for Lars Vesterbirk; fra 1.1.98 for H.K.Schönwandt)

Arni Olafsson, konsulent, cand.polit.
(Suppleant for afdelingsleder Martin Heinesen)





JAGTEN PÅ RENT VAND

Klaus Hinsby

Betydelige dele af grundvandet belastes i dag af menneskets aktiviteter i en sådan grad, at det ikke længere kan anvendes som drikkevand uden en kostbar og omhyggelig rensning. Derfor vælger man normalt at lukke de forurenede indvindingsboringer og eftersøge nyt uforurenet grundvand. Af eksempler kan nævnes Københavns Vandforsyning, der i de senere år har lukket ca. 80 ud af omkring 750 vandforsyningsboringer primært på grund af forurening med pesticider og organiske opløsningsmidler, og Esbjerg Vandforsyning, der i øjeblikket eftersøger nye uforurenede vandressourcer svarende til omtrent 80 % af deres forbrug. Esbjergs eksisterende vandforsyning er delvist ødelagt af organiske opløsningsmidler, der menes at stamme fra bombningen af en flyveplads under anden verdenskrig.

GEUS arbejder nationalt og internationalt med at kortlægge grundvandsressourcerne og med at udvikle og forbedre redskaber til bæredygtig forvaltning af ferskvandsressourcen. Det gøres bl. andet ved opstilling af integrerede hydrologiske og geologiske modeller for grundvand og overfladevand, inklusive mere specielle tilfælde som gletcherafsmeltning på Grønland og lignende. GEUS har for egne midler eksempelvis netop afsluttet en 345 m dyb boring på Rømø. Boringen er udført i et delvist EU finansieret forskningsprojekt vedrørende forvaltning af kystnært grundvand.

I det følgende gives en kort beskrivelse af hvordan og hvornår vi begyndte at påvirke grundvandet, hvilke processer og stoffer vi kan registrere i det, og hvor vi normalt finder "det rene gamle vand". Yderligere opfordres der til, at vi i nær fremtid tager stilling til, hvordan vi ønsker at forvalte vores dybtliggende grundvandsressourcer.



Grundvand dannes af vand, der fordamper fra jordklodens overflade og senere falder som nedbør over landområderne for til sidst at ende i havet. Vandet indgår i et uendeligt kredsløb, hvor opholdstiderne i de enkelte led af kredsløbet er meget forskellige; fra få minutter til millioner af år. Det er tankevækkende, at et enkelt vandmolekyle kan opholde sig i vidt forskellige medier gennem tiden, bl.a. biologiske; f. eks. i en dinosaur, en hval, en plante eller i et menneske.

Vandets kredsløb, kvalitet og alder

Grundvand dannes af vand, der først og fremmest fordamper fra havet og senere falder som nedbør over landområderne. Her siver nedbøren stille og roligt ned gennem jordens umættede zone til grundvandet, hvor det fortsætter rejsen tilbage til havet gennem jorden og vandløbene (fig.1). Uforurenat nedbør er groft set en fortyndet udgave af havvand, idet vand-

dampene i atmosfæren fortættes omkring små havsaltpartikler og falder som regn; men nedbør som er upåvirket af mennesket forekommer ikke længere på jorden.

Utilstrækkelige mængder af rent ferskvand er et globalt problem, der har stor international opmærksomhed (FN 1997), og forureningen af grundvandet er stigende over hele verden (Falkenmark og Wärneryd, 1998).

Grundvandets kvalitet er gennem de sidste 50 år i stigende grad blevet påvirket af menneskets aktiviteter. Den stigende belastning af grundvandet og det omgivende miljø er nøje knyttet til den kraftige befolknings- og forbrugsvækst og dertil knyttede produktionsformer og affaldsmængder. I takt med forureningen af atmosfæren, nedbøren og de øvre jordlag forurenes en større og større del af grundvandsressourcen.

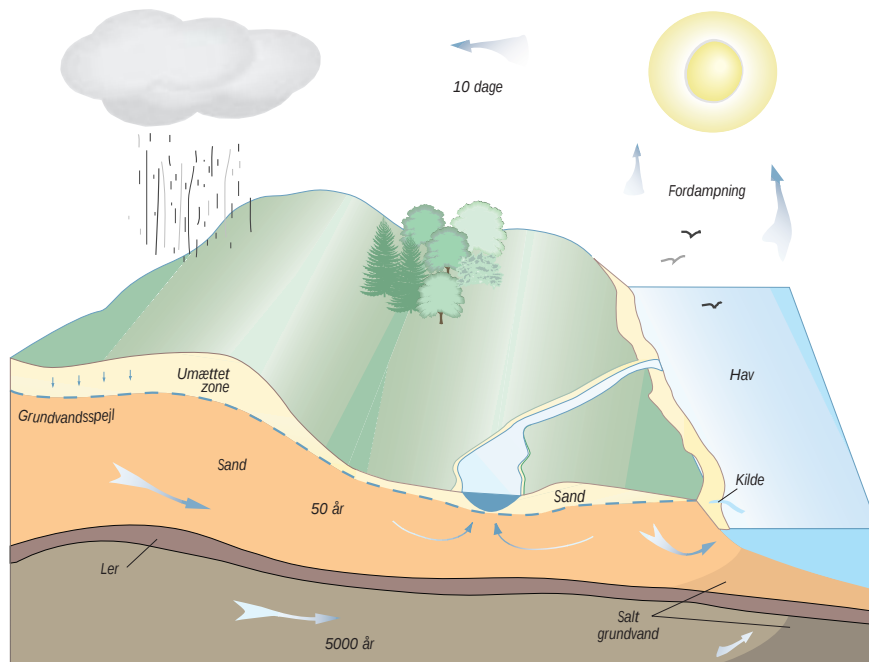
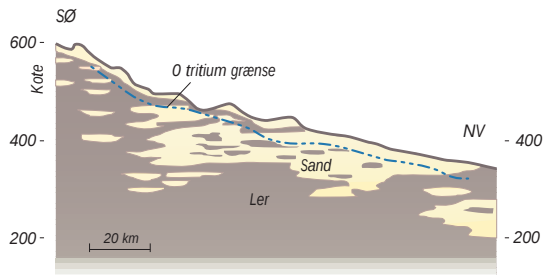


Fig.1. Vandets kredsløb med angivelse af typiske grundvandsaldre i forskellige dele af grundvandsmagasinerne.

Fig. 2. Beliggenheden af tritium-grænsen i et tysk grundvandsmagasin nær München. Grænsen markerer omtrentlig nedslivningsdybde for grundvand, der er yngre end ca. 50 år.



Konsekvensen heraf er, at rent drikkevand forudses at blive et af det 21. århundredes store globale problemer (Henriksen og Madsen, 1997), der potentielt kan resultere i krig (Baumann, 1998).

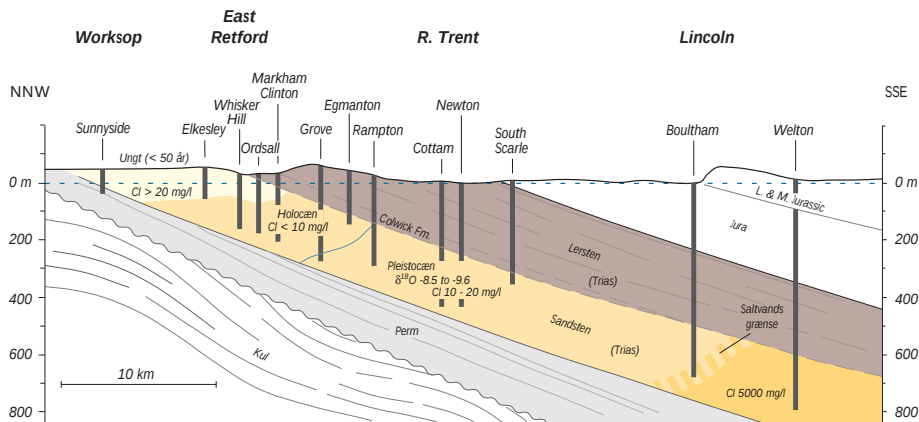
En stor del af grundvandet i dybere dele af grundvandsmagasinerne er ældre end 50 år; det vil sige at vandet, som har dannet grundvandet, er faldet som nedbør for mere end 50 år siden. I dette "gamle" vand kan vi normalt ikke registrere menneskelig påvirkning eller forurening. Generelt vil man registrere ungt forurenet vand i toppen af grundvandsmagasinerne, men

under et bestemt dybdeniveau findes gammelt "jomfrueligt" vand (Hinsby et al., 1998a og b). I fig. 2, der er baseret på en tysk undersøgelse, er dette forhold illustreret ved beliggenheden af grænsen mellem tritium-holdigt og tritium-frit grundvand. Tritium findes ikke i grundvand, der er ældre end 50-100 år. Der forekommer en naturlig baggrundsværdi for tritium i nedbør, men tritium-indholdet blev forhøjet op mod 1000 gange i begyndelsen af 60'erne umiddelbart efter en række atomforsøg i atmosfæren. Den radioaktive tritium-isotop har en halveringstid på 12,4 år, og da baggrundsværdien er relativt, lille henfal-

der tritium-isotopen indenfor 50-100 år til et ikke målbart niveau.

Grundvand kan dog være meget ældre end 100 år. Eksempelvis udnyttes grundvand, som er dannet i slutningen af sidste istid, og som har opholdt sig i grundvandsmagasin i omkring 20.000 år, mange steder i verden, blandt andet i England, Frankrig, USA og Estland. Dette grundvand indvindes normalt fra flere hundrede meters dybde. Fig. 3 viser et geologisk profil fra en klassisk undersøgelse i "East Midlands Triassic sandstone" magasinet i England (Edmunds et al., 1982) med

Fig. 3. Geologisk tværprofil af det engelske grundvandsmagasin "East Midlands Triassic sandstone aquifer". Bemærk! grundvandet i den nedre del af magasinet (Pleistocæn) er ældre end ca. 15.000 år og kan derved være på alder med eller ældre end afslutningen af den sidste istid.



påvisning af forskellige vandtyper og -aldre (bemærk! pleistocæn viser istidvand). Grundvand der er mellem 100 og 45.000 år gammelt dateres ved hjælp af C^{14} -metoden, eventuelt med støtte fra stabile ilt-isotoper o.a., der kan angive faldende temperatur ved overgangen til sidste istid.

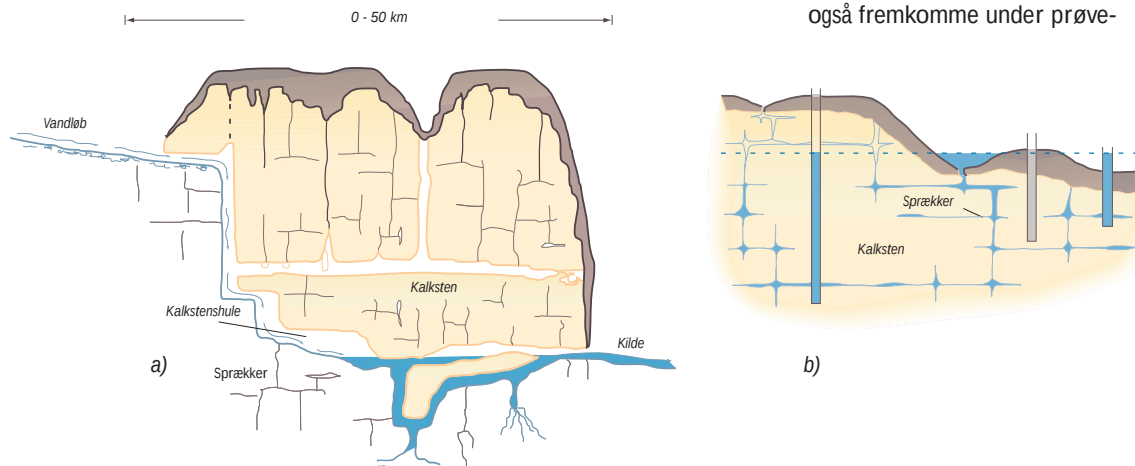
I forskning vedrørende anvendelsen af stabile isotoper i det hydrologiske kredsløb udførte den danske geofysiker Willi Dansgaard et stort pionerarbejde (f.eks. Dansgaard, 1954), der har resulteret i omfattende globale forsknings- og monitoringsprogrammer. Disse programmer har stor betydning for etablering af en bæredygtig forvaltning af ferskvandsressourcerne.

Grundvandets underjordiske strømning

For bedre at forstå, hvordan grænsen mellem ungt forurenat grundvand og gammelt rent grundvand (fig. 2 og 3) dannes, kan grundvandets strømning i grundvandsmagasinerne med fordel beskrives ved hjælp af "stempelstrømningsmodellen". Ved stempelstrømning bevæger de opløste stoffer sig med grundvandet langs strømningslinier uden mærkbar spredning af stoffet i grundvandet. Det medfører at gammelt grundvand dybt i grundvandsmagasinerne, inklusive stoffer, der er opløst heri, langsomt fortrænges af ungt grundvand ofte med opløste forureninger. Det gamle og det unge grundvand vil med tiden strømme ud til recipienter-

ne (vandløb, søer og havet), fig. 1. Det skal bemærkes, at der kun tales om vand, der deltager i vandets naturlige kredsløb.

"Stempelmodellen" bruges ofte til at beskrive strømning og stoftransport i sandede grundvandsmagasiner, der er den fremherskende magasintype i Danmark. Andre strømningsmodeller eksisterer f.eks. for opsprækkede bjergarter og karstområder. I sidstnævnte tilfælde vil grundvandet ofte være blandinger af grundvand med flere forskellige aldre, idet sprækker med forskellige typer grundvand kan løbe sammen og blandes i en større sprække (fig. 4a og b). Blandingen af forskellige vandtyper med forskellige aldre kan opstå ved sådanne naturlige processer, men kan også fremkomme under prøve-



■ Fig. 4. Grundvandsforekomst i karstområder(a) og i opsprækkede kalkmagasiner(b)



■ *Undersøgelse af foruren
grund i Københavns nordvest-
kvarter, hvor GEUS har til huse.*

tagning i sandmagasiner, hvis boringernes udbygning ikke forhindrer "kortslutning" mellem forskellige grundvandsmagasiner, der fra naturens hånd er adskilt af lerlag. Sådanne blandinger og kortslutninger kan afsløres ved analyse af forskellige sporstoffer, og mængdeforholdene mellem de enkelte vandtyper vil i mange tilfælde kunne fastlægges ved hjælp af sporstofferne.

Hvordan påvirker vi grundvandet ?

Skønt menneskets påvirkning af atmosfærens og nedbørens sammensætning har været markant stigende i de sidste par hundrede år, hvilket man kan

måle i is- og søbundskerner, så kan disse påvirkninger generelt ikke spores i grundvandet så lang tid tilbage. Målbare globale ændringer i grundvandskemien forårsaget af menneskelige aktiviteter forekommer først i de seneste ca. 50 år, illustreret f.eks. ved den blotte tilstedeværelse eller det forhøjede indhold af tritium (H^3), krypton (Kr^{85}) og freon (CFC-gasser) i grundvandet.

De "menneskeskabte" sporstoffer anvendes derfor til at definere "ungt grundvand" dvs. grundvand, der er yngre end 50 år (Plummer et al., 1993). Sporstoffer som tritium kaldes

hændelsesmarkører. De markerer hændelser som f.eks. de omtalte atomprøvesprængninger i atmosfæren i begyndelsen af 60'erne. Prøvesprængningerne forårsagede en meget markant top i atmosfærens og dermed nedbørens indhold af en række radioaktive isotoper i 1963.

Stoffer som krypton og CFC-gasser kaldes miljøsporstoffer. Det er stoffer som vedvarende udledes til miljøet og kun langsomt nedbrydes, således at de transporteres rundt og kan findes i de forskellige dele af vandets kredsløb. Krypton-85 koncentrationen i atmosfæren er langsomt stigende på grund

af stadige udslip fra klodens atomkraftværker. CFC-gasserne, der siden 1920'erne har været anvendt som køle- og opblæsningsmiddel i industrien, slipper ligeledes ud til atmosfæren. Disse gasser nedbrydes kun langsomt og medvirker samtidig til nedbrydning af ozonlaget. En del af krypton og CFC gasserne i atmosfæren opløses i nedbøren og siver ned gennem jordlagernes umættede zone (fig. 1) til grundvandet.

Ved at sammenholde målinger af gasserne i grundvandet med koncentrationsmålinger i atmosfæren gennem tiden er det muligt, et hvilket som helst sted på jorden at bestemme hvornår nedbøren faldt og begyndte sin vandring mod grundvandet og dermed gøre det muligt at foretage en aldersbestemmelse af vandet.

Som supplement til ovenfor nævnte sporstoffer er det ofte muligt lokalt at anvende andre sporstoffer til påvisning af ungt, forurenet grundvand. Det er især kemikalier som anvendes i landbrug og industri, der forurener grundvandet; men affald fra almindelige husholdninger kan også forurene, f.eks. lækager på olie- og septiktanke eller ned-

sivning fra deponeret husholdningsaffald. Forureninger forekommer naturligvis ikke overalt, men afhænger af produktionsmetoder og befolkningstæthed. Forureninger fra landbrug er "fladebelastninger" da de forekommer regionalt, mens forureninger fra lossepladser og industrilækager stammer fra "punktkilder". Mange steder kan man måle forureninger i grundvandet, selv langt fra den oprindelige punktkilde, som et tydeligt "fingeraftryk" af menneskelig aktivitet, og som en indikation på ungt vand og uheldig omgang med kemikalier.

Det er ikke alle målelige menneskelige påvirkninger af grundvandet, der er skadelige eller uheldige for miljøet, men en stor del af de nævnte stoffer er enten sundhedsskadelige for mennesker og dyr eller med uheldig effekt på naturlige balancer i miljøet. Man kan inddele stofferne i kategorier, der er defineret af deres effekt på miljøet. Tager vi landbruget som eksempel, så kan stofferne herfra inddeles i tre kategorier:

1) Stoffer uden toksiske effekter på planter, dyr og mennesker og generelt uden negative påvirkninger af miljøet, f.eks. klorid.

2) Stoffer med ingen eller relativt ringe toksisk effekt, men med mulighed for negativ påvirkning af miljøet gennem forstyrrelse af den naturlige balance, f.eks. nitrat, der kan medføre algeopblomstring, iltsvind og fiskedød.

3) Stoffer med betydelig toksisk effekt på planter, dyr og mennesker f.eks. pesticider, der produceres og anvendes netop på grund af deres skadelige virkninger på planter og dyr.

■ *Eksempler på typiske forureninger fra forskellige kilder*
I tabel 1 er angivet nogle eksempler på miljøbelastende forureninger fra de tre hovedkilder til grundvandsforurening. Efterfølgende gives en kort uddybning af problemstillinger i tilknytning til de omtalte forureninger.

Forureningskilder	Forurenings typer		
	organiske	uorganiske	biologiske
Landbrug	pesticider	nitrat, fosfat	sygdomsfremkaldende virus og bakterier (ex. salmonella)
	metaboliter*		
Industri	opløsningsmidler	svovl	sygdomsfremkaldende virus og bakterier (ex. salmonella)
	olie og benzin	kvælstof	
Husholdning	vaskemidler	nitrat, fosfat	
	pesticider		sygdomsfremkaldende virus og bakterier (ex. salmonella)
	metaboliter		

* nedbrydningsprodukter fra f.eks. pesticider

Blandt de mest alvorlige og sundhedsskadelige forureninger fra landbruget hører pesticiderne. Pesticider udgør en meget stor gruppe af giftstoffer som anvendes til en lang række mere eller mindre specifikke formål indenfor landbrug, gartneri, havebrug o.l., og de kan spores i grundvand dannet indenfor de sidste 50 år. En hel del pesticider er blevet forbudt gennem årene på grund af deres giftighed overfor mennesker og dyr. Et eksempel er DBCP, der stadig registreres i mange grundvandsmagasiner i U.S.A. trods det faktum at DBCP ikke er blevet anvendt siden 1979. Det illustrerer forsinkelseseffekten. Hvis stoffet nemlig ikke nedbry-

Landbrug



des relativt hurtigt, eller kun nedbrydes under sjældent forekommende geokemiske forhold i grundvandsmagasinerne, så vil disse stoffer kunne registreres i grundvandet i årtier eller måske århundreder. Det medfører også at de stoffer, som udgør det

største forureningsproblem for vores drikkevand i øjeblikket, og muligvis i de næste årtier, teoretisk set kan være stoffer, der ikke har været anvendt de sidste 20 år eller mere. Omvendt vil svært nedbrydelige stoffer, der evt. først er taget i brug for nylig, for alvor kunne dukke op i danske vandforsyningsboringer om 20-30 år. Den nye CFC-teknik til aldersbestemmelse af ungt grundvand (Hinsby et al., 1997, Hinsby et al., in prep.), som i øjeblikket integreres i Vandmiljøplanens overvågningsprogram, forventes at kunne give værdifulde oplysninger om pesticidernes spredning i grundvandet.

En af de mest almindelige og alvorlige industri-forureninger af grundvandet stammer fra opløsningsmidlet TCE (trichlorethylen). Kun en lille del af et TCE-spild kan opløses i vand og transporteres med grundvandet gennem grundvandsmagasinerne. TCE er i lighed med olie kun svagt opløseligt i vand, men er modsat olie tungere end vand. Tunge ikke blandbare væsker som disse tilhører en stofgruppe, der samlet benævnes DNAPL's (Dense Non Aqueous Phase Liquids). Stoffernes egenskaber er meget uheldige ved spild eller lækage, idet de hurtigt kan sprede sig horisontalt over store områder, og/eller

Industri

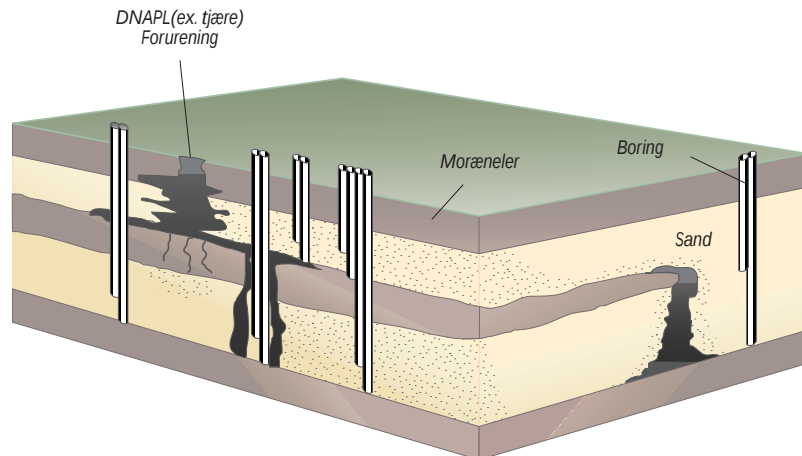


synke dybt ned i grundvandsmagasinerne. Samtidig kan de trænge ind i de mindste sprækker i bjergarterne (Hinsby et al.1996), hvor de i praksis er umulige at fjerne igen. Her kan forureningen så ligge i århundreder og

langsomt men sikkert forurene meget store mængder grundvand.

TCE-forureninger er et eksempel på, at selv om grundvand er forurenet, er det ikke nødvendigvis sikkert, at grundvandet er dannet indenfor de sidste halvtreds år. TCE-forureningen på eller ved jordoverfladen kan således være trængt gennem sprækker og kanaler i de øvre jordlag ned til grundvand i underliggende magasiner (fig. 5), hvor grundvandet kan være dannet for mange hundrede år siden. Derved er det muligt at true store mængder gammelt, uforurenet grundvand.

Fig. 5. Illustration af spredning og nedsivning af DNAPL's (ex. tjære eller TCE) til dybe dele af grundvandsmagasiner



Historisk set er der ingen tvivl om at virus og bakterier er ansvarlige for langt de største forurenings- og sundhedsproblemer, der har været forbundet med brugen af overfladevand og overfladenært grundvand. Kole-raepidemier er velkendte eksempler fra de forrige århundreder. Årsagen til disse forureninger er primært dårlig adskillelse af spildevand og drikkevand. Alvorlig forurening fra husholdninger er i dag sjældne. Lækager fra septiktanke o.l. med udslip af sygdomsfremkaldende virus og bakterier, eksempelvis Salmonella, medfører dog lejlighedsvis stadig alvorlige grundvandsforureninger selv i den vestlige verden. Det anslås således at knapt 1 million amerikanere hvert år bliver syge af drikkevand med for højt indhold af virus og bakterier. Ca. 900 af disse sygdomstilfælde har dødelig udgang. Grundvandsforureninger fra husholdning og landbrug vurderes at være ansvarlig for ca. halvdelen af sygdomstilfældene (Yates and Yates, 1993). De amerikanske tal er, ligesom tal fra resten af den vestlige verden, in-tet at regne mod tilsvarende tal fra udviklingslandene.

Husholdning



Det er omtalt, hvordan jordens voksende befolkning i stigende grad påvirker kvaliteten af grundvandet. Behovet for bedre beskyttelse og udnyttelse af grundvandsressourcen er åbenlys. Det er nødvendigt at kontrollere og styre udviklingen af det unge grundvands kvalitet, således at det i fremtiden kan anvendes som drikkevand. De dybtliggende velbeskyttede grundvandsressourcer udgør et alternativ til det unge forurenede vand, men ressourcerne er begrænsede, og det bør overvejes hvorvidt dele af dem skal reserveres til eventuelle nødsituationer. I hvilket omfang vi kan og bør udnytte dybtliggende gammelt grundvand må undersøges nøjere. Det kan være af stor betydning at have velbeskyttede reserver af gammelt uforurenet grundvand i tilfælde af længere varende tørke, alvorlige forureningsulykker (f. eks. på atom-

kraftværker) eller biologisk, kemisk, atomar krig eller terror (Hansen, 1998). Vandforsyningskonflikter opfattes af nogle højtstående militærfolk som værende blandt de potentielt farligste konflikter i det næste århundrede (Baumann, 1998).

Danmark har stærke traditioner og stor viden på miljø- og grundvandsområdet. Denne viden, som vil være til stor gavn ved den fremtidige forvaltning af den nationale grundvandsressource, kan også anvendes i rådgivnings og samarbejdsprojekter i Østeuropa og den tredje verden til gavn for det regionale og globale miljø.

Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse bidrager gennem deltagelse i nationale og internationale forsknings- og rådgivningsprojekter til at forbedre redskaberne til fordeling af klodens ferskvandsressourcer. Den videnopbygning der foregår gennem etableringen af den Nationale Vandressource Model, driften af Vandmiljøplanens overvågningsprogram og udviklingen af nye metoder til aldersbestemmelse af grundvand vil få stor betydning for den fremtidige administration af grundvandsressourcen.

Referencer:

Figur 2 efter Seiler & Lindner, 1995
 Figur 3 efter Edmunds et al., 1996
 Figur 4a efter Freeze & Cherry, 1979
 Figur 4b efter White, 1993
 Figur 5 modificeret efter Mackay and Smith, 1993

Baumann, T. 1998: Krig om vand ?
 Udenrigs 1 - 1998, 69-76.

Dansgaard, W. 1954: The O^{18} -abundance in fresh water. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 6, 241-260.

Edmunds, W.M., Barker, J.A., Buckley, D.K., Darling, W.G., Milne, C.J. and Smedley, P.L.. 1996: Coastal aquifers of the UK: palaeowaters, natural controls and human influences. In: Edmunds, W.M. (ed.): Background and description of study areas. Background report for the EU project "PALAEAUX" - Management of coastal aquifers in Europe - Palaeowaters, natural controls and human influence, EU Fourth Framework Programme (Climatology and Natural Hazards), ENV4-CT95-0156 British Geological Survey.

Edmunds, W.M., Bath, A.H. & Miles, D.L. 1982: Hydrochemical evolution of the East Midlands Triassic sandstone aquifer, England. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 46, 2069-2081.

Falkenmark, M. & Wärneryd, O. 1998: Preface to the Report from the international workshop "How to cope with degrading groundwater quality in Europe". In: Hilding-Rydevik, T. & Johansson, I. (eds.): FRN-Report 98:4 Swedish Council for Planning and Coordination of Research.

FN 1997. Comprehensive assessment of the freshwater resources of the world. Report of the Secretary-General. Economic and Social Council Commission on sustainable development, fifth session, 7-25 April.

Freeze, R.A. & Cherry, J.A. 1979: Groundwater. New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs 604 pp.

Hansen, J.S. 1998: Øget Risiko for biologisk terror. *Univers, Berlingske Tidende* 4. Sektion, 21-4-98, 4-5.

Henriksen, H.J. & Madsen, B. 1997: Ferskvand ! Det 21. århundredes hovedproblem ? (also available in english: "Freshwater! the 21st century's most serious resource problem ? "). *Geologi - Nyt fra GEUS*, 2/97.

Hinsby, K., Thomsen, A., Laier, T., Engesgaard, P., Larsen, F., Jensen, K.H., Busenberg, E. & Plummer, L.N. in prep: Transport and degradation of CFC-gases in a sandy aquifer with pyrite controlled nitrate reduction, Rabis Creek, Denmark.

Hinsby, K., Loosli, H.H. & Edmunds, W.M. 1998: Palaeo/modern water interface. In: Edmunds, W.M. (ed.): Second annual report from the EU research project "PALAEAUX" - Management of coastal aquifers in Europe - palaeowaters, natural controls and human influence. *British Geological Survey*.

Hinsby, K., Larsen, F., Nielsen, O.J., & Laier, T. 1998: Grundvandets alder. *Naturens Verden* 2/98, 72-80.

Hinsby, K., Laier, T., & Dahlgaard, J. 1997: Datering af grundvand - ved hjælp af CFC. *Geologisk Nyt* 2/97, 6-9.

Hinsby, K., McKay, L.M., Jørgensen, P.R., Lenczewski, M., & Gerba C. 1996: Fracture aperture measurements and migration of solutes, viruses and immiscible creosote in a column of clay-rich till. *Ground Water* 34, 1065-1075.

Mackay, D.M. & Smith, L.A. 1993: Organic Contaminants. In: Alley, W.M. (ed.): *Regional Ground-Water Quality* 323-343. New York: Van Nostrand Reinhold.

Plummer, L.N., Michel, R.L., Thurman, E.M. & Glynn, P.D. 1993: Environmental tracers for age dating young ground water.

In: Alley, W.M. (ed.): *Regional Ground-Water Quality*, 255-294. New York: Van Nostrand Reinhold.

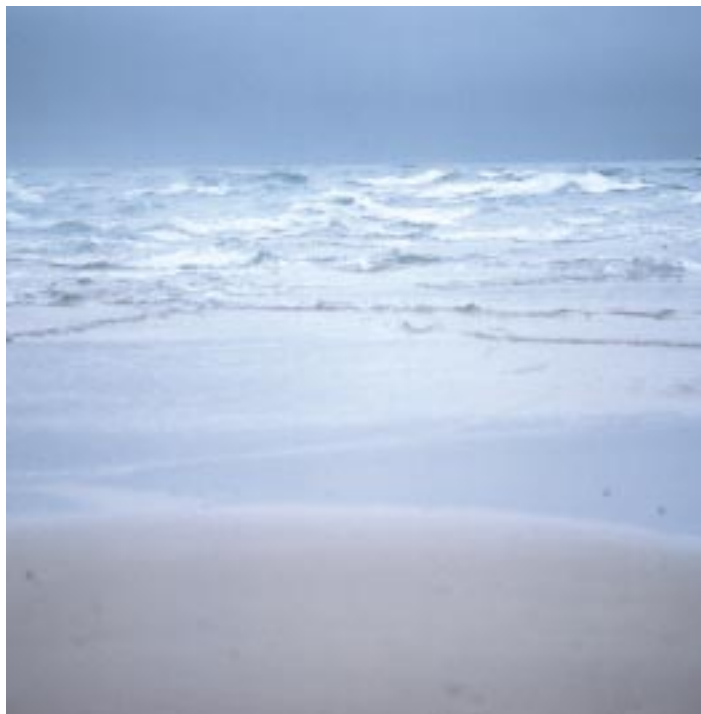
Poulsen, E.M. & Rasmussen, J.D. 1996: Vand skal der til - Esbjerg Vandforsyning 1896-1996. Esbjerg Byhistoriske Arkiv, skriftrække B nr.18, 143pp. Esbjerg.

Seiler, K.-P. & Lindner, W. 1995: Near-surface and deep groundwaters. *Journal of Hydrology* 165, 33-44.

White, W.B. 1993: Analysis of Karst Aquifers. In: Alley, W.M. (ed.): *Regional Ground-Water Quality* 471-489. New York: Van Nostrand Reinhold.

Yates, M.V. & Yates, S.R. 1993: Pathogens. In: Alley, W.M. (ed.): *Regional Ground-Water Quality*, 383-404. New York: Van Nostrand Reinhold.

■ Land, hav og luft mødes.
I disse medier foregår det uendelige hydrologiske kredsløb, kun af og til forsinket af midlertidige ophold i levende organismer.
Skagens Odde; Kattegat og Skagerrak mødes på Grenen.





GEOLOGISK KORTLÆGNING I GRØNLAND - OG HVORFOR

Niels Henriksen

Behovet for en kortlægning af et lands geologiske forhold er baseret på det simple faktum, at man må vide noget om landets opbygning for at kunne forholde sig til anvendelsen og beskyttelsen af dets naturrigdomme og naturgivne forudsætninger. Endvidere har ethvert civiliseret og udviklet samfund behov for videnskabeligt og undervisningsmæssigt at have viden om og indsigt i de materialer og processer, der ligger til grund for landets geologiske opbygning, også set i relation til de omgivende nationer og i en global sammenhæng. Specielt er mulig-

hederne for fund af mineralske råstoffer og energiråstoffer (olie og gas) baseret på et solidt indblik i landets geologiske udvikling.

En geologisk kortlægning består i en registrering af forskellige bjergartsenheders forekomst og udbredelse og sammentegning af resultaterne på et kort, der er en hensigtsmæssig måde at præsentere de indsamlede data på. Kortene fremstiller sædvanligvis de bjergartsenheder, der forekommer ved jordens overflade, og enhederne vises med forskellige signaturer eller far-

ver. Endvidere kan man på kortene anføre en række andre stedrelaterede geologiske feltobservationer, f.eks. målinger af bjergartsenhedernes rumlige geometri (strukturgeologi), angivelse af prøveindsamlinger, angivelse af enhedernes aldersrelationer m.v. Kortene er det daggrundlag, der sammen med de geologiske basisundersøgelser giver brugerne et overblik over et områdes geologiske opbygning. Kortene kan herefter benyttes til at vurdere områdernes ressourcepotentiale og kan danne udgangspunkt for en videre efterforskning.



Øvre proterozoiske kalksten fra Andrée Land Gruppen i det kaledonske foldebælte i Østgrønland. Denne bjergartsserie er genstand for en speciel forskningsindsats støttet af Statens Naturvidenskabelige Forskningsråd, som et led i de regionalgeologiske undersøgelser i forbindelse med GEUS' oversigtskortlægning i 1:500.000. Billedet viser et udsnit af lagserien fra Ella Ø, nord for Mestersvig.



■ Fig. 1 Geologisk 1:100.000 kort over Ivittuut-området i Sydvestgrønland publiceret i 1968. Kortet er ca. 60 x 90 cm stort.

Geologisk kortlægning i Grønland

I de fleste europæiske og nord-amerikanske lande tog den geologiske kortlægning form i begyndelsen af forrige århundrede, og siden da er den blevet udbygget og systematiseret og fortsætter stadig med udarbejdelse af mere og mere detaljerede kort. De fleste lande arbejder med systematiske kortbladsserier i målestok 1:50.000 (1 cm på kortet svarer til 500m i terrænet) eller 1:100.000 (1 cm på kortet svarer til 1km). Selv om der har været arbejdet med disse opgaver i mange år, er der ingen lande, der har nået et punkt, hvor kortlægningen er endeligt afsluttet. Det stadig

udbyggede kendskab til de geologiske processer gør det nemlig nødvendigt med mellemrum at ajourføre de geologiske kort og eventuelt at nytægne dem. Kortene tilstræber at være objektive registreringer og burde dermed være "tidløse", men forståelsen og tolkningen af indholdet afhænger af den aktuelle faglige videnstatus, hvilket til tider medfører behov for nye supplerende dataindsamlinger og justerede forudsætninger for selve kortlægningen. For eksempel har teorien om pladetektonik, som fremkom i begyndelsen af 1970'erne, leveret en ny overordnet ramme til forståelse og tolkning af de geologiske processer. Denne forståelse har

givet anledning til en nytolkning af den strukturelle udvikling adskillige steder i Grønland.

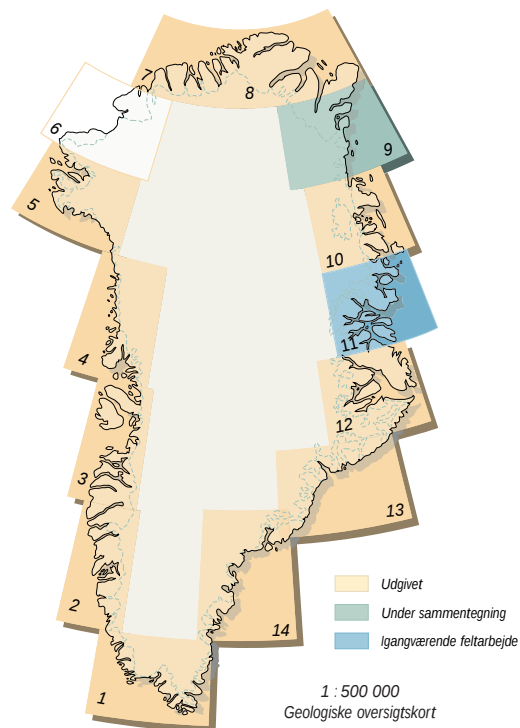
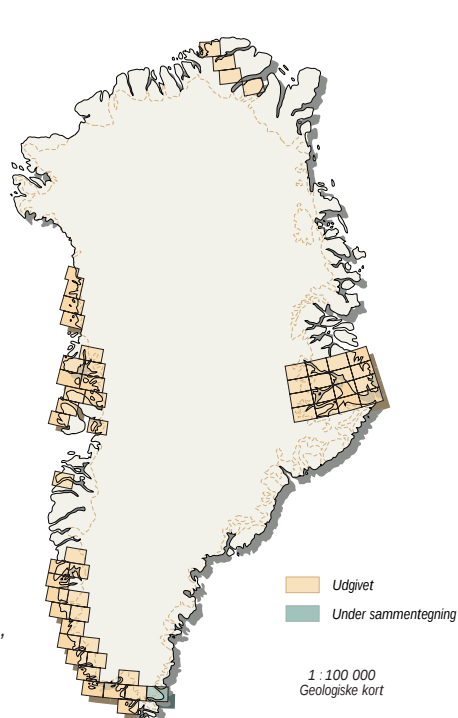
Det isfrie landområde i Grønland omfatter et areal på ca. 410.000 km², hvilket er ca. 1/3 mere end de britiske øer (Storbritannien og Irland). I Grønland begyndte den systematiske geologiske kortlægning tidligst i Østgrønland (Lauge Koch-ekspeditionerne 1926-58), medens kortlægningen i Vestgrønland indledtes i 1946 af det tidligere GGU. Fra begyndelsen tog kortlægningen sigte på at etablere en rekognosceringsviden, men fra midten af 50'erne indledte GGU en systematisk

kortlægning i 1:100.000 i Ivittuut-området i Sydvestgrønland (fig. 1). I løbet af de følgende årtier udbyggedes denne kortlægning gradvist til at omfatte store dele af det sydlige Vestgrønland, og fra 1968-72 udvidedes aktiviteten til også at omfatte Scoresby Sund-området i Østgrønland efter indstillingen af Lauge Koch-ekspeditionerne i 1958.

Selv om der var god fremdrift i 1:100.000 kortlægningen, blev det snart klart, at man måtte ændre strategi for at få indhentet viden om de mest fjerntliggende og utilgængelige dele af Grønland inden for en overskuelig tid. Derfor begyndte man fra 1964 sideløbende med den hidtidige kortlægning også at arbejde i fjerntliggende områder og indsamle data til udarbejdelse af geologiske oversigtskort i 1:500.000 (1cm på kortet

svarer til 5 km). Med arbejde i denne oversigtsform blev det muligt at dække hele Grønland med et kortværk på 14 kortblade og at afslutte denne indsats inden for en overskuelig årrække. På nuværende tidspunkt er 12 af de 14 kort færdigkarterede, og 11 af kortene er trykt og udgivet (fig. 2). De resterende to oversigtskort afsluttes i løbet af få år, og dermed er denne del af kortlægningens målsætninger blevet opfyldt.

Fig. 2 Indexkort der viser status for GGU/GEUS' geologiske kortlægning primo 1998



Hvordan foregår den geologiske kortlægning i Grønland?

Selv om Grønland er stort, og der er mange områder, hvorfra der kun findes begrænsede oplysninger, tager alle kortlægningsopgaverne udgangspunkt i de tidligere undersøgelser, hvis resultater findes i videnskabelige publikationer og forskellige dataarkiver. Dermed sikrer man sig, at der sker en løbende videnopbygning, og at unødigt dobbeltarbejde undgås.

Dernæst forberedes indsatsen gennem faglig og praktisk planlægning, der ofte begynder mere end et år før det første feltarbejde. Mange områder i Grønland ligger langt fra beboede steder, og her er det nødvendigt at gennemføre feltarbejdet baseret på en ekspeditionsteknik, hvor al transport til og fra området samt den interne transport gennemføres af ekspeditionen selv ved hjælp af chartrede skibe, fly og helikoptere.

De faglige forberedelser begynder hyppigt med studier af flyfotos. På grund af den særdeles gode blotningsgrad i Grønland, hvor geologien ofte direkte kan iagttages på de nøgne klipper, foreligger der et væld af informationer i de eksisterende flyfotos. Fra disse kan man skitse en række af de geologiske grænser og strukturer, der ses på billederne, og dermed kan der udtegnes et foreløbigt kort, der anvendes som basis for de efterfølgende feltundersøgelser.

■ Fig. 3 Kortlægningen af de ubeboede områder i Nord- og Østgrønland bliver gennemført med udsendelse af ekspeditioner.



■ Fig. 4 I næsten alle områder af Grønland har tidligere geologers indsats dannet et værdifuldt udgangspunkt for de nyere undersøgelser og kortlægning.



Feltarbejdet udføres af grupper af geologer, assistenter og praktisk støttepersonale med varierende størrelse fra få personer til større samlede ekspeditioner med op til 40 deltagere. Feltarbejdet udføres i reglen i sommermånederne, hvor fjeldet er snebart og tilgængeligt for direkte observationer. Arbejdsgrupperne omfatter sædvanligvis geologer med forskellige specialer, der hver løser specifikke faglige opgaver.

Når et område skal kortlægges, vælges først en skala for arbejdet - dvs. man udstikker retningslinier for, hvor detaljeret kortet skal være. Sædvanligvis arbejdes der i felten i en skala, der er meget mere detaljeret end den, hvori kortet til sidst publiceres (trykkes). Er målet f.eks. et kort i 1:100.000, arbejdes (karteres) der hyppigt i 1:20.000 i felten. Hermed sikres, at den etablerede basisviden er større end den publicerede information. Den detaljerede feltinformation gemmes i

et kortarkiv, der er tilgængelig for eventuelle andre brugere. Den valgte karteringsskala afhænger af formålet. Til oversigtskortlægningen arbejdes der i 1:100.000 i felten, medens forskellige detailstudier af mineraliserede områder kan foregå i 1:10.000 eller endnu mere detaljeret. I Grønland arbejdes generelt med basiskartering fra 1:20.000 til 1:100.000. Til sammenligning kan anføres, at feltkarteringen i Storbritannien foregår i 1:10.000, altså 10 gange mere detaljeret end den måle-

stok, hvori man i Grønland indsamler data til oversigtskortene.

Den geologiske kortlægning er som regel overfladekortlægning - altså registrering af, hvad der direkte kan iagttages ved terrænets overflade. Under arbejdet må geologerne besøge hele området, der omfattes af kortlægningen, enten med transport med skib eller helikopter, og dernæst videre til fods. Afhængigt af kortlægningsskalaen og blotningsgraden må geologen hele tiden tage stilling til, hvordan dataindsamlingen foretages mest hensigtsmæssigt, og hvor mange oplysninger og prøver, der skal indsamles. Ofte er dækningsgraden meget varierende, således at der i nøgleområder anvendes megen tid, medens man imellem nøgleområder kan benytte sig af sin detailviden til at ekstrapolere og dermed komme hurtigere gennem et givet areal. Selve kortlægningen omfatter, at grænseforløb mellem forskellige bjergartstyper indtegnes på kortet. Sådanne grænser kunne f.eks. være grænser i en given yngre lagserie mellem kalksten og sandsten, eller i et grundfjeldsområde mellem gnejs og granit. Samtidigt registreres bjergartens lagstilling, og her vil fladt-

liggende lagserier som regel kunne aftegnes med et grænsemønster, der ligner højdekurver, medens bjergarter, der er blevet deformeret ved bjergkædefoldning, vil aftegne et geometrisk mønster, der ligner uregelmæssige bølgeformer.

Sideløbende med den egentlige kortlægning foretager geologerne en række forskellige observationer, der bidrager til forståelsen af områdets geologiske udviklingshistorie. Primært observeres de relative aldersfølger mellem de forskellige bjergartstyper, og dernæst foretages en række målinger af bjergartens strukturer. Dette danner baggrund for konstruktion af 3-dimensionale modeller for bjergarternes rumlige udbredelse (fig. 5 og 6). Endvidere foretages observation og vurdering af en række basale geologiske forhold, så som bjergartstype, mineralindhold, evt. fossilindhold, mineraliseringsindikationer, omdannelsesgrad m.v. Der indsamles prøver til senere laboratorieundersøgelser, hvor bjergartsammensætningen (petrologi), den kemiske sammensætning (geokemi), aldersbestemmelser (geokronologi), fossilbeskrivelser (palæontologi), sedimentanalyser (sedimentologi) m.v.

indgår. Alle observationer refereres til bestemte feltlokaliteter, der sædvanligvis anføres på kortet samtidigt med, at geografiske koordinater samt højde over havet registreres.

Efter en samlet bearbejdelse af hele materialet og rentegning af feltkortene indgår disse basisdata som grundlag for en sammentegning (kompilering) af de endelige geologiske kort, der udgives som farvetrykte kort ved siden af videnskabelige artikler, der beskriver og tolker områderne eller dele deraf.

Målsætningen for den geologiske kortlægning

I Grønland har råstofeftersøgningen og den videnskabelige udforskning gået hånd i hånd i det geologiske arbejde lige fra den spæde start i begyndelsen af forrige århundrede. Da GGU's systematiske kortlægning i 1:100.000 blev påbegyndt, valgtes Ivittuut-området i Sydvestgrønland som det første målområde, idet man helt bevidst ønskede at studere regionen omkring Grønlands eneste producerende mine, hvor der var blevet brudt kryolit gennem mere end 100 år. Kortlægningen omkring Ivittuut blev gennem det næste årti udvidet til Syd-

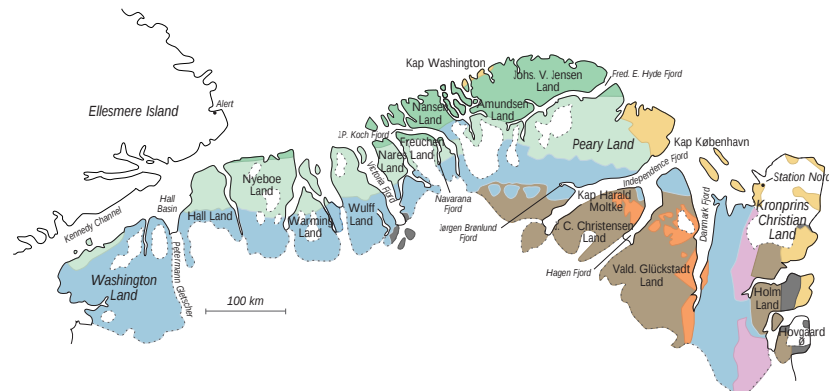


Fig. 5 Geologisk skitse-kort over Nordgrønlands geologi, der domineres af fladtliggende sedimentære lagserier fra Proterozoikum og ældre Palæozoikum.

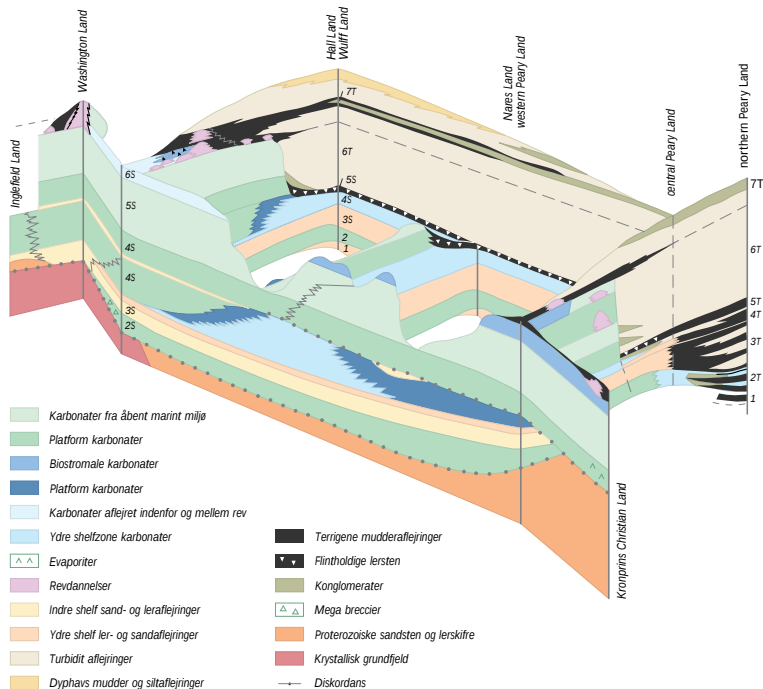
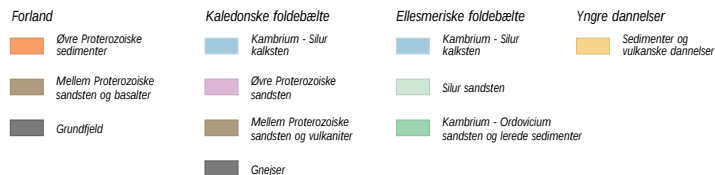
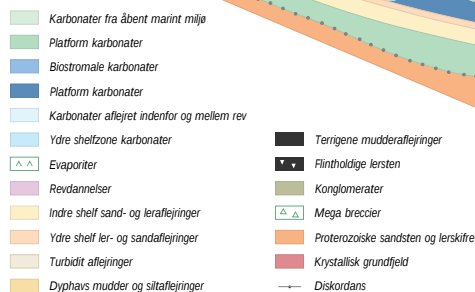


Fig. 6 Blokdiagram (konstrueret fra de geologiske kort), der viser den 3-dimensionale opbygning af den sedimentære lagserie i Nordgrønland. Fra Higgins et al., 1991.



grønland, hvor der var stor interesse for de mineraliseringer med uran mv., der var påvist ved Narsaq i Ilímaussaq-intrusionen. Kortlægningsopgaverne blev altså tilrettelagt i lyset af de økonomisk-geologiske perspektiver, der tegnede sig.

Den generelle målsætning for den geologiske kortlægning med tilhørende basisundersøgelser er i dag at gennemføre en grundlæggende geologisk udforskning af Grønlands meget varierede og sammensatte geologiske opbygning for at etablere et grundlag både for forskning og mineral- og kulbrintesøgning. Indsatsen foregår i et internationalt videnskabeligt miljø med et integreret samarbejde mellem forskere fra GEUS og forskere fra danske og udenlandske geovidenskabelige institutioner.

Den ovennævnte målsætning, der er formuleret i forbindelse med GEUS' resultatkontrakt og arbejdsprogram, er i nøje overensstemmelse med den vurdering, man har fra Grønlands Hjemmestyre om kortlægnings betydning for de grønlandske erhvervsudviklingsmuligheder. Der er fra Hjemmestyrets Råstofdirektoratet peget på be-

hovet for at fastholde den løbende indsats med basiskortlægning og formidling af informationer og data. Endvidere ønskes mulighed for en øget og mere målrettet indsats i områder med et højt råstofpotentiale samt en indsats i mindre kendte områder for at søge at åbne nye områder for efterforskningsaktiviteter.

I disse år er den private efterforskningsaktivitet på Grønland meget stor, og især tiltrækker det sydlige Vestgrønlands mineral-potentiale sig stor interesse. Der er her uddelt efterforskningskoncessioner i næsten hele området fra det sydligste Grønland til Nordre Strømfjord, en strækning på ca. 1000 km. Herudover er der uddelt spredte koncessioner i både Nord- og Østgrønland. Selskabernes efterforskning tager alle steder udgangspunkt i den eksisterende viden, der primært er indeholdt i GEUS' publicerede materiale (kort og afhandlinger) samt i tilgængelige arkiver og databaser. Det skal i denne sammenhæng også nævnes, at GEUS udover geologisk kortlægning også udfører andre typer af kortlægning, primært geofysisk og geo-kemisk kortlægning. Den økonomiske dimension af den private

efterforskningsaktivitet er i disse år 2-4 gange så stor som den, der anvendes af det offentlige på det basale arbejde. Dette afspejler klart, hvor motiverende den offentlige indsats er for den private efterforskningsindsats. At dette også udtrykkes klart af selskaberne, fremgår bl.a. af en pressemeddelelse, efterforsknings-selskabet Platinova A/S udsendte 22/10 97, hvori de anfører: "Det er vigtigt at bemærke, at resultaterne af det langsigtede geologiske kortlægningsarbejde udført af GEUS (Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse) har været gode redskaber for den nuværende efterforskningsindsats." Bemærkningen er anført i pressemeddelelsens omtale af selskabets nye diamantfund i Vestgrønland, der repræsenterer en efterforskningsaktivitet, der direkte kan føres tilbage til GEUS' tidlige basisindsats på dette område.

En anden indikation på brugerne, herunder prospekterings-selskabernes interesse for resultaterne af den geologiske kortlægning og de basale undersøgelser i Grønland er størrelsen af GGUs og GEUS' salg af kort og afhandlinger.

Der er siden 1969 solgt ca. 500 geologiske kort pr. år og ca. 900 afhandlinger og rapporter pr. år.

Den fremtidige kortlægning i Grønland

Med den nuværende arbejdsindsats vil oversigtskortlægningen i 1:500.000 blive afsluttet inden for de næste ca. 5 år. Som det fremgår af ovenstående, er kortlægningsarbejdet i Grønland imidlertid langt fra færdigt.

Det må forudses, at de ældste oversigtskort i 1:500.000 skal opdateres. Desuden fortsættes 1:100.000 serien, hvori der indtil nu er udgivet ca. 50 kort.

Der vil fortsat være behov for kort i denne skala, og behov for detailstudier i områder med højt råstofpotentiale. Endvidere har udviklingen af digitale teknikker revolutioneret kortfremstillingen. Digitale kort er blevet vigtige produkter, og de eksisterende geologiske kort er i øjeblikket under omarbejdning til digital form. Dermed er der også skabt mulighed for en øget sammenstilling af geologiske kort med andre kort (f.eks. geofysiske og geokemiske kort) og andre typer af data til helt nye korttyper med store mængder af kombineret og lettilgængelig information.

Det geologiske kortlægningsarbejde må også i de kommende mange år baseres på de klassiske feltarbejdsmetoder, hvor geologerne må indsamle data og prøver i felten, men samtidig må nye digitale arbejdsmetoder tages i anvendelse ved bearbejdning og opbygning af databaser. Hermed vil den basale geovidenskabelige indsats kunne gå hånd i hånd med en målrettet udnyttelse af nye værktøjer og digitale medier til formidling af resultaterne. Kortlægningen må udvikle sig i pagt med tiden - men den er som sådan kommet for at blive.

Fig. 7. En samlet bearbejdelse af hele materialet og rentegning af feltkortene indgår som basisdata og er grundlag for de endelige geologiske kort





MIKROBIOLOGI OG GEOLOGI - ET EKSPANDERENDE FORSKNINGSSOMRÅDE

Carsten Suhr Jacobsen

Der findes et stort antal forskellige mikroorganismer i jord og i de sedimenter, hvor grundvandet findes. GEUS har sat sig for at undersøge om nogle af de pesticider, og for så vidt også andre miljøgifte der anvendes på jordoverfladen, vil kunne nedbrydes, før de udgør en trussel mod grundvandet.

Den mikrobielle nedbrydning af pesticider og andre fremmedstoffer undersøges af GEUS' mikrobielt økologiske gruppe, der beskæftiger sig med mikrobiologien i jord og i reservoirsedymenter. Gruppen er i det seneste år vokset kraftigt og omfatter nu 14 ph.d. og specialestuderende ud over de fastansatte. Arbejdsområdet i den mikrobielt økologiske gruppe på GEUS fordeler sig på følgende tre felter:

■ **Mikrobiel diversitet:** Hvor stor er mangfoldigheden af de bakterier, der findes i overjord og dybere jordlag, og er den påvirket af anvendelsen af pesticider og andre miljøgifte?

■ **Mikrobiel adaptation:** Hvordan er bakteriernes evne til at tilpasse sig ekstreme levesteder og fødekilder, og kan vi bruge denne viden til at forudsige noget om de mikrobielle samfunds evne til at tilpasse sig nedbrydning af pesticider og andre miljøgifte?

■ **Mikrobiel autøkologi:** Hvilke begrænsninger i livsvilkårene findes i jordmiljøet for de enkelte fremmedstofnedbrydende mikroorganismer, og har det betydning for omsætningen af pesticider og andre fremmedstoffer?

Mikrobiel diversitet

Begrebet mikroorganismer dækker over en enorm mangfoldighed. Mikroorganismer udgør 15 af de 24 riger, som livet på jorden indeholder. Til sammenligning udgør dyrene kun ét (dyreriget).

Mikroorganismerne er i stand til at tilpasse sig ekstreme levesteder og fødekilder, og denne evne betyder, at de findes



Et fredeligt landskab strækker sig fra stranden op i landet.

I jordbunden er der imidlertid et myldrende liv. Foruden mange forskellige insekter, orme mv. findes en kolossal mængde af mange forskellige mikroorganismer; i et gram jord er der alene mindst 4000 forskellige bakteriearter. Vejrhøj set fra Nekselø Bugt.

stort set overalt på jordens overflade og også dybere nede i jorden.

Nyere resultater fra forskningsprogrammer, finansieret blandt andet af USAs "Department of Energy" (US-DOE), har vist, at det er muligt at dyrke mikroorganismer, der stammer fra dybtliggende geologiske formationer, hvor temperaturen konstant er over 75°C. Man ved endnu ikke så meget om disse bakteriers funktion, men man er foreløbig mest tilfreds med, at man mener at have udviklet en prøvetagningsmetodik, hvor man har undgået at tilføre forureninger fra overfladen, f. eks. via boremudder.

Bakterier fra DOEs stammesamling tilhører en lang række ukendte typer. Men der findes også typer, der minder om bakterier, som er aktive i forurenede jord. GEUS har modtaget et udvalg af bakterier, der i den systematiske beskrivelse minder om organismer fra bakterieslægten *Pseudomonas*, som vi har isoleret fra en overfladejord i København. Grundige beskrivelser af udbredelsen af bakterier ved anvendelse af moderne automatiserede taksonomiske værktøjer kan for-

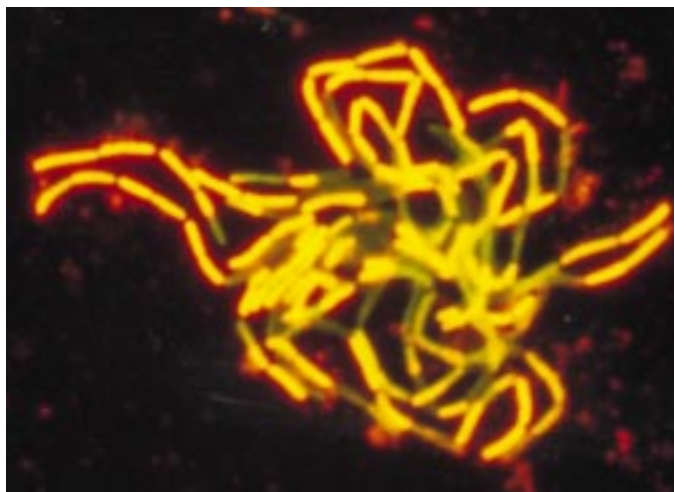


Foto: Laila Thirup

■ *Behøver bakterierne altid være aktive for at være interessante ?*
Nej! Det er selvfølgelig klart, at i relation til omsætning af uønskede grundvandstruende fremmedstoffer er det vigtigt hvilke bakterier, der er aktive. Men bakterier kan faktisk godt være meget spændende, selv om de ikke er specielt aktive i dag. Bakterier, der findes i undergrunden, har et særligt potentiale i relation til den bioteknologiske industri, idet mange af undergrundens bakterier kan tænkes at betjene sig af et enzymsystem, der gennem en mere effektiv udnyttelse af de knappe ressourcer adskiller sig fra de enzymsystemer, der findes i bakterier fra overjorden eller andre nicher, hvorfra der normalt isoleres bakterier. Billedet viser bakterier der er nogle få mikrometer lange. De pølselignende celler er bakterier under deling.



■ En laboratorietekniker er ved at tage et billedet af en gel. Gelen viser et genetisk fingeraftryk lavet af forskellige *Pseudomonas* der er isoleret fra jord sprøjtet med isoproturon. De genetiske fingeraftryk fungerer som vores 1. metode til at sortere interessante bakterie-isolater på. Hvis isolaterne er ens i disse fingeraftryk er de normalt også ens i øvrigt.

ventes at give nye informationer om mikroorganismernes rolle også i de dybe jordlag.

De bakterielle samfund, der findes i en almindelig overfladejord, er overordentligt diverse. Ved at analysere kompleksiteten af DNA ved vi, at der alene i ét gram jord findes mindst 4000 forskellige bakteriearter. En bakterieart er her defineret som bakterier, hvis DNA-sekvens har mindst 70% lighed. Til sammenligning er der hele 99 % lighed mellem en chimpanses og et menneskes DNA.

Den mikrobielle diversitet er derfor enorm, og kendskabet til diversitet blandt mikroorganismer, der nedbryder fremmedstoffer, er nødvendig, når vi skal generalisere om hvordan fremmedstoffer bliver nedbrudt i jord og grundvandssediment.

Hvordan undersøger GEUS diversiteten af bakterier i jord?

Vi benytter to principielt forskellige typer af analyser, der i begge tilfælde er baseret på kendt viden om nogle bakterier.

Den første indgang er kendskabet til de dyrkbare bakterier fra forskellige jordlag. Fra mange

forskellige steder, bl.a. et jordprofil ved Fladerne Bæk i Jylland, har vi igangsat en isolering af bakterier, der hører til en bestemt familie af bakterier, de tidligere omtalte *Pseudomonas*.

Denne gruppe bakterier er hyppige repræsentanter blandt de bakterier, der gennem de sidste 10 år har været isoleret, karakteriseret og publiceret som fremmedstofnedbrydende bakterier.

Renkulturerne af *Pseudomonas* bliver testet for deres evne til at udnytte en række forskellige kulstofkilder. På dette grundlag

samt på basis af et genetisk fingeraftryk af de enkelte bakterier, er vi i stand til at danne os et skøn over deres diversitet ned gennem et jordprofil.

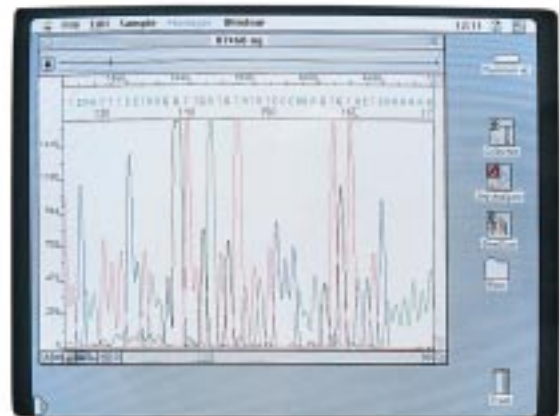
Der er imidlertid en væsentlig forskel på sammensætningen af de bakterier, der kan isoleres fra jord ved anvendelse af agar-medier (dvs. dyrkning på bakterielle næringssubstrater), og sammensætningen af det totale antal bakterier, der findes i jorden.

For at løse dette problem har vi gennemført analyser af DNA

isoleret direkte fra jord for at kunne beskrive sammensætning af alle bakterier. Gennem udviklingen af denne teknik har vi vist, at sammensætningen af *Pseudomonas* i en bestemt jordprøve bestemt ved analyse af DNA var i god overensstemmelse med analyser af de dyrkbare *Pseudomonas*. Vi forventer at DNA-teknikken kan blive særlig interessant i jordprøver fra dybere beliggende jordlag, hvor det er vist, at der kun er få procent af de tilstedeværende bakterier, der kan dyrkes på agarmedier.

■ Billedet viser rækkefølgen af DNA-baserne i et gen fra en *Pseudomonas* analyseret med GEUS nye "API-Prism" sekvensanalysator.

Teknikken er baseret på indbygning af fire forskellige farver - en for hver af DNA-baserne A, T, G, og C - under kunstig opformering af DNA ved PCR teknikken. Ved hjælp af en kapillarelektroforese og et højfølsomt kamera registreres rækkefølgen af de forskellige baser, og signalet oversættes til en sekvens, der via internettet sammenlignes med tilgængelige sekvenser i internationale databaser.





Billedet viser en enkel forsøgsopstilling til at måle mineralisering af pesticiderne. Mineraliseringen udtrykker pesticidernes fuldstændige nedbrydning til vand og CO_2 og repræsenterer dermed en konservativ måde at måle nedbrydningen på. Ved at måle mineraliseringen registreres nemlig dannelsen af CO_2 fra radioaktivt mærket kulstof, som typisk er placeret i en central struktur af pesticidet. Denne teknik giver for nogle stoffers vedkommende væsentligt langsommere omdannelse end måling af pesticidet ved HPLC, fordi HPLC-analysen ofte ikke fanger nedbrydningsprodukter.

Mikrobiel adaptation

Sammenlignet med andre mikrobielle samfund er den høje diversitet af mikrobielle samfund i jord helt og aldeles enestående. Der findes ganske enkelt ikke andre steder, hvor der er så mange forskellige mikroorganismer. Dette skyldes især to forhold;

- 1) mikroorganismernes evne til at tilpasse sig livet under de mest ekstreme forhold
- 2) den meget langsomme omsætning i visse dele af jordmiljøet, der virker konserverende.

Det første punkt er med andre ord udviklende for dannelsen af forskelligartede mikroorganismer, mens det andet punkt nærmere kan kaldes bevarende. Til sammen kan det forklare den særligt store diversitet, der findes i jordmiljøet sammenlignet med mange andre miljøer.

Der findes spændende eksempler på, at mikroorganismer tilvænner sig forskellige livsforhold gennem adaptation (evnen til tilpasning). Dette kan f. eks. være forbedring af evnen til at

nedbryde nogle bestemte miljøgifte.

Den konserverende effekt beror på mangel på næringsstoffer og dermed på de farer en mikroorganisme er udsat for; nemlig at blive fødeemne for protozoer (prædation) eller blive angrebet af virus (parasitisme). De mikrobielle samfund i jord adskiller sig fra ganske mange andre mikrobielle samfund f.eks. i frie vandmasser - eller i dyrs tarme, hvor der sker en hurtig selektion gennem en

løbende rigelig næringsforsyning og en samtidig kraftig prædation eller parasitisme. Den generelt lave forsyning med næringsstoffer i jorden betyder, at de fleste af de typisk 10 millioner bakterier, der findes i et gram jord, ikke foretager sig noget: Manglen på aktivitet betyder igen, at det er begrænset, hvor mange nye medlemmer, der kommer til i indeværende år eller i det næste år.

I jorden findes en række mikronicher, hvor næringsstrømmen er mere begrænset end i resten af jorden, og hvor det ikke er muligt for prædatorer som f.eks. amøber og flagellater at komme til at æde deres bytte. Denne sultsituation fører til, at de fleste bakterier skrumper ind fra deres sunde størrelse på et par mikrometer ned til en procent af denne størrelse. De slår med andre ord livsprocesserne på "standby" og venter på bedre tider. Andre bakterier har udviklet deciderede hvileformer, f.eks. er en række "gram-positive" bakterier i stand til at danne sporer, en tilstandsform, hvor bakterien ikke skrumper så meget, men indkapsler sig med noget næring i behold.

I jordlagene under dyrkningslaget er hovedparten af de mikrobielle populationer præget af disse tilstandsformer; målt i absolute tal er der faktisk næsten lige så mange bakterier som i muldlaget, men hvis man bestemmer den mikrobielle biomasse (målt som f.eks. kulstof) udgør den typisk kun nogle få procent af den biomasse, der findes i de øverste jordlag. Man kan her spørge, om de mikrobielle populationer, der findes i jordlag under pløjelaget, overhovedet er aktive? Der er meget, der tyder på, at dele af dem er, mens andre populationer ikke er aktive. Men vi ved ikke særlig meget om, hvilke bakterier der er aktive og spiller en rolle, og hvilke der ikke er aktive på stedet.

Adaptation af enkeltorganismer i underjorden

Når mikroorganismerne, så som bakterier, har vist sig i stand til at kolonisere snart sagt enhver niche på og under jorden, er det fordi de har en stor evne til at tilpasse sig skiftende levevilkår. Denne adaptation kan bl.a. give sig udtryk i de bakterielle samfunds evne til at nedbryde sprøjtemidler. Vi har ofte set, at evnen til at nedbryde sprøjtemidler og andre kemiske foru-

reninger er båret af små cirkulære stykker DNA, der kan spredes livligt mellem bakterier i jord. Disse "plasmider" kan være bærere af hele den genetiske information til nedbrydning af et stof, og hvis en bakterie kan optage plasmidet, vil det sætte bakterien i stand til at nedbryde det fremmedstof, der er tale om.

Gennem denne spredning af plasmider kan de bakterielle samfund hele tiden tilpasses skiftende forhold. En god grund for bakterier til at tilegne sig særlige egenskaber til at nedbryde f.eks. pesticider er, at de er i stand til at anvende de stoffer de nedbryder som nærings- og energikilde. Hermed vil bakterien kunne klare sig bedre i konkurrencen om næring i jorden gennem udnyttelse af den fødeniche som fremmedstoffet udgør. Hvis stoffet kun giver et beskedent udbytte, bliver det mindre interessant for bakterien at have optaget plasmidet. Den enkeltstående begivenhed, at der er skabt en ny bakterie gennem optagelse af plasmidet, vil ikke nødvendigvis give sig udtryk i en stor familie med masser af efterkommere.

Adaptation af bakterielle samfund til nedbrydning af pesticider

Ligesom de enkelte bakterier kan tilpasse sig nedbrydning af bestemte stoffer kan hele det bakterielle samfund tilpasse sig nedbrydning af pesticider. Dette kan f.eks. finde sted ved, at der sker en vækst af de bakterier, som er i stand til at få et energiuudbytte ved nedbrydningen af sprøjtemidlerne. Nedbrydning af sprøjtemidler i jord er meget forskellig fra middel til middel. Nogle pesticider giver ophav til adaptation af de bakterielle samfund til nedbrydning, mens andre ikke gør.

Interessant nok ser det ud til, at det især er stoffer, der hører til "phenoxysyre-herbiciderne", der lettest kan nedbrydes blandt de stoffer vi indtil nu har undersøgt. Phenoxysyre-herbiciderne 2,4-D og MCPA er blandt de stoffer, der hurtigt nedbrydes i jord med et forløb, der er parallelt til vækst af de bakterier, der kan nedbryde stofferne. Dette sker både i dyrkningszonen, men også længere nede i jorden, i hvert tilfælde er nedbrydningshastigheden noget stærkere for disse stoffer end for en række andre stoffer nede i jorden.

Denne viden kan udnyttes til at forstå hvorfor nogle sprøjtemidler, selvom de måske i første omgang udvaskes fra dyrkningszonen, kun i mere begrænset omfang dukker op i vores drikkevand.

Mikrobiel autøkologi kan hjælpe os til at forstå effektiviteten af omsætningen af pesticider

Vi ved, at der er en stor spredning på omsætningen af pesticider i overjord og denne spredning overføres til en vis grad dybere ned i jorden. Således fandt vi, at omsætningen af atrazin og glyphosat skete kraftigst i en jord der samtidig modtog tilførsel af organisk stof.

Hovedparten af de udbragte pesticider skal nedbrydes i jorden for ikke at overskride de tilladte udvaskningsmængder. Selv med en anvendelse af de såkaldte minimidler, hvor der udbringes få gram pr. hektar, skal der ske en kraftig reduktion af stofferne for ikke at overskride udvaskningsgrænserne. Stofferne skal nemlig reduceres fra den anbefalede dosering, der modsvare mellem 10 kg og 20 g pr. hektar, ned til under 0,2 g pr. hektar.

Ved at introducere bakterier, vi véd kan nedbryde forskellige pesticider, kan vi undersøge hvilke faktorer i jorden, der evt. kan begrænse nedbrydningen af pesticiderne.

Mikrobiel autøkologi er en relativ ny forskningsdisciplin indenfor jordbundsmikrobiologi. Den følger den enkelte bakteries vækst, overlevelse og aktivitet i jordbundens sammensatte miljø; på samme måde som det har været skik blandt biologer, der arbejder med (store) dyr. Forskningen er oftest afhængig af molekylære "rapportører", eller sagt på en anden måde at bakterierne er udstyret med et lille kryds på ryggen, så vi kan skelne dem fra de andre bakterier.

Fornyligt har vi undersøgt overlevelsen af en atrazinnedbrydende bakterie.

Pseudomonas ADP blev introduceret til et atrazin forurennet grundvandsmagasin og en hurtigt nedbrydning af atrazin blev påvist. *Pseudomonas* ADP anvender atrazin som kvælstofkilde til sin vækst. Det overraskende var, at stammen også ville nedbryde stoffet under denitrificerende forhold, hvor der er rigeligt kvælstof til stede i form af nitrat.

I de fremtidige undersøgelser af mikroorganismernes rolle i omsætningen af fremmedstoffer i jordprofiler, vil vi integrere de tre omtalte forskningsområder. Eksempelvis vil vi øge satsningen på anvendelse af molekylære værktøjer til at forklare, hvilke gener der er involveret i omsætningen af fremmedstofferne.

GEUS' satsning på kombinationer af et integreret miljøkemisk og molekylær mikrobiologisk laboratorium har skabt en unik forskningbasis for dette arbejde. Gennem en øget forståelse af de komplekse samspil i de mikrobielle samfund i jorden, vil vi kunne forudsige, hvordan jordes og grundvandsmagasiners evne til at nedbryde forskellige frem-

medstoffer udvikles. Denne viden kan bidrage til forståelsen af, hvilke af de hidtil anvendte og fremtidige stoffer, der evt. kan være et problem for vores grundvandskvalitet.

Ordforklaring:

DNA-sekvens: rækkefølge af DNA-baser i et gen

PCR-teknik: "Polymerase Chain Reaction" er en teknik, der muliggør kunstig opformering af DNA.

HPLC-analyse: "High Performance Liquid Chromatograph".

■ Landskabet på billedet er fra Djursland.

Undersøgelsen og kortlægningen af denne del af Danmark er kommet til en foreløbig afslutning med udgivelsen af bogen "Djurslands Geologi". Heri gøres der rede for resultaterne af de geologiske undersøgelser, der har stået på det meste af dette århundrede.

Bogen indeholder tillige en fyldig beskrivelse af det geologiske kortblad, der blev udgivet i 1995, og som er vedlagt i bogen.

Kolindsund har i tiden efter istiden skiftet mellem at være en langstrakt fjord eller en sø, der strakte sig omtrent 20 km mod vest fra Grenå til Kolind. I lighed med andre store indgreb i naturen vidner Kolindsunds tørlægning om mennesket som en betydelig "geologisk" kraft.

Udsigt mod Luisehøj ved Kolindsund fra den sydlige afvandingskanal.





ET LEVENDE PRØVEARKIV

Agnete Steenfelt

Mange af de undersøgelser GEUS' geologer foretager, omfatter indsamling af et stort antal prøver, som studeres, beskrives og analyseres, hvorefter resultaterne bearbejdes og rapporteres. Når undersøgelserne er afsluttet, opbevares resultaterne som dokumentation, men hvad med prøverne? Det letteste er at smide dem ud. Arkivering koster arbejdstid og dyr lagerplads. Men er det nu også det klogeste og det billigste? Her skal fortælles om arkiverede prøver, der ved at blive genbrugt gang på gang har sparet GEUS og andre for store udgifter til indsamling af nye prøver. Det viste sig nemlig, at de indsamlede prøver kunne tjene langt flere formål end forudset, da de blev indsamlet.

Det drejer sig om prøver, der oprindeligt blev samlet ind i forbindelse med geokemisk malmprospektering på Grønland. Denne form for prospektering bygger på det fænomen, at malm, der er blottet ved overfladen, forvitrer, d.v.s. de nedbrydes af vejr og vind til de smuldrer. Forvittringsgruset bliver ef-



Rustforvitret mineralforekomst fra Nordvestgrønland

terhånden transporteret videre af regnvand og bække, og vil til sidst blive aflejret sammen med forvittringsgrus fra de omgivende bjergarter på bunden af bækene i dalen neden for malmforekomsten, som et såkaldt bæksediment. Malmene har en meget anderledes kemisk sammensætning end de omgivende bjergarter, og hvis man analyserer en prøve af bæksedimentet, vil der være forhøjede indhold af de metaller, som malmen består af. Ved at samle bæksedimentprøver systematisk i alle bække i et område, kan man få et fingerpeg, om der findes malmforekomster i det pågældende område.



Billedet er fra Grejsdalen i det centrale Østgrønland. Smeltevandet i elven er grumset af opslemmet forvittringsmateriale fra de omgivende fjelde.

De første prøver

Det daværende Grønlands Geologiske Undersøgelse (GGU) foretog den første systematiske indsamling af bæksedimenter i et område i Østgrønland som led i et 5-årigt uranefter søgningsprogram fra 1973 til 1978. Programmet var iværksat som følge af en aftale mellem medlemmerne af det daværende Europæiske Fællesskab om at kortlægge uranressourcerne indenfor fællesskabet. De indsamlede bæksedimentprøver blev

analyseret på Forsøgsanlæg Risø, som ved forsøgsreaktoren havde etableret en facilitet, der gav uranalyser af høj kvalitet. Forskere på Risø havde også udviklet et andet analyseudstyr, som anvendte en nuklear teknik i forbindelse med røntgenfluorescens, og som led i et forsøg med metodens anvendelighed blev bæksedimenterne også analyserede for andre metaller som f.eks. kobber, nikkel, krom, titan og zink.

Da undersøgelserne var tilendebragt og resultaterne rapporteret, kunne prøverne godt have været kasseret - det var almindelig praksis i kommercielle efterforskningsselskaber - men i GGU var der tradition for, at analyserede prøver skulle arkiveres som dokumentation. Denne tradition var dels begrundet i lovmæssige påbud om arkivering af resultater og "bevismateriale", dels i den kendsgerning, at man ikke uden store omkostninger kunne tage til de afside-



■ Billedet er fra området omkring Maniitsoq, Vestgrønland. Prøveindsamling af bæksedimenter.

Tabel over grundstoffer der analyseres for

Hoved- grundstoffer	Spor- grundstoffer				
Al aluminium	Ag sølv	Cu kobber	Nd neodymium	Tb terbium	
Ca calcium	As arsen	Eu europium	Ni nikkel	Te tellur	
Fe jern	Au guld	Ga gallium	Pb bly	Th thorium	
K kalium	Ba barium	Hf hafnium	Rb rubidium	U uran	
Mg magnesium	Br brom	Hg kviksølv	Sb antimon	V vanadium	
Mn mangan	Cd cadmium	Ir iridium	Sc skandium	W wolfram	
Na natrium	Ce cerium	La lanthan	Se selen	Y yttrium	
P fosfor	Co cobolt	Lu lutetium	Sm samarium	Yb ytterbium	
Si silicium	Cr krom	Mo molybdæn	Sr strontium	Zn zink	
Ti titan	Cs cæsium	Nb niob	Ta tantal	Zr zirkonium	

liggende dele af Grønland og hente nye prøver. Derfor blev resterne, dvs det der var tilbage af prøverne efter analysen, opbevaret i et prøvearkiv. Anvendelsen af systematisk indsamlede bækседimentter i eftersøgningen af uran og andre metaller havde vist sig at være brugbar i Østgrønland, og da uranefterøgning blev iværksat over hele Sydgrønland i 1979 og 1980 (som et energiministerielt Energi Forsknings Projekt) blev der indsamlet over 2300 bæksedimentprøver, som også blev analyseret på Risø for uran og andre metaller, og siden blev restmaterialet arkiveret.

Resultatet af indsatsen i Sydgrønland var meget givtigt. Udover flere små lokaliteter med uranmalm, blev der som en sidegevinst fundet en forekomst af metallet niob, idet niob indgik

som et af grundstofferne i analysepakken fra Risø. Det blev derfor besluttet, at arbejdet med systematisk indsamling af bæksedimentter skulle fortsætte i Grønland, ikke blot af hensyn til uranefterøgningen, men som generel metode i eftersøgningen af mineralforekomster. Det betød, at prøverne skulle analyseres for flere grundstoffer.

Nye analysemetoder

Fra starten af bæksedimentundersøgelserne (1973) og frem til 1986 benyttedes analysefaciliteterne på Risø som led i en samarbejdsaftale mellem GGU og Risø, hvilket gjorde det økonomisk muligt at få udført de mange analyser. På det tidspunkt var det nemlig meget dyrt og besværligt at analysere for mange grundstoffer. Men udviklingen gik hurtigt, og kommercielle analyselaboratorier dukkede op

(navnlig i Canada) med meget forbedrede analyseteknikker og meget lavere priser, bl. a. på grund af, at geokemiske metoder blev meget populære i mineraleftersøgningen i Canada, og efterspørgslen af analyser derfor blev meget stor. Også på GGU's kemiske laboratorium i København blev kapaciteten forøget ved indkøb af moderne udstyr, og her blev bæksedimentprøverne fra Grønland rutinemæssigt analyseret for hovedgrundstoffer og enkelte sporgrundstoffer fra 1986 og fremefter.

I slutningen af firserne kom udviklingen på analyseområdet til at betyde, at indsamlingen af en prøve på Grønland var langt dyrere end analysen af samme prøve. Så nu blev de arkiverede prøver meget værdifulde, helt bogstaveligt.

Fra uran til guld

Den mest attraktive af de kommercielt anvendte analysemetoder (Instrumental Neutron Activation Analysis) kunne levere analyse for 34 grundstoffer, og deriblandt var guld, hvilket naturligvis var meget vigtigt for mineraleftersøgningen. Det skulle dog først undersøges om gulddindholdet i de grønlandske bækse-sedimentprøver var højt nok til, at det var en god ide at analysere med denne metode rutinemæssigt. Og her kom de arkiverede bækse-sedimentprøver fra Sydgrønland ind i billedet. Efter først at have analyseret en lille del af prøverne med gunstigt resultat indgik GGU i 1990 en aftale med Nunaoil A/S om analyse af samtlige de gamle prøver fra Sydgrønland. Aftalen var en gevinst for begge parter; Nunaoil slap for at indsamle nye prøver, og GGU fik et datasæt som skulle vise sig at være meget spændende, ikke blot for mineraleftersøgningen, men også for geologiske tolk-

ninger og vurderinger af miljøet. Det blev konstateret, at gulddindholdet var over detektionsgrænsen i ret mange prøver, og at der også var så høje værdier, at man måtte formode, der kunne findes guldforekomster i bestemte dele af Sydgrønland.



Kvartsåre med guld

En af disse blev dog først fundet af Nunaoil A/S efter adskillige supplerende undersøgelser 5 år senere, og en guldholdig kvartsåre er nu genstand for prøvebrydning.

Geokemisk kortlægning

På det tidspunkt var grunden lagt til GGU's og senere GEUS' program for systematisk dækning af Grønland med bækse-sedimentprøver. I erkendelse af at prøverne er så vigtige og så dyre at indsamle, skal de kunne bruges til så meget som muligt. De økonomiske interesser svinger hele tiden med markedet – så er det guld, så zink, så zirkon, så platin, så diamanter, der skal findes, for nu at nævne nogle af de "commodities" der har været mest i søgelyset på Grønland. Det er uforudsigeligt, hvad der pludselig kan blive givtigt at udvinde, så derfor må vi forsøge at være bedst muligt rustede ved at analysere prøverne for så mange

grundstoffer som teknisk og økonomisk muligt. Det program vi har fulgt siden 1992, bliver betegnet geokemisk kortlægning, netop fordi målet ikke længere er prospektering efter bestemte metaller i bestemte

■ Udsnit af geokemisk kort over zink.
Kortet er resultatet af undersøgelse af bækssedimenter indsamlet i Uummanaq området i 1997. "Sorte Engel" er en bly-zink mine, der var i drift fra 1973 til 1990. Høje zink koncentrationer (sorte firkanter) i et område nord for minen kan være tegn på nye zinkforekomster.



geologiske miljøer, men er en arealdækkende basisaktivitet, der omfatter analyse for en lang række grundstoffer. Vi har valgt en strategi med flere faser, hvor første fase går ud på at få dækket store områder med lav prøvetæthed, og næste fase bliver at samle prøver med større tæthed i udvalgte områder.

Resultaterne præsenteres løbende som geokemiske kort for hvert nyt område, der prøvetages. De geokemiske data er også blevet sammenstillet for større områder ad gangen sammen med geologiske og geofysi-



ske data i tematiske kortserier. Indsamlingen af prøver er som regel foregået i forbindelse med andre geologiske feltaktiviteter i Grønland, og efterhånden er store sammenhængende områ-

der blevet færdigdækket med den lave prøvetæthed. De mange prøver, der blev indsamlet i perioden 1981 til 1990, og kun var blevet analyseret på Risø, blev taget frem af arkivet, og i løbet af en årrække analyseret igen med de nye metoder, i den takt, analysebudgettet tillod.

Nu er vi i besiddelse af et ensartet datasæt, omfattende 50 grundstoffer, for store dele af Grønland, og dette viser sig at have flere anvendelser. Den lave prøvetæthed gør, at vi ikke forventer at "fange" alle malmforekomster, men ved at sammen-

holde de geokemiske data med geologiske og geofysiske data, kan vi udpege områder med potentielle for malmforekomster af forskellig slags.

Den stigende interesse for miljøets indflydelse på planter, dyrs og menneskers levevilkår medfører, at de geokemiske data får en helt ny betydning. Ikke bare i Grønland. I Europa og Nordamerika bliver de geokemiske data, der blev samlet ind af hensyn til mineralefterforskningen, nu anvendt i vurderinger af miljøet. Analyserne af bækседimenter er jo en dokumentation af den naturlige kemiske variation i det forvittringsmateriale,

der enten aflejres i bække eller bliver til den jord, hvori planter vokser. Vi kan derfor bruge de geokemiske kort til at se, hvor naturen har "forurennet", d. v. s. hvor indholdet af bestemte grundstoffer, f.eks. bly og cadmium, er så højt, at det får en negativ indflydelse på planter og dermed dyrs og menneskers helbred. Eller det modsatte, hvor det naturlige indhold af næringsgrundstoffer, f.eks. kalium, calcium, fosfor og jern, er så lavt at planter og dyr får mangelsymptomer. Vi kan også bruge de geokemiske data som reference ved bedømmelsen af, hvor meget en eventuel senere men

neskelig aktivitet forurener på et givet sted.

I forbindelse med mineralefter-søgningsprogrammerne og den geokemiske kortlægning er der siden 1973 i GGU- og senere GEUS-regi indsamlet ca. 18.000 prøver af bækседimenter og jord, fordelt over omtrent halvdelen af Grønlands isfrie land-område. Prøverne har været analyseret med forskellige metoder op til 6 gange; se tabel nedenfor. Derved er en del prøvemateriale brugt op, så GEUS bækседiment-arkiv nu indeholder materiale fra ca. 16.000 bækседimentprøver og jordprøver.

*Bækседimentprøveserie (ca. 200 prøver) indsamlet i 1981
syd for Kangerlussuaq Lufthavn i Vestgrønland*

1981: Prøverne blev sigtet i to fraktioner: <0.1 mm og 0.1-1 mm,
og finfraktionen analyseret som følger:

Årstal	Laboratorium	Analysemetode	Vigtigste grundstoffer
1981:	Risø	DNC	uran
1981:	Risø	EDX	kobber, zink, krom, nikkel, strontium, niob, zirkonium
1989:	Actlabs	INA	guld, arsen, sjældne jordarters metaller m. fl.
1991:	GGU	XRF	hovedgrundstoffer
1994:	Actlabs	XRF	som EDX, men med højere kvalitet
1997:	Den grovere fraktion undersøgt for kimberlit-indikator-mineraler		

DNC: Delayed Neutron Counting

EDX: Isotope excited Energy Dispersive X-ray fluorescence

INA: Instrumental Neutron Activation

XRF: X-ray fluorescence

■ Billedet viser en forvitret Kimberlit.

Ved forvitringen kan "kimberlit-indikator-mineraler" frigøres og til sidst havne som en del af bæksedimentet og siden identificeres ved undersøgelse af de indsamlede bæksedimentprøver.



Diamanteftersøgning

Diamanter består af kulstof, og dette analyseres bæksedimenterne ikke for. Umiddelbart vil man heller ikke kunne skelne mellem kulstof fra diamanter og kulstof fra karbonat, grafit eller planterester i bæksedimentprøverne, så man kan ikke bruge analyseresultaterne til diamanteftersøgning. Det vil sige, ikke uden at gå en omvej. Diamanterne transporteres op til jordoverfladen af vulkanske bjergarter, der er dannet dybt i jordens kappe. Den mest kendte af disse bjergarter er kimberlit, men der er også fundet diamanter i den beslægtede bjergart, der betegnes lamproit. Kimberlit og lamproit har en kemisk sammensætning, der af-

viger en del fra de almindelige bjergarter, og derfor kan man faktisk finde kimberlitter og kimberlitlignende bjergarter ved hjælp af bæksedimenter. Det er langt fra alle kimberlitter og lamproitter, der er diamantførende, så at finde kimberlitterne og deres beslægtede bjergarter er et vigtigt skridt på vejen, men fører ikke nødvendigvis til målet.

Der er også en anden måde, man kan bruge bæksedimenter på i diamanteftersøgningen. Man kunne jo lede efter diamanter i sedimentprøverne. Det betaler sig dog ikke, fordi mængden af diamanter i selv de brydeværdige kimberlitter er meget lille, svarende til omkring 0,2 g dia-

manter i et ton kimberlit. Det vil sige, at sandsynligheden for, at en diamant vil befinde sig i en lille prøve af et bæksediment taget et stykke væk fra en kimberlit, vil være forsvindende lille. Men kimberlitter og lamproitter indeholder nogle mineraler, der er dannet ved højt tryk ligesom diamanterne. Det drejer sig om bestemte former af mineralerne granat, ilmenit, diopsid og kromit. De betegnes under ét som "kimberlit-indikator-mineraler". Indikatormineralerne findes i meget større antal end diamanterne og erfaringerne viser, at de faktisk optræder i bæksedimentprøver taget i nærheden af kimberlitter.

Sedimentprøverne i Vestgrønland er taget med lav tæthed, der er gennemsnitligt ca. 5 km mellem prøvelokaliteterne. Kimberlitgangene er oftest tyndere end en meter. Derfor har vi ingen illusion om at finde hver eneste kimberlitgang ved hjælp af de eksisterende prøver. Kun i de områder, hvor gangene er meget store eller optræder i stort antal, er der en rimelig god sandsynlighed for at en eller flere prøver er blevet taget i nærheden af en kimbergang. Men da vi netop er mest interesserede i at finde sådanne områder, er prøvetætheden tilstrækkelig i første omgang.

Da diamanteftersøgningen i Vestgrønland blev stærkt intensiveret for et par år siden, som omtalt i sidste års årsberetning, kom der en henvendelse til GEUS fra en gruppe af de involverede efterforskningselskaber om lån af ca. 3000 arkiverede bæksedimenter fra hele Sydvestgrønland. Selskaberne ville undersøge prøverne for indhold af indikatorminerale. Igen var

det jo en utrolig besparelse for selskaberne at undgå udgifterne til indsamling. Til gengæld har de så haft råd til at bekoste den dyre bearbejdning af prøverne. Som resultat har vi fået infor-



Bæksedimentprøver i laboratoriet, hvor de tørres og sigtes

mationer om, hvordan indikatorminerale fordeler sig i Vestgrønland. Men vi har også arkiveret alle de mineralkoncentrationer, der blev fremstillet som led i indikatormineralundersøgelsen, og de skal nok vise sig at kunne tjene nye formål. Allerede nu kan vi se muligheden for flere grundvidenskabelige anvendelser af de data og det materiale, der blev resultatet af indikatormineralundersøgelsen.

Fremtidig brug af prøverne

Efterhånden som analysemetoderne forbedres og der skal bruges mindre og mindre prøvemængder til en analyse, samtidig med at detektionsgrænsene går ned, skal det nok vise sig at vi får brug for at finde de arkiverede prøver frem igen. Det kan være en økonomisk interesse for et specielt grundstof, eller et specielt mineral, det kan være nye isotop-undersøgelser til brug for studier af bjergarternes oprindelse, eller det kan være undersøgelser i forbindelse med miljøprogrammer som "global change". Der er i hvert fald ikke tvivl om, at prøverne fortsat skal arkiveres, og at de vil blive brugt i fremtiden, ligesom de feltdatasæt og analyseresultater, der eksisterer for prøverne, vil få stadig nye anvendelser.

■ Grejsdalen i det centrale Østgrønland. Smeltevandsstrøm fra gletcheren er kommet frem til en bredning hvor det medførte finkornede forvittringsmateriale kan bundfældes.





HAVBUNDENS GEOLOGI I NORDATLANTEN - FRA FÆRØERNE TIL ØSTGRØNLAND

Tove Nielsen, Birger Larsen og Antoon Kuipers

Vores viden om dybhavets geologiske processer og havbundens udformning er steget markant de sidste 50 år i takt med udviklingen af akustisk måleudstyr. Måleresultater ved anvendelse af dette udstyr har åbnet vores øjne for, at de fleste af de geologiske processer vi ser på den tørre del af vor klode, også foregår under vandet, endda ofte i en meget større skala.

Nordatlanten, særlig omkring Færøerne og Østgrønland, har været i fokus for en række undersøgelsestogter, som GEUS og det tilknyttede Danske Lithosfærecenter (DLC) har gennemført ofte i samarbejde med internationale partnere. DLC koncentrerer sig i denne sammenhæng om udforskningen af de store træk i åbningen af et nyt ocean og dannelsen af nye

kontinentalsokler, medens GEUS arbejde har sigtet på muligheden for olieforekomster og eventuelle problemer ved deres udnyttelse. Et andet emne er at søge at forstå den historiske udvikling af de havstrømme, der styrer vejr og klima i denne del af verden. Denne artikel vil søge at belyse træk af Nordatlantens geologi, illustreret med resultater fra disse aktiviteter.



Et usædvanligt billede, hvor fjorden er blikstille. Under andre vejrforhold sker der en transport gennem fjorden af isflager eller isbjerge eventuelt medførende materiale fra land, der ud for kysten bliver aflejret på kontinentalshelfen. Herfra kan der udtages prøver, der rummer oplysninger bl.a. om klimaudviklingen gennem tiden. Kong Oscar Fjord i Østgrønland.

Sammenlignet med de omgivende gamle kontinenter er Nordatlanten ganske ung, næppe mere end 55 millioner år. De store træk af det undersøiske landskab (fig. 1) afspejler den voldsomme vulkanske udvikling, der har resulteret i Nordatlantens dannelse i løbet af tertiærtiden. Sedimentdækket ovenpå de vulkanske dannelser er resultatet af bølger, strøm og isens virke suppleret med aflejring af utallige småskaller af havets dyr og planter, kort sagt processer der i høj grad er klimastyrede.

De store træk

Oceanbunden i Nordatlanten er opdelt i 2-3 km dybe bassiner, adskilt af undersøiske bjergkæder eller -rygge. Disse undersøiske rygge stikker op f.eks. som Færøerne og Island. Syd fra op gennem Nordatlanten forløber den midtatlantiske ryg: Reykjanes Ryggen, der fortsætter tværs over Island og videre nordpå. Ryggen markerer grænsen mellem den amerikanske og den europæiske jordskorpeplade.

En anden ryg, kaldet Skotland-Grønland Ryggen, forløber på tværs over Færøerne, Island og under Danmarksstrædet til Østgrønland; de enkelte dele benævnes Færø-Island Ryggen og Island-Grønland Ryggen. Strækningen mellem Skotland og Færøerne kaldes Wyville-Thomson Ryggen. Tværryggen er en effektiv hindring for udveksling af bundvand i nordlig og sydlig retning på langs ad Atlanterhavet.

■ Fig. 1. Det undersøiske landskab i Nordatlanten. Den midtatlantiske ryg krydser syd fra over Island medens Skotland-Grønland Ryggen forløber på tværs over Nordatlanten. Ruten for konturstrømme fra Færø-Shetland Kanalen er vist med rødt. Modificeret udsnit af kort fra National Geographic Society.



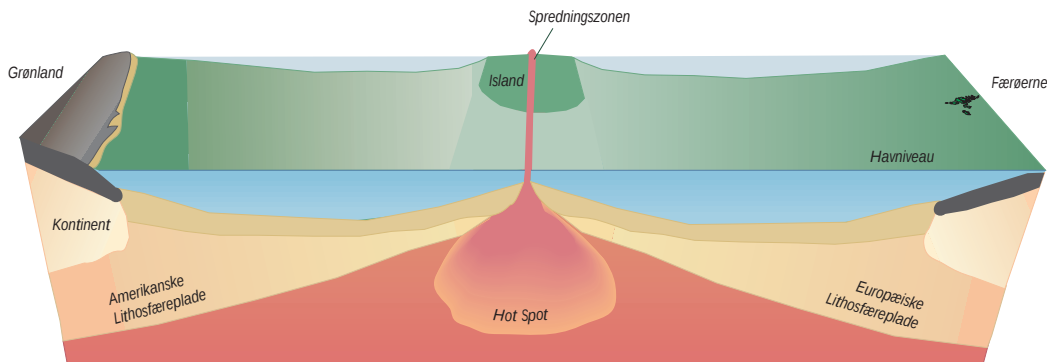


Fig.2. Snit gennem den dybe undergrund på tværs af den Midatlantiske Ryg. Ny oceanskorpe, dannet af vulkansk materiale, kiles ind i spredningszonen og glider ud til begge sider (den stribede havbund).

Både den midatlantiske ryg og tværryggen er grundlæggende dannet ved vulkanske processer. På Island kan vi iagttage, hvorledes glødende $1100-1200^{\circ}\text{C}$ varm lava trænger op som stor-slåede vulkanske udbrud eller vælder op gennem sprækker. Der læsses altså vulkansk materiale fra jordens indre op på jordoverfladen. Når lavaen størkner nede i sprækkerne, bliver der svejset lidt materiale på de to jordskorpeplader; de to sider af sprækken er blevet kilet

lidt fra hinanden, i gennemsnit ca. 2 cm om året. Ny skorpe bliver dannet i sprækkezonen, og så kaldet spredningszonen, og bevæger sig efterhånden ud til siderne. Det sker hele vejen på langs af den midatlantiske ryg inklusive Island.

Gennem 55 millioner år har Nordatlanten gradvis åbnet sig og der er dannet en oceanskorpe af basalt (fig. 2). Mængden af vulkansk materiale, der kommer op, er størst i det centrale Is-

land. Det ser ud til, at der strækker sig en søjle af særlig varmt og mobilt materiale op gennem Jordklodens kappe helt nede fra nær grænsen til jordens kerne i ca. 2700 km dybde: en "hotspot".

Over hotspotten er produktionen af vulkansk materiale højere end på ordinære stykker af spredningszonerne, så jordskorpen bliver ekstra tyk når den er dannet over hotspotten. Det er en del af forklaringen på

Skotland-Grønland Ryggen. Denne ryg er altså en "fortykkelse" af den vulkanske havbund, der skubbes væk fra "hot-spotten". Det nydannede varme kappe- og skorpemateriale ligger højt på grund af varmeudvidelsen; men efterhånden som det bliver ældre og køler af, trækker det sig sammen og bliver lidt tungere. Toppen af den vulkanske skorpe ligger regelmæssigt lavere med tiden; ca. 1000 m i løbet af de første 9 mio. år og ca. 2500 m på 50 mio. år.

For ca. 55 mio. år siden, da kontinentet blev trukket i stykker og Nordatlanten begyndte at åbne sig, lå området, der blev til Færøerne, klods op ad Østgrønland ved Kangerlussuaq Fjord (ca. 68°N), lige over hotspotten. Uhyre mængder af basalt flød ud og store vulkanske landområder blev dannet. En del af dette kan vi i dag se som plateau-basalterne på Østgrønlands kyst og på Færøerne, som sandsynligvis også ligger på kontinent-skorpe, dvs. ikke-vulkansk materiale f.eks. granit. Men kæmpe-mæssige områder er senere sunket i havet langs Østgrønlands kyst og langs Norges

kontinentalsokkel samt i banke sydøst for Færøerne. Oceanbunden såvel som tværryggen sænker sig altså gradvis bort fra spredningszonen, men selv om det tilsløres af yngre sedimenter, er der altså en relativ simpel vulkansk forklaring på hovedtrækkene i Nordatlantens form.

Kontinentalskelfen

På fig. 1 ses også hvordan både ørgrupper og landområderne er omgivet af en relativt lavvandet kontinentalskelf for det meste med vanddybder på mindre end 400 m. Udadtil afgrænses skelfen af en markant kant, kontinentalkanten, ud mod den høje kontinentalskrænt ned mod dybhavs-bunden (se fig. 3).

Landnære dele af skelfen består ofte af det samme hårde materiale som det tilgrænsende landområde, men de ydre to tredjedele og kontinentalskrænterne består af en ophobning af sedimentmaterialer, der er ført ud fra land af is og strømmende vand. Ikke sjældent har skorpen i skelfområderne sænket sig så der gennem tiden er blevet plads til kilometertykke lagfølger langs kanterne af kontinenterne, som det f.eks. er tilfældet i Nordsøen.

Isen udformede skelfens landskab

Allerede polarforskeren Nansen erkendte, at der er et vist ensartet præg i udformningen af kysterne og kontinentalskelfen i områder, der har været under indflydelse af isdækker (fig. 4). Skelfen i Nordatlanten ligger generelt ret dybt sammenlignet med resten af verden. Karakteristiske træk er de høje klippeskyster med de dybt nedskårne fjorddale. Disse fortsætter ofte som flade og mindre dybe dale tværs over skelfen, almindeligvis med de mindste dybder tæt ved kontinentalkanten. De største dale på tværs af kanten (tværdale) ses ud for de største fjorde. Den indre del af kontinentalskelfen er et lavtliggende noget ujævnt klippeterræn, hvor de højeste dele kan stikke op som en skærgård. Tit er der eroderet en dyb dal på langs ad skelfen, f.eks. Skagerrak Renden, hvor den faste klippe ud mod oceanet dækkes af en blødere sedimentpakke.

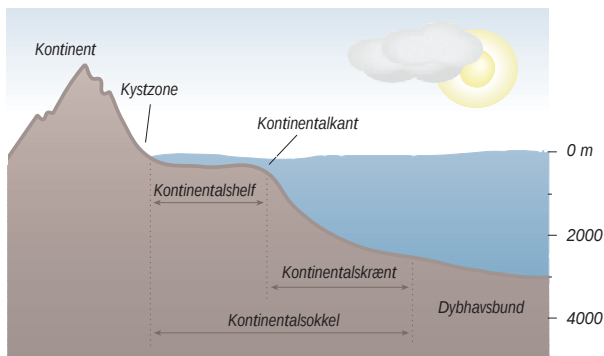


Fig. 3. Tværsnit af jordskorpen fra kontinent over kontinentalsokkel til dybhavsbunden.

På den ydre del af shelfen og mellem tværdalene ligger der almindeligvis store banker, ofte vigtige fiskepladser, hvis overflade i store træk hælder indad mod land. Det er sandsynligt, at denne udformning af bunden overvejende er sket under isdækker på kontinentalskælfen ved istidernes maksimum. I nutiden virker fjordene og de indre render som ret effektive sedimentfælder, men under isdækkets maksimale udbredelse til kontinentalkanten blev sedimenterne hældt mere direkte ud på kontinentalskrænten.

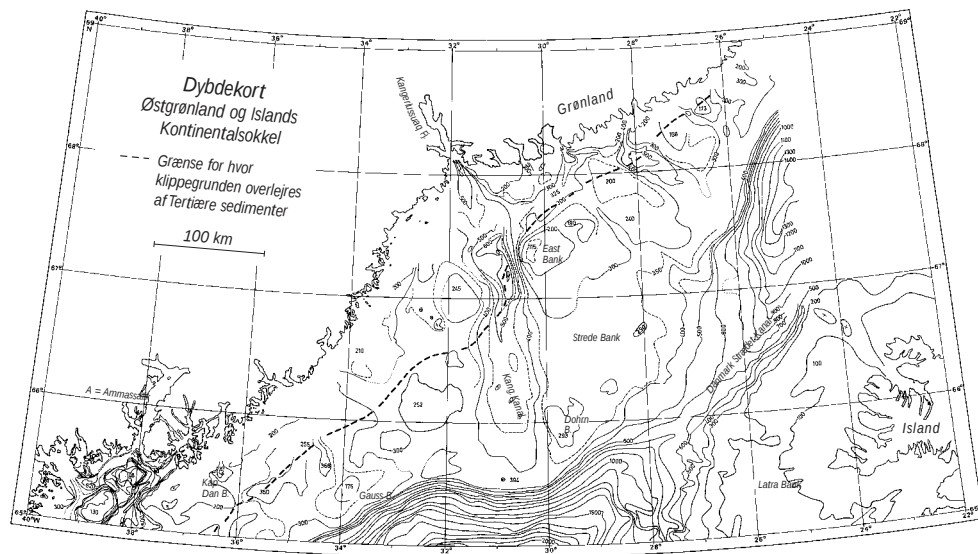


Fig. 4. Dybdekort: Østgrønlands og Islands kontinentalsokler og kontinentalskrænt i Danmarkstrædet flankerer den ret smalle kanal. På soklerne ses de store tværdale ud for fjordene med banker imellem og langsdale parallelt med kysten.

Isbjergene kradser

Det er karakteristisk at havbunden på flade steder af Østgrønlands kontinentalshelf er gennemfuret af pløjemærker dannet ved stranding eller bundberøring af drivende isbjerge. Vi kan iagttage at havstrømme kan holde store isbjerge i fortsat bevægelse, selv om de stikker en køl ned i bunden, hvorved en op til 25 m dyb, 250 m bred og flere kilometer lang rende bliver "pløjet" op i havbunden (fig. 5 og 6). Helt ned til 350 m vanddybde er bunden mange steder helt mættet med isskuringer, dvs. der kan ikke skures et nyt pløjemærke uden at ødelægge ældre. Andre steder, der ligger i læ af banker eller på bunden af render, ses ingen isskuringer. Nogle gange har pløjningen været så intens, at de øverste titals meter af havbunden er totalt omarbejdet og det der kaldes en "iceberg turbate" dannes. Et sådan lag er muligvis observeret på sokkelen nord for Færøerne. På GEUS togt med R/V Dana i 1996 omkring Færøerne, er der mærkværdigvis fundet pløjemærker ned til 915 m recent vanddybde (fig. 7). Det er uklart, hvorfra så dybtgående isbjerge kan komme; de dannes næppe i nutiden på den nordlige halvkugle, men

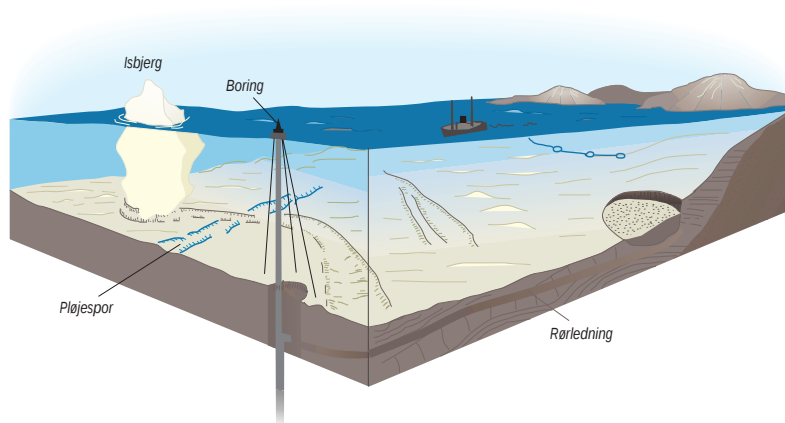


Fig. 5. Et isbjerg pløjer sit spor i havbunden og til sammenligning er antydnet en borerig og en rørledning



Fig. 6. Havbund gennemfuret af isbjergsskuringer på ca. 350 m vand på Østgrønlands kontinentalsokke. Havbunden ses lige under skibets kurslinie øverst på billedet. Sidescan billedet forstås lettest, hvis man ser det som et "luftbillede" af havbunden taget lige før solnedgang med solen i ryggen som det vist på figur 5 ovenfor.

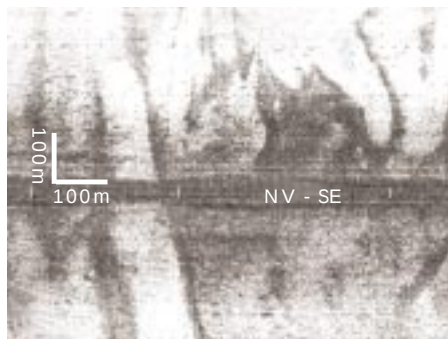


Fig. 7. Sidescan billedet af Isbjergskuringer fra Færøernes kontinentalsokkel på ca. 600 m vanddybde.

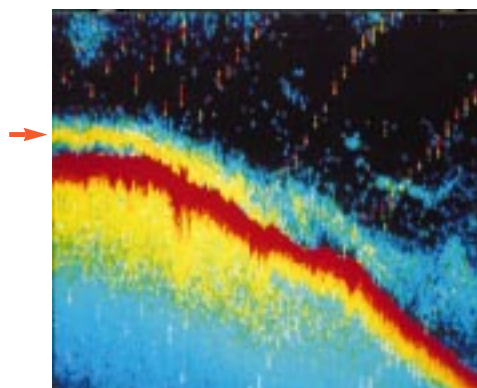


Fig. 8. Farveekkolod billede over sokkelkanten i ca 400 m dybde og 200 meter ned af skrånningen i Danmarkstrædet (jf. fig4). Bunden er markeret rødt. Herover aftegnes et undersøisk vandfald af koldt bundvand- den gule farve der går over i lyseblåt (pilen).

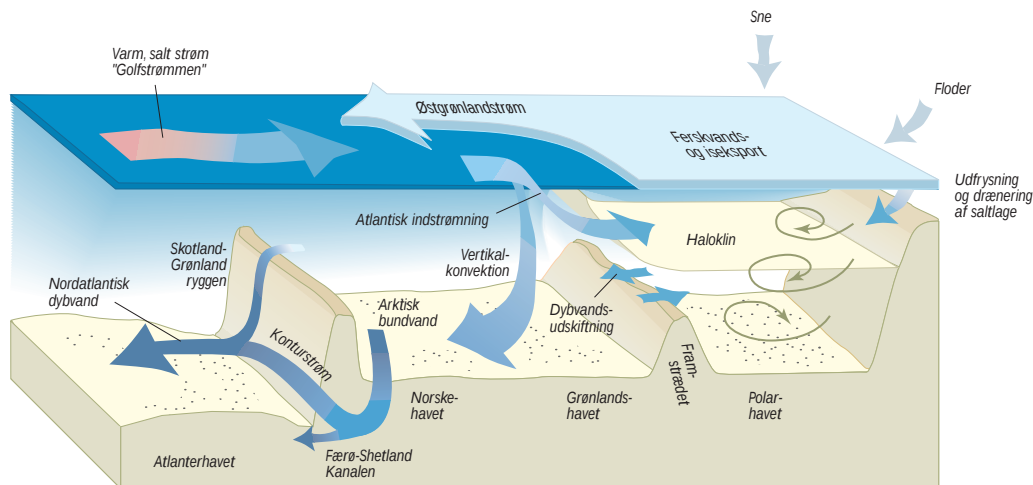
betingelserne har været anderledes under istiden. Studier langs den norske kyst har vist, at 60-80% af sokkelen dér er påvirket af isbjergskuringer, selvom der ikke ses isbjerger i dette område i nutiden. Pløjemærkerne er altså vidnesbyrd om tidligere tiders isbjerger og kolde havstrømme. Dette er igen et led i forståelsen af ændringer i og forløbet af de store nordatlantiske havstrømme under kvartærtidens nedisninger og er et vigtigt bidrag til klimaforskningen.

Det er indlysende at ispløjning er af afgørende betydning for offshore olieindvinding på arktiske kontinentalsokler. Men også i områder, hvor der ikke i dag forekommer isbjerger, har ispløjningen tit brudt ellers meget velkompakterede bundforhold i stykker og samtidig givet et uroligt relief af den faste bund. Påvisning af de forstyrrede bundforhold er vigtig i forbindelse med placering af de tunge offshore installationer. Dette er ikke altid helt let, fordi de gamle pløjemærker nu ofte er dækket af yngre aflejringer.

Kontinentalskrænten

Det er en speciel oplevelse at se på ekkogrammet og iagttagge, hvordan bunden pludselig dykker ned, når man bevæger sig fra shelfområdet ud over kontinentalkanten og ned ad den ofte 1-3 km høje kontinentalskrænt. På de seismiske profiler kan vi se, at sedimentmateriale er ført ud over kontinentalkanten og har lagt sig lag på lag på den 1-5° hældende skrænt. Skrænten bygger langsomt ud. (fig. 4). Resultatet er, at tværsnittet for vandstrømninger med tiden er blevet mindre og mindre.

Imidlertid har de nye akustiske metoder, som har givet os muligheder for at overskue store strækninger af skrænterne afsløret landskabsformer, der viser at sedimenterne ikke kun stille og roligt aflejres på skænterne. Spor efter kæmpemæssige skred er ret almindelige. Havstrømme fører sedimenter afsted parallelt med skrænterne og danner drifter af mudder, der kan følges hundreder af kilometer. Disse sedimenter er interessante i sig selv; men i tilgift bærer de oplysninger om variationen gennem tiden af den klimatisk meget betydningsfulde vandudveksling mellem Arktis og det Nordatlantiske bassin.



■ Fig. 9. Havstrømme i Nordatlanten og Polarhavet meget forenklet. Det varme vand fra Golfstrømmen køles af og synker ned. Det blandes med koldt bundvand fra Polarhavet og danner det Nordatlantiske bundvand der strømmer sydpå dels gennem Færø-Shetland Kanalen dels skulper over Skotland-Grønland Ryggen f.eks i Danmarksstrædet. Koldt overflade vand løber ned langs Østgrønlands kyst bl.a. med de isbjerge, der kradser i sokkelen. Haloklin er grænsen mellem ferskere overfladevand og svagt salttere bundvand. Ændret efter A. Keck og F. Strand

Havstrømme indvirker på havbunden

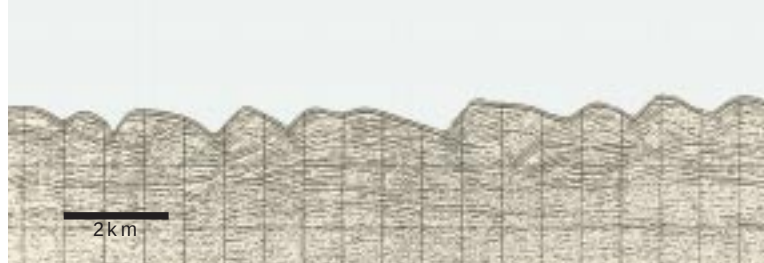
Golfstrømmen pumper varmt vand op langs Norges kyst. Det luner. Samtidig bliver havvandet i det Arktiske Ocean og det Nordlige Atlanterhav kølet ned; det bliver koldt og tungt og har tendens til at synke ned (jf. fig. 9). Sammen med den kolde østgrønlandske strøm danner disse bundstrømme returstrømmen på denne kæmpe radiator, der er af helt afgørende betydning for klimaet specielt i vores del af verden. Undersøgelser af returstrømmens variationer gen-

nem tiden er et af GEUS' fokusområder.

De af strømmene, der løber langs havbunden, de såkaldte dybhavsstømme, har en kraftig indvirkning på udformningen af havbundens overflade, både gennem aflejring og ved erosion. Skotland-Grønland Ryggen er en effektiv hindring for udveksling af bundvandet på langs ad Atlanterhavet i sydgående retning. De dybe strømme er derfor henvist til at følge de snævre pas over ryggen, dels gennem Færø-Shetland Kanalen og dels

gennem Færø Banke Kanalen. De lejlighedsvis kraftige bundstrømme danner strømribber, sandfaner og andre bundformer, som vi bl.a. kender fra flodløb og snævre sunde (fig. 10). GEUS har undersøgt disse strømbetingede bundformer for at få noget at vide om, hvor strømmen løber, og hvad styrken er af de hurtigste strømme på stedet. Koldt vand på middeldybder (500-800 m) nord for tværryggen kan fra tid til anden skulpe over Island-Færø Ryggen eller finde vej gennem den snævre rende i Danmarks-

■ Fig. 10. Sidescan billedet af storskala strømribber af sand, der vidner om kraftig strøm på bunden af Færø- Shetland (Færø Banke) Kanalen på ca. 1150m vand.



■ Fig. 11. Ekkolodprofil med 50 meter høje sedimentbølger på den nedre del af kontinentalskråningen syd for Danmarksstrædet udformet af de kraftige konturstrømme af det kolde vand, der strømmer over og langs Skotland-Grønland Ryggen. Nede i bunden ses spor efter gamle sedimentoverflader, der vidner om at sedimentbølgeformen flyttes efterhånden som mere sediment lægges på.

strædet og strømme ned på sydsiden som et veritabelt submarint vandfald (fig. 8).

Man kunne tro, at så snart det tunge bundvand var sluppet over tværryggen, ville det løbe ned ad bakke direkte ned mod de dybe dele af Atlanten; men nej! I lighed med vindene omkring et lavtryk afbøjes strømmene mod højre som følge af jordens rotation, så de i stedet må løbe afsted langs skråningerne næsten i samme dybdeniveau dvs. langs en dybdekurve ad en ganske kompliceret rute (fig. 9).

Disse strømme kaldes "konturstrømme". De kan være meget kraftige, og i det mindste syd for Island-Færø Ryggen transporteres sand selv på 1000 m dybde.

Materiale, som strømmene fører med sig, aflejres i drivelige ophobninger, "drifts", fortrinsvis nederst på skrænterne. De har form af store langstrakte puder aflejret parallelt med dybdekurverne. De kan blive 10-100 km lange, 10-tals km brede og op til 2 km tykke. Nordatlanten byder på et rig-

holdigt sortiment af disse "konturit drifts", bl.a "Eirik Drift" langs Grønlands sydlige kontinentalskrænt og "Feni Drift" langs Rockall Plateauets sydøstkant.

På nogle af disse drifts kan man se, at bunden er kastet op i store sedimentbølger, der er op til 50 m høje og med en bølglængde på halve og hele kilometre (fig.11). Sådanne "bølgeformer" flytter sig efterhånden som der aflejres nyt materiale, og lejlighedsvis sker der erosion. Der opstår meget komplice-

rede men også informative lejringsforhold. På Sydøstgrønlands kontinentalskrænt kan man se hvorledes, perioder med "konturit-aflejring" er afløst af erosionsperioder, svarende til at perioder med svagere og kraftigere bundstrømme har vekslet. Materiale i borekærner fra "konturit-aflejringer", indsamlet bl.a. under det senere omtalte ENAM projekt, kan ofte vise en markant forskel mellem istids- og ikke istids aflejring.

Også nord for Island-Færø Ryggen findes konturstrømme og "konturitter". Her bør især nævnes tre endnu unavngivne "konturit-aflejringer", som GEUS har været involveret i undersøgelsen af: På den øvre del af kontinentalskrænten nord for Færøerne er et "konturit sheet" blevet kortlagt i perioden 1993-97.

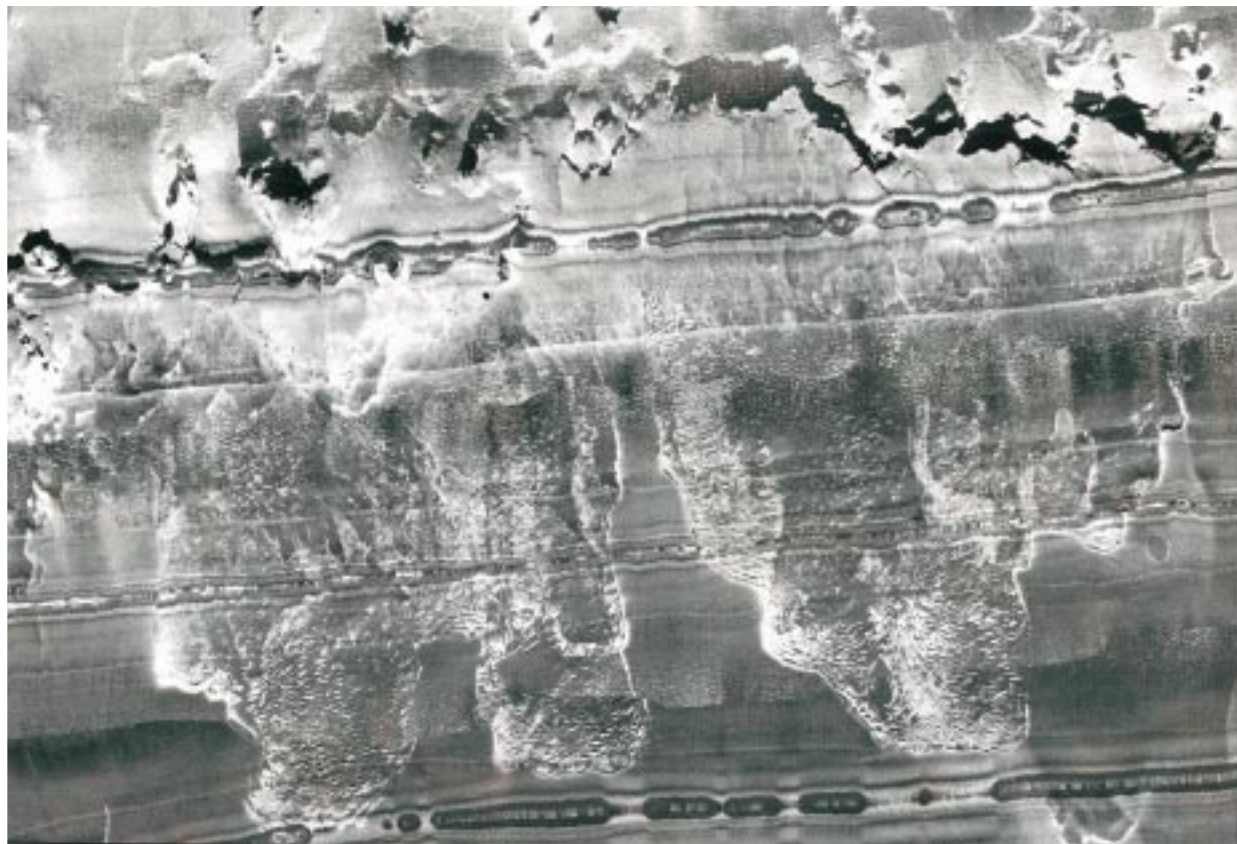
Langs den nederste del af skrænten og i bunden af Færø-Shetland Kanalen er der for nyligt observeret en kanal-konturit, hvis udbredelse og størrelse endnu ikke er fuldt kendt. Endelig blev der i sommeren 97 opdaget endnu en konturit ved udløbet af Færø Banke Kanalen sydvest for Færøerne.

Kontinentalskrænterne skrider

De mest spektakulære havbundsformer i dybhavet opstår, når sedimenterne på shelfen og kontinentalskrænterne af forskellige årsager bliver ustabile og begynder at bevæge sig ned ad skråningerne. Omfanget kan variere fra sedimentkorn, der tumler ned ad skråningen over småudskridninger til totale sammenbrud af flere hundrede kilometer af kontinentalsoklens ydre del. Interessen for den slags skredbevægelser er stor både fra videnskabens og industriens side.

Det allerførste skred udløser ofte en række successive skred i skrænten ovenfor og ud til siderne fra skredet. Der fremkommer derved en karakteristisk skredgrube, med stejl bagvæg og med bagud tippede oversider af skredblokkene, som derved danner et uroligt relief i havbunden. Det forhold, at lagdelingen i skråningens sedimenter ofte praktisk talt er parallel med havbunden, kan medvirke til, at 50-100 m tykke skiver af skråningen skrider ud og ned, således at blokke, fra ganske små til flere kvadratkilometer store, kan rutsche afsted og nærmest "aquaplane" som en

bil på en våd vej. (fig.12). Nogle gange er blokkene næsten intakte, men andre gange bliver materialet så forstyrret, at det flyder afsted som en plastisk masse som våd beton. Under visse omstændigheder kan bevægelsen blive så kraftig, at der hvirvles vand ind i massen og den flyder videre som en opslemning. Nu fortsætter den ned ad skråningen som en tung, snavset væske, hvor det er den voldsomme turbulens, der holder sedimentet opslæmmet. En sådan "turbiditstrøm" kan bevæge sig mange hundrede kilometer langs bunden, selv når den er næsten horisontal, indtil strømmen stopper og aflejrer sin last, som regel på de meget flade dybhavssletter, der er karakteristiske for havets dybeste dele. I Nordatlanten kan turbiditstrømme tilsyneladende også aktiveres i forbindelse med kraftige Jökelløb, som det skete på Island i 1996, da vulkanen Grimsvötn under gletcheren Vatnajökul smeltede store mængder is og smeltevandet bandede sig vej under isen ud til kysten som et Jökelløb.



0 3 km

■ Fig. 12. Skredformer observeret på kontinentalskrænten nordøst for Færøerne "The North Faeroes Slide Complex". Billedet er som et luftbillede set mod nord ned ad skråningen med belysning fra lavtsiddende lyskilder, der lyser ned ad skråningen. Lyset er i virkeligheden lydstråler. Loberne nederst på billedet er overfladiske skred. Den sorte zig zag linie øverst på billedet er skyggen af en op til 300 m høj skredskrænt på ca. 1500 m vand dybde. Billedet er sammensat af langdistance sidescan profiler (TOBI) der forårsager striberne på tværs.

De forskellige typer af skredprocesser forekommer mest i kombinationer. Der er som oftest tale om et dynamisk udviklingsforløb fra bevægelsen begynder til sedimentet er faldet til ro og aflejres igen. Forløbet starter med udskridninger og blokskred og ender som en turbiditstrøm.

Der opdages til stadighed nye eksempler på spor efter ustabilitet af kontinentalskrænterne i Nordatlanten. Her har olieindustriens stigende interesse intensiveret eftersøgningen, men også en del større, internationale forskningsprojekter har vendt sig mod emnet, bl.a. ENAM projektet. Via dette projekt har GEUS været involveret i opdagelsen og udforskningen af et gigantisk skredkompleks på kontinentalskrænten nord for Færøerne (fig. 12). Dette skredkompleks, indtil videre kaldet "The North Faeroes Slide Complex", har kun været kendt siden 1991; men de foreløbige resultater antyder, at det er et klassisk eksempel på de sammensatte processer, der indgår i sedimentmassernes udskridning. Der er utvivlsomt også sket skred ud

for Østgrønlands kontinentalsokkel, men dem ved vi meget lidt om endnu.

Nogle af skredene i Nordatlanten har været gigantiske. For 30.000-50.000 år siden skred 300 km af den ydre del af Norges kontinentalsokkel ud i området ud for Ålesund-Trondheim: "Storegga Skredet". Aflejringerne herfra er op til 450 m tykke og er spredt indtil 800 km væk og dækker et område på størrelse med Skotland helt ud til 3.5 km dybde. Ved en "lille" efternøler for ca. 8000 år siden rutschede yderligere to klodser på 10 og 30 km ned over skrænten og 200 km væk og satte en kæmpemæssig tsunami-flodbølge i gang, hvis virkning kan spores langt omkring.

Virkningerne af sådanne skred kan strække sig fra nogle knækkede dybhavskabler til muligheden for total ødelæggelse af offshore installationer i store områder, for ikke at tale om de ulykker en ledsagende tsunami-bølge kan forårsage i kystområder. Der er stadig meget af kontinentalskrænterne, der endnu ikke er skredet, så der ligger en

vigtig opgave i at tilvejebringe viden, der kan forklare, hvad der kan udløse sådanne store skred.

Dybhavsbunden

Som nævnt ovenfor så rummer dybhavsbassinernes sedimenter vidnesbyrd om skredkatastrofer, turbiditter, men i det "daglige" er sedimenterne mere præget af aflejringen af de fine skaller af havvandets planktonorganismer og lidt fint ler ført ud fra land. Under istiderne kan sedimenter, inklusive grus og sten fra smeltende isbjerge, bidrage væsentligt til sedimentforsyningen. Sedimentationen er dog gennemgående ganske langsom. Derfor vil de borekærner på 6 meter, der bliver taget på GEUS' togter ikke sjældent give oplysninger om flere istider og mellemistider. Men det er en helt anden historie.

Dybhavskoraller

På steder med kraftig strøm kan man selv i Nordatlantens kolde vand finde koraller. Det er dog først i det seneste årti, efter at olieindustrien er søgt ud på større og større vanddybder, at opsporingen af dybhavskorallerne for alvor er begyndt. Man troede indtil for nyligt, at disse koraller var meget sjældne, men de seneste års undersøgelser har vist, at de er mere udbredt i Nordatlanten end hidtil antaget.

Udforskningen og kortlægningen af korallerne gøres i stor udstrækning ved brug af de geologiske værktøjer. I 1997 deltog GEUS i et internationalt togt med deltagelse af både bio-

loger, geologer og geofysikere, der bl.a. havde til formål at forske i dybhavskoraller vest for Færøerne (se fig. 13). Dybhavskoraller er observeret på mange forskellige vanddybder helt ned til 1200 m - og de ses både på kontinentalshelfen, kontinentalskrænterne og på enkeltstående banker og rygge. De forekommer i flere forskellige former; som flade spredte klatrer, som langstrakte rev og som op til hundrede meter høje banker. Trods flere års intens forskning er der stadig ringe forståelse af processerne, der betinger udbredelsen af dybhavskorallerne. Der arbejdes med flere forskellige teorier, hvor udsivende gasser, udsivende saltvand, havstrømmenes

forløb eller intern turbulens i disse er blandt de mest udbredte forklaringer. Det er dog nok sandsynligt at dannelsen og udbredelsen af dybhavskorallerne må tilskrives et samspil af forskellige processer.

Interessen for at forstå dybhavskorallernes forekomst er mangesidig. Dels er det vigtigt at forstå korallernes levevilkår så de ikke ødelægges af menneskelige aktiviteter. Dels synes korallerne på visse steder at forekomme i så stort tal, at de er til besvær i forbindelse med konstruktioner og installationer på havbunden som led i bl.a. kulbrinteindvinding.

■ Fig. 13. Dybhavskorallen "*Lophelia pertusa*" hentet på 800m vanddybde i farvandet vest for Færøerne samt en tændstikformet søpindsvinepig, der måler 6 cm.





OM BEGREBET NATUR

Richard Bradshaw, Jens Morten Hansen & Peter Friis Møller

Behovet for natur

De hurtige ændringer som for tiden finder sted i vore biologiske og fysiske omgivelser vækker bekymring i vide kredse i samfundet. Hovedparten af ændringerne anses for at være konsekvenser af den teknologiske kultur og industrialiseringen, og de opfattes derfor som "unaturlige". Denne artikels forfattere vil som udgangspunkt definere "natur" som plante- og dyreverdenens og de fysiske omgivelseres uberørte tilstand, før mennesket begyndte at udfolde sine aktiviteter. Men forfatterne vil også forsøge at analysere, hvilke uhåndterlige begreber en sådan naturopfattelse vil medføre i et land som Danmark, og hvordan vi bedre vil kunne håndtere begrebet "natur" i et årtusinder gammelt kulturlandskab.

● ● ● ● ● ● ● ● ● ●
*Bronzealderbøndernes
og nutidens spor i
landskabet. Ved Højby
i Nordvestsjælland*

Bekymringerne kommer til udtryk på forskellig vis. Man føler sig truet af hurtige og muligvis unaturlige klimatiske ændringer og har engageret sig i en politisk proces, der sigter mod at begrænse udslippet af drivhusgasser. Man er alarmeret over den hastige forsvinden af naturlige

levesteder for planter og dyr i de tropiske regnskove og har iværksat initiativer, som har til formål at begrænse yderligere indskrænkninger i den biologiske mangfoldighed. Man er chokeret over de fattige økosystemer, der er indført i europæisk land- og skovbrug på bekostning af tidligere tiders mere varierede natur.

Man er foruroliget over at finde syntetiske kemiske stoffer i jomfrueligt grundvand og luftforurening i højarktiske egne. Man har erobret og omdannet naturen, til at begynde med i en kamp for at overleve, men kampen er nu blevet så ulige, at vi må begræde tabet af vor modspiller.



*Den levende naturs sidste skanse i kulturlandskabet?
Hedeland, Roskilde*

Jorden over foreligger derfor nu et væld af planer og projekter, som handler om at bevare eller genetablere naturlige miljøer og den biologiske mangfoldighed. I Europa er der afsat midler i landbrugs- og skovbrugsprogrammerne med henblik på at udvikle bæredygtige og mere naturnære systemer, og en ny "grøn agenda" er opstillet. Hvad bør målsætningerne være for sådanne programmer?

Denne artikel beskæftiger sig med spørgsmålene:

■ Hvad er "naturligt" i nutidens danske landskab?

■ Hvor meget "natur" har vi brug for eller ønsker vi os?

Besvarelsen af disse spørgsmål bør inddrage naturvidenskabsfolk med indsigt i fagområderne biologi og geologi. Mange aktuelle miljøproblemer går på tværs af de traditionelle faggrænser. Udarbejdelsen af praktisk anvendelige løsningsforslag appellerer til nye kombinationer af forskere med forskellig faglig baggrund. GEUS' afdeling for Miljøhistorie og Klima er et eksempel på en sådan tværfaglig forskningsgruppe.

Mennesket som del af naturen

Før der kan gøres rede for, hvad et "naturligt" dansk landskab vil sige, må der tages stilling til i hvilken udstrækning, vi er parat til at acceptere mennesket som en del af naturen. Forskellige samfund har omformet deres biologiske og fysiske omgivelser på forskellig måde og i varierende omfang. Europæernes bosættelse på de amerikanske og australasiatiske kontinenter medførte så markante ændringer, at videnskabsfolk ofte bruger tilstandene før bosættelsen som sammenligningsgrundlag i beskrivelser af det moderne samfunds dramatiske indgreb i naturen. Eksempler på miljøer, der er forholdvis upåvirkede af den europæiske samfundsform, forekommer stadigvæk og kan anvendes som referencegrundlag ved sammenligninger med steder, hvor menneskets aktiviteter har ført til forringelser i de biologiske og fysiske omgivelser.

I bestræbelserne på at definere naturtilstande kan en sådan fremgangsmåde synes tillokkende, men den er vanskelig at bruge i en europæisk sammenhæng. I lande som f.eks. Danmark og Irland stammer mange typiske landskabstræk så langt tilbage i

tiden som fra bronzealderen, og der findes næppe landskabsselementer, som er fuldkommen upåvirkede af menneskets aktiviteter. Blandt de mindst påvirkede steder i Danmark må nævnes højmoserne, visse naturskove (bl.a. et område med småbladet lind i Draved Skov i Sønderjylland), kysternes brændingszone og andre helt nye landskaber som f.eks. nyopståede øer og kyststrækninger.

Selv de amerikanske og australske landskaber, som de tog sig ud i tiden før europæernes ankomst, befandt sig sandsynligvis ingenlunde i en tilstand af uberørthed. Forskerne beretter til stadighed om nye tegn på de oprindelige folks indvirkning på landskabet. Indianerne øgede hyppigheden af skovbrande og ændrede på brandenes forløb, og mange store pattedyrs og fugles uddøen i perioden efter istiden lader sig bedst forklare som et resultat af menneskenes indgreb i naturen. De mest oplagte eksempler kommer fra fjernt beliggende øer, hvor mange arter er forsvundet hurtigt efter en kolonisation, uanset om indvandrerne var europæere, polynesiere eller af anden oprindelse.

I de længe urørte naturskove med uforstyrret grundvandsstand og uhindret dynamik kan man få et indtryk af nogle af de strukturer, der prægede fortidens urskove. Men der er også meget at lære for nutidens skovbrugere, til gavn for et naturnært og bæredygtigt skovbrug. Draved Skov i Sønderjylland.



Fra Tyskland rapporteredes for nyligt om menneskenes organiserede påvirkning af den naturlige bestand af dyr og planter for 380.000-400.000 år siden, d.v.s. ca. 100.000 år efter de tidligste

veldokumenterede arkæologiske fund og den formodede ældste bosættelse. Tre lange og fuldstændigt bevarede spyd, der med omhu er fremstillet af grantræ, er fundet sammen med

stenredskaber, tusinder af hesteknogler og et muligt kogested. Mange af knoglerne viser tegn på, at hestene har været udsat for nedslagning. Dette bemærkelsesværdige fund har ført til en revurdering af tidspunktet for introduktion af storvildtjagt, og for hvornår menneskene begyndte at gøre mærkbare indgreb i naturen.

Pollenanalyser er et slagkraftigt værktøj til at påvise, hvornår skov afløses af det åbne lands plantesamfund. Et stenredskab samt trækulspartikler og elefanttænder optræder samtidig med skovrydning for ca. 250.000 år siden omkring en sø i Østengland. Rydningen stod på gennem nogle få hundrede år. Der var formentlig tale om en organiseret indsats for at holde skoven i ave ved hjælp af afbrænding, og hensigten var antagelig at forbedre jagtbetingelserne ved søen. Dette er endnu et eksempel på et tidligt kultursamfunds påvirkning af omgivelserne. I de to sidstnævnte eksempler er det dog sandsynligt, at de "naturlige" tilstande blev genoprettet, da indgrebene hørte op.

Lige fra istidens ophør - eller rettere den nuværende mellemistids begyndelse - for ca. 10.000 år siden er landskabet blevet påvirket noget kraftigere af menneskene. I det sydlige Skandinavien er der vidt udbredte tegn på, at menneskene har udfoldet deres aktiviteter helt tilbage fra det tidspunkt, hvor isen forsvandt. Almindeligvis forbindes det første direkte tegn på menneskeindgreb i den naturlige vegetation med dyrkningen af kornsorter, som har efterladt vidnesbyrd i form af pollen, sædkerner og endda aftryk heraf i lertøj.

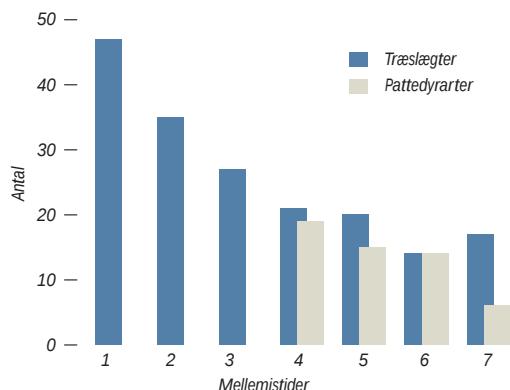
Dette er sandsynligvis at sætte tingene på spidsen: Kultursamfundets påvirkning af faunaen, især de store planteædere, har formentlig haft større indflydelse på naturtilstanden, end de første bønder havde. Antallet af træarter og af store pattedyrarter i skovene aftager støt i løbet af kvartærtiden, men de store pattedyrs kraftigste tilbagegang fandt sted under den sidste nedisning, og mennesket er den helt uberettigede hovedmistænkte. Flodhest, elefant, næsehorn og kæmpebjørn, som strejfedes rundt i Nordvesteuropa under sidste mellemistid, vendte aldrig

tilbage efter istiden. I selve efteristiden er forarmelsen af faunaen fortsat med tab af bl. a. urokse og bison. Disse store dyr satte med deres forkærlighed for bestemte typer af foder præg på artssammensætning og struktur i de skove, de levede i. Og uden disse dyr befinder vi os i et mindre "naturligt" miljø. Men det er først i perioden efter istiden, at de første indskudte tegn på større ændring af naturen som følge af menneskets aktiviteter kan observeres.

Det er let at tegne et negativt billede af menneskets indvirkning på landjords økosystemer, men et sådant billede ville være misvisende. Vi har en stor og værdifuld kulturarv bevaret i omgivelserne. 30% af de svenske karplanter, som er opført på en liste over truede arter, blev oprindeligt indført af mennesker, ofte utilsigtet som "ukrudt" i landbrugsafgrøder, og noget tilsvarende er hændt i de fleste vesteuropæiske lande. Arter, som var gårsdagens uønskede fremmedelementer, er morgendagens truede arter. Nylige indvandrere, som f.eks. skvalderkål, bjørneklo og tyrkerdue betragtes sædvanligvis som uønskede og tildeles lav status i frednings-

■ Årtusinders samspil mellem menneske og natur i form af husdyrgræsning var med til at udforme nogle af vores prægtigste landskaber. Ydby Skjold i Thy





■ Udviklingen i antallet af træslægter og store pattedyrarter gennem kvartærtidens mellemistider: 1. Reuver, 2. Tegelen, 3. Waal, 4. Cromer, 5. Holsten, 6. Eem, 7. Holocæn (Eftertiden).

sammenhæng i modsætning til mere tidlige indvandrere, som f.eks. hedelyng, agerhøne og urfugl. Men man kan hævde, at vi ligefrem har en pligt til at stimulere en vis indvandring, eftersom menneskene har afmonteret mange af de naturlige mekanismer, som kunne forventes at bringe nye arter til Danmark. Den fremherskende holdning til fremmedelementer får inkonsekvensen i sider af fredningspolitikken til at træde stærkt frem, når forholdene anskues i et langtidsperspektiv.

I virkeligheden blev mange af vore mest skattede plantesamfund skabt gennem historiske, men nu uøkonomiske former for arealanvendelse. De fleste af det åbne lands plantesamfund er således fremkommet på

grund af menneskeaktiviteter. Nogle af disse plantesamfund har en landøkonomisk oprindelse, der går tusinder af år tilbage.

I andre tilfælde har menneskeaktiviteter og naturlige processer påvirket vegetationen i samme retning. Fremkomsten af lynghede i de vestlige egne af Danmark, Britannien og Irland er et fænomen, som også er registreret fra tidligere mellemistider, men lyngheder har haft langt den største udbredelse i perioden efter istiden. Afbrænding, græsning og et fugtigt klima med blæst er faktorer, som alle bidrager til fremkomst og opretholdelse af lynghede, og uden menneskets medvirken ville der formentlig kun findes hede i det vestjyske klitområde.

Det må konkluderes, at det i Danmark kan være vanskeligt at afgøre, hvornår ændringer i landskabet er menneskeskabte, og hvornår "menneskefrie" processer ligger til grund for ændringerne. Dansk natur uden mennesker er et rent teoretisk begreb, som ikke giver praktisk mening. Alligevel er det fortsat et problem, at mange mennesker føler utilfredshed med det landskab, vi har skabt, og at de fremkaldte økosystemer er ustabile, alene fordi landøkonomien er ustabil. Det er ønskeligt, at balancepunktet rykkes lidt tilbage i retning mod "naturen", men det forudsætter, at vi forsøger at definere, hvad en "naturlig tilstand" indebærer i historisk lys. I næste afsnit antydes eksempler på rekonstruktion af fortiden og identifikation af naturlige processer. Det sker i bevidstheden om, at menneskeaktiviteterne i et vist omfang må betragtes som en del af naturens orden. Det gælder i det mindste de aktiviteter, som foregik indtil industrialiseringen begyndte.

Kendetegn for naturlige danske økosystemer

Hvad er "naturligt" i det stærkt kulturprægede danske landskab? Vi kan acceptere, at terrænele-

menterne i vid udstrækning er naturlige. Det samme er tilfældet med de plante- og dyrearter, der var til stede i den sidste mellemistid (Eem-tiden), og sandsynligvis også de arter, som indvandrede tidligt efter istiden. Adskillige naturlige processer kan identificeres, bl.a.

- 1) *plante/klima-samspil*, som fører til af- og indvandring og uddøen,
- 2) *plante/jord- og klima/jord-samspil*, der fører til udvikling af bestemte jordbundstyper, og
- 3) *plante/dyr- og plante/plante-samspil*, der medfører svingninger i individantal og artsudskiftninger.

Mange af disse samspil giver anledning til stærke påvirkninger af økosystemerne, ofte med destruktion af biomasse til følge. Storme, oversvømmelser, skovbrande, sygdom og dyrs fødeindtag er altsammen naturlige processer, som medfører afbræk i stabilitet. Der er betydelige forskningsinteresser knyttet til studier af naturlige påvirkningsmekanismer, eftersom kultursamfundets udnyttelse af økosystemerne også er baseret på påvirkninger, men påvirkninger som fremkalder ændringer ad kunstig vej, f.eks. ved skovhugst, pløjning, kornhøst, høslæt,

ukrudtsbekæmpelse og græssende husdyr, for blot at nævne nogle få. Vi kunne komme nærmere på naturen, hvis de ændringer, vi selv forårsager, i højere grad kopierede de naturbetingede påvirkninger.

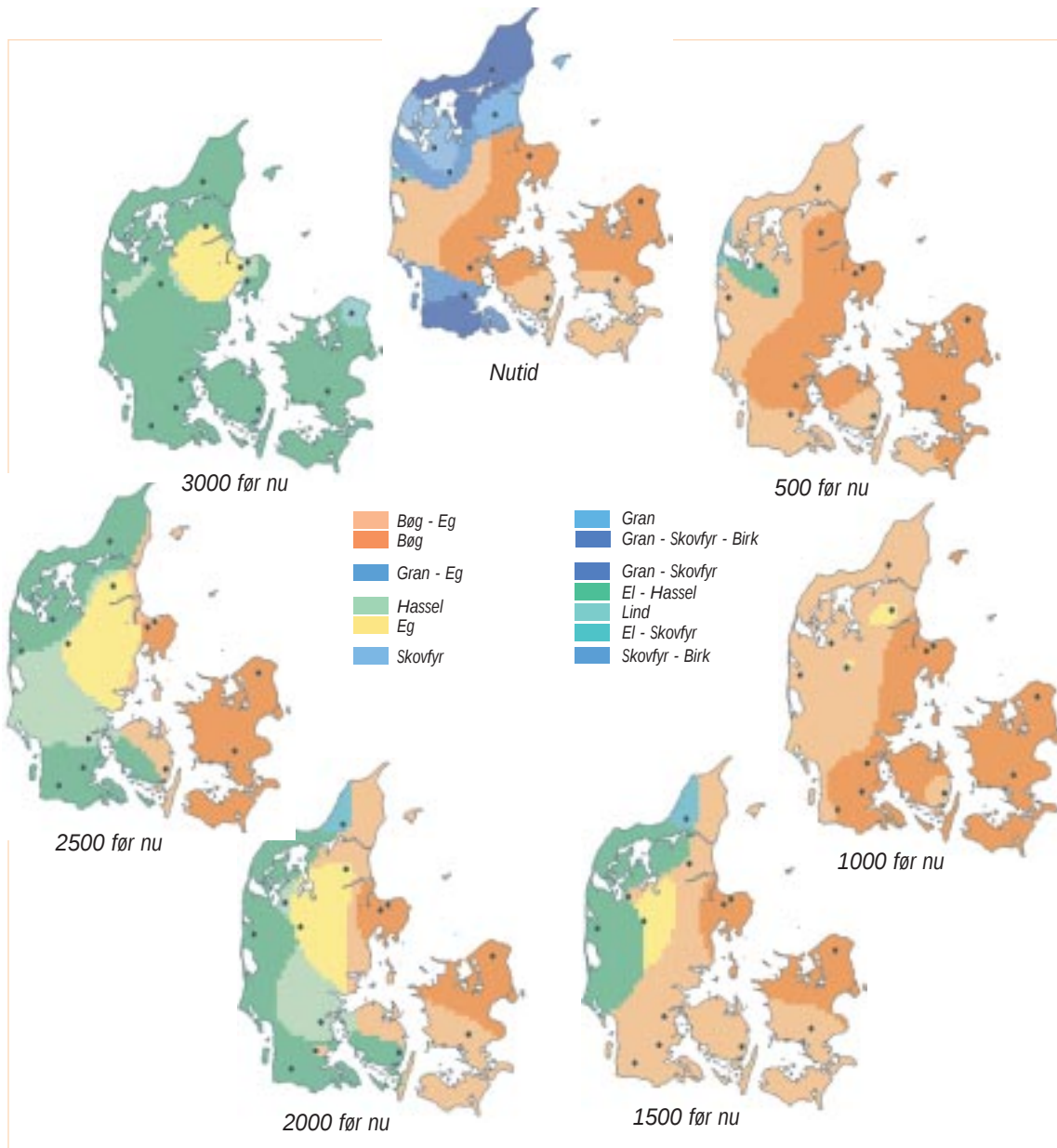
Sidste mellemistid er bedre kendt i Danmark end mange andre steder i verden, ikke mindst på grund af forskning, som er udført i GEUS' afdeling for Miljøhistorie og Klima. Det er påvist, at størstedelen af Danmark var dækket af tæt skov i det meste af mellemistiden. Der er ikke mange tegn på, at det åbne lands plantesamfund havde nogen større udbredelse, og det på trods af at skovelefant og et betydeligt antal dådyr indgik i faunaen.

Skovsammensætningen varierede i rum og tid. Artsrig løvskov domineret af lind fandtes i det sydlige Jylland, mens blandingskov af gran og avnbøg forekom i Midtjylland. Gran plantes i dag i dette område som fremmedelement. De pågældende konklusioner, der stort set er baseret på fossile pollenkor, understøtter ikke den vidt udbredte teori om, at de naturlige danske skove har omfattet store arealer, der blev holdt åbne af store løv-

og kvistædende pattedyr såsom elefanter. Enkelte træer blev sandsynligvis meget gamle og opnåede enorme størrelser. Når de døde, fremkom der derfor større lysninger, end det ses i mange af nutidens intensivt dyrkede bevoksninger.

Begyndelsen af efteristiden udviste ligheder med begyndelsen af sidste mellemistid, omend hver mellemistid har sine egne særlige kendetegn. Ligesom i sidste mellemistid er skov den naturlige tilstand i efteristiden, og det anslås, at 80-90% af Danmark i dag ville være dækket med skov, og at vådområder ville spille en betragtelig rolle, såfremt mennesket havde undladt at gribe ind. Som led i et EU-projekt, RENFORS, har vi ved hjælp af et netværk af regionale pollendata, som er sammenstillet ved GEUS, kortlagt den skiftende sammensætning af vegetationen i de danske skove gennem de seneste 3000 år.

Kortene over de skiftende, potentielle skovtyper er udarbejdet på baggrund af ekstrapolation fra de fragmenter af skov, som er konstateret i hvert af de benyttede tidsudsnit. Disse kort viser en udvikling fra artsrig løvblandskov til fattigere skovty-



■ Skovens udbredelse i Danmark (bortset fra Bornholm, ingen oplysninger) til forskellige tider. Rekonstruktioner bygget på pollenanalyser. Udarbejdet af Björn H. Holmqvist

per, der går i retning af at blive domineret af en enkelt art som f.eks. bøg eller de vidt udbredte nåletræsplantager. De prægtige bøgeskove, som for mange repræsenterer typisk dansk natur, er muligvis akkurat lige så meget et kulturprodukt som en granplantage, men fra en tidligere periode. Lindetræet ville være et bedre symbol på dansk naturskov, eftersom dette engang så vidt udbredte træ alle steder er fortrængt af mennesker og husdyr.

Der pågår for tiden en debat om skovfyrrøns rolle i det danske landskab. Palæoøkologiske data viser, at skovfyr ligesom lind, el, hassel, elm og ask var et træ, som havde en større udbredelse i fortiden. De yngste fossile fund er skovfyrrenåle fra et lille kær i Suserup Skov i Vestsjælland. Nålene er dateret til at stamme fra omkring år 900. Kun på Læsø overlevede skovfyren til nutiden. Skovfyrrøns forsvinden og den stærke reduktion i udbredelse og tæthed for mange andre skovtræers vedkommende er primært et resultat af menneskeaktiviteter, idet klimatiske ændringer dog også spiller ind. Nyere forskning tyder på, at det barske klima i "Den lille Istid"

forstærkede det pres, som skyldes skovens udnyttelse, og derved satte yderligere skub i de seneste 1000 års hurtige ændringer i skovbestanden, således som det er beskrevet fra Draved skov i Sønderjylland. Hvis vi ønsker mere naturlige skove i Danmark, er budskabet klart: Man skal plante en artsrig løvblandskov med indslag af skovfyr.

Hvad kan vi lære af naturen og hvor meget natur har vi brug for?

Hvis danske økosystemer skal bringes i bedre pagt med naturen, er der mange holdepunkter at hente gennem undersøgelse af fortidens økosystemer. Vi kan forsøge at efterligne de naturlige påvirkninger, som har formet mange af de naturlige økosystemer, især i vore skove. Hugst af små trægrupper for at efterligne stormfald og regulering af dyrebestanden for at dæmpe vildttrykket på opvæksten byder på en anden vigtig kontrolmulighed. Brug af flere træarter er endnu et middel, som vil gavne den biologiske mangfoldighed og jordbunden. En større artsrigdom i skovene vil også gøre dem mindre sårbare i forhold til eventuelt kommende, bratte klimatiske ændringer.

Lige så vigtig er accept af vor kulturelle arv. I det åbne land har vi skabt mange levesteder, som har deres egen økonomiske og biologiske værdi. Selv om disse levesteder strengt taget er unaturlige, ville det være uigennemførligt og uøkonomisk ikke at tage hensyn til dem i naturplanlægningen. De ledende principper ved de åbne arealers forvaltning bør være de samme som ved forvaltning af skovområderne. Det betyder en forvaltning, som sigter dels mod mangfoldighed i arter og strukturer, dels mod tilstrækkelig fleksibilitet til at give plads for de både lang- og kortfristede svingninger og dynamiske processer, som kendetegner naturlige systemer. Drivkræfterne bag naturbetingede klimaændringer og andre stærke påvirkninger vil på konstruktiv vis kunne suppleres med indgreb, med skyldig respekt for kulturarven. Et sådant syn på naturen vil kunne bringe nyt perspektiv i fremtidig landskabsforvaltning.

■ Kystområderne og uforstyrret, hævet havbund er eksempler på nutidig "menneskefri" natur. Rønnerne på Læsø



GEUS' FORMIDLINGSVIRKSOMHED

Tabellen viser oversigtligt GEUS' produktion udtrykt som antal "formidlingsenheder" inden for de nævnte "resultatindikatorer" fordelt på programområder. Bortset fra GEUS-notater findes en fuldstændig publikationsliste i "Publikationskatalog`97 og Projektkatalog`98".

Resultatindikatorer

Programområder

	Databanker og for- midling	Vand- ressourcer	Energi- råstoffer	Mineralske råstoffer	Natur og miljø	1997
Langsigtet videnopbyg- ning						
Antal artikler i internationale videnskabelige tidsskrifter/ publikationer (m. referee)	-	3	18	14	22	57
Antal videnskabelige artikler i egne serier (m. referee)	-	-	1	8	4	13
Antal videnskabelige publi- kationer i øvrigt (u. referee)	4	17	10	-	11	42
Antal publicerede geologi- ske kort	-	-	-	1	-	1
Antal tematiske kort	-	1	-	3	5	9
Antal conferencebidrag	14	36	62	42	60	214
Løbende faglig opgave- løsning, rådgivning og formidling						
Antal offentligt tilgængelige rapporter	27	16	57	16	14	130
Antal fortrolige rapporter	-	-	36	4	1	41
Antal erhvervsrelaterede artikler	-	14	15	8	3	40
Antal notater, udtalelser, redegørelser m.v. (GEUS notater)	2	21	18	18	3	62
Generel formidling						
Antal institutionsrapporter (årsberetning, arbejdsprogram, projektkatalog, strategiplan)	12	-	-	-	-	12
Antal populærviden- skabelige artikler	24	-	-	-	-	24
Antal avisartikler, foredrag, udstillinger m.v.	49	-	-	-	-	49
Samlet formidling	132	108	217	114	123	694

■ Saltholm.
Strandenge og fladvan-
dede områder ud mod
Øresund.



GEUS' AFDELINGER

I dette afsnit bringes en kort karakteristik af GEUS' organisatoriske enheder. Gennemgangen er delt i to afsnit. Først omtales administration og serviceenheder. Dernæst gennemgås forskningsafdelingerne. Organisationsdiagrammet findes side 26.

ADMINISTRATION OG SERVICE:

DIREKTION

*Ole Winther Christensen,
Administrerende Direktør.
Jens Morten Hansen,
Viceadministrerende Direktør.
Martin Ghisler,
Direktør.
Kirsten Svarrer Nielsen,
Kontorfuldmægtig.
Maj-Britt Liljensøe,
Overassistent.
Helle Dybdal,
Overassistent.*

ADMINISTRATIVT SEKRETARIAT

*Kontorchef Ole Bjørn Hansen
Arbejdsområder:
Sekretariat varetager fælles administrative opgaver for institutionen, herunder sekretariat for institutionens direktion, udarbejdelse af finanslovsbidrag, styring af interne budgetter, personalesager, regnskabs- og kassetjeneste og kontrakter m.v. Under sekretariatet sorterer sikkerhedsorganisationen, betjent- og receptionsfunktionen, journal og kantine, samt administration i forbindelse med elever og jobtilbudsordninger, kurser m.m.*

FAGLIGT DIREKTIONSSEKRETARIAT

*Chefgeolog Arne Dinesen
Arbejdsområder:
Sekretariat for institutionens direktion i faglige anliggender, herunder bistand og redaktionelt arbejde ved udarbejdelse af arbejdsprogram, årsberetning, projektkatalog og informationsblad. Koordinering af den generelle informationsvirksomhed og markedsføring. Varetagelse af internationale aktiviteter. Koordineringen af kvalitetsstyringen af GEUS' produkter.*

EDB

*EDB-chef Sten Troelstrup
Arbejdsområder:
Afdelingens opgave er opbygning, vedligeholdelse, videreudvikling og drift af det samlede EDB-system på GEUS. Afdelingen er både planlæggende og udførende m.h.t. det centrale anlæg, lokalnettet og andre fælles servicefunktioner og fastlægger standarder for og forestår de faglige afdelingers anskaffelse af decentralt udstyr.
Derved sikres den højest mulige grad af sammenhæng i EDB-systemet, der danner underlag for GEUS' databaser, analyse- og tolkningsarbejde og administrative EDB-anvendelser. Afdelingen varetager GEUS' interesser i udformningen og realiseringen af Miljø- og Energiministeriets fælles EDB-strategi og forestår interne kurser i forskellige aspekter ved anvendelsen af institutionens EDB-ressourcer.*

FOTO OG GRAFISK ENHED

Tegnestueleder Henrik Klinge Pedersen

Arbejdsområder:

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

GEOLOGISK INFORMATIONS og DATA-CENTER

Databankchef Finn Nyhuus Kristoffersen

Arbejdsområder:

Afdelingen er ansvarlig for institutionens databankvirksomhed for så vidt angår basisdata. De centrale arkiver og prøvemagasiner rummer alle gængse datatyper fra olie/gas aktiviteter i den danske og grønlandske undergrund, marin-geologiske data, og som resultat af fusionen og den nye struktur, data indsamlet i Grønland 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. . Derfor har afdelingen specialiseret sig i reproduktion af data, senest i effektiv overførsel af digitale data imellem forskellige medier.

FORSKNINGSAFDELINGER

GEOFYSIK

Statsgeolog Kai Sørensen

Arbejdsområder:

Afdelingen er primært engageret i løsning af geologiske opgaver indenfor programområdet energiråstoffer.

Arbejdet omfatter deltagelse i forskningsprojekter (nationale som internationale), kortlægning og udredning til brug for statslige styrelser samt kontraktopgaver især for olieselska-

ber. De fleste projekter, hvor afdelingens professionelle stab indgår, er multidisciplinære i angrebsvinkel. Til brug for tolkning af 2D & 3-D reflektionsseismik råder afdelingen over seks Landmark arbejdsstationer. En række avancerede modellering- og kortlægningsprogrammer anvendes i forbindelse med efterforskningsopgaver (f.eks. bassinmodellering), kortlægning af olie- og gasfelter m.v.

GEOKEMI

Statsgeolog Erik Thomsen

Arbejdsområder:

Afdelingens arbejdsområde 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.). Organokemiske undersøgelser af olie, gas og moderbjergarter herunder lette gasser. Endvidere undersøgelser af kul og koks (kulpetrografi). De forskellige undersøgelser udføres dels med forskningsformål dels som anvendte undersøgelser af miljø-, energi- og råstofforhold for offentlige myndigheder og private. Afdelingen forestår driften af avancerede laboratorier i forbindelse med pesticidundersøgelser (grundvandsdatering, mikrobiologi, miljøkemi). Endvidere administrerer afdelingen hydrokemiske og geokemiske databaser, og der rådgives om geokemiske forhold.

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 råstofefterforskning eller har specifik forskningsmæssig relevans, og 3) geologiske specialundersøgelser, hvis kortlægningsmæssige resultater publiceres

som afhandlingskort i målestoksforhold fra 1:250 000 til detailkort i 1:20 000. Ennemæssigt spænder afdelingens arbejde vidt, idet der foretages undersøgelser i prækambriske grundfjeldsområder, i proterozoiske til palæozoiske bassin-områder, i palæozoiske foldebælter og i mesozoiske til tertiære sediment- og basaltområder. En væsentlig del af afdelingens arbejde er baseret på et videnskabeligt samarbejde med en række eksterne samarbejdspartnere fra danske og udenlandske geologiske institutioner, der deltager i feltarbejdet og oparbejder materiale indsamlet i forbindelse hermed. GEUS' tyndslibslaboratorium samt laboratoriet for bjergartskemiske analyser er placeret i afdelingen. Afdelingens flyfotolaboratorium foretager udtegnning af geologiske og topografiske kort efter flyfotos på fotogrammetrisk grundlag. Afdelingen varetager den overordnede administrative koordinering af feltarbejdet på Grønland og forsyner ekspeditionerne til Grønland med feltudrustning.

HYDROLOGI OG GLACIOLOGI

Statsgeolog Bjarne Madsen
Arbejdsområder:

Afdelingen beskæftiger sig med videnskabelig forskning vedrørende væsentlige dele af det hydrologiske kredsløb, herunder grundvandet og dets samspil med overfladevandssystemerne samt isdækkede områder og deres betydning for klimaets udvikling. Et væsentligt arbejdsområde er beskyttelse og udnyttelse af ferskvandsressourcerne, herunder undersøgelse og beskrivelse af de mekanismer og processer, der er af betydning for grundvandets strømningsforhold. Dette vedrører såvel forekomst og mængde som transport og spredning af opløste stoffer. Mere specifikt beskæftiger afdelingen sig med opgaver inden for områderne grundvandsindvinding og ressourceturvering, grundvandsbeskyttelse og grundvandsrestaurering samt overvågning, bl.a. i forbindelse med vandmiljøplanens overvågningsprogram. Dette omfatter bl.a. analyser af grundvandsressourcens størrelse og kvalitet på regionalt niveau gennem systematiske målinger og modellering.

På det glaciologiske område udfører afdelingen forskning inden for masse- og energibalancer for gletschere, herunder studier af kalvingsproduktion, samt gletscherdynamik og hydrologi. Arbejdet omfatter tillige palæoklimatiske undersøgelser og kortlægning af gletscherændringer med henblik på en bedømmelse af ændringer af havspejlet under ændrede klimatiske forhold.

Afdelingen driver og udvikler en national database for indlandsisen i Grønland. Databasen anvendes til udviklingen af regionale modelberegninger, blandt andet til brug i globale atmosfæremodeller. En væsentlig side af de glaciologiske aktiviteter er knyttet til vandkraftplanlægning og -udnyttelse. Herudover yder afdelingen på grundlag af den opbyggede viden rådgivning til offentlige og private rekvisitter i både ind- og udland. Det gælder bl.a. danske og internationale bi-standsopgaver samt Grønlands Hjemmestyre i vandkraftspørgsmål og den internationale olie- og mineindustri vedrørende havis og glaciologisk problematik.

Opgaverne løses under anvendelse af en række værktøjer, der til stadighed udvikles og omfatter følgende: Geofysiske målemetoder (borehulsløbs), hydrauliske testmetoder, sporstofmålinger og aldersbestemmelse samt modelleringsteknikker, remote sensing teknikker og anvendelse af radar til istykkelsesmåling.

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 klimaforsknings- og miljøprogrammer.

KVARTÆR- OG MARINGEOLOGI

Statsgeolog Johnny Fredericia
Arbejdsområder:

Afdelingen varetager videnskabelige undersøgelser indenfor kvartærgeologi, herunder sedimentologi, kvartær stratigrafi og jordbundsforhold. Afdelingen udfører geologisk og hydrogeologisk og råstofgeologisk kortlægning, herunder undersøgelser

af specielle råstoffer f.eks. moler, tungsand, kvartssand og ler, samt praktisk geologiske undersøgelser bl.a. for private. Arbejdet omfatter desuden ingeniørgeologiske undersøgelser i forbindelse med større anlægsarbejder, og geologisk rådgivning overfor råstof erhvervet og offentlige myndigheder i råstof- og fredningsspørgsmål. Afdelingen driver Vandresourcarkivet og Drikkevandsregisteret med bl.a. drikkevandsanalyser.

Afdelingens arkiver og registre indgår i Fagdatacenteret for Borings- og Grundvandsdata - et af de 8 fagdatacentre, som bl.a. står til rådighed for Miljøstyrelsens overordnede administration af vandhusholdningen. Arkiver og registre udgør samtidig Referencecentret 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 under afdelingen.

Afdelingen varetager den overordnede koordinering af GEUS' anvendelse af Geografisk Informations Systemer (GIS) og rummer et "GIS laboratorium", der virker i samarbejde med ministeriets øvrige styrelser.

Afdelingen varetager det Nationale Reference Center for Jord og deltager i det Europæiske Temacentre for Jord under Det Europæiske Miljøagentur samt i Dansk F&U Center for Jordrensning, der er et samarbejde mellem 5 forskningsinstitutioner og 4 industrielle partnere.

Indenfor maringeologi udføres, bl.a. som støtte for Skov- og Naturstyrelsen (SNS), kortlægningsopgaver med henblik på lokalisering af sømaterialer til byggeindustrien og der samarbejdes løbende om udbygning af en marin instrumentpulje. Endvidere deltager afdelingen i videnskabelige maringeologiske projekter i det danske område og i farvande omkring Færøerne.

MALMGEOLOGI

Statsgeolog Leif Thorning

Arbejdsområder:

Afdelingens hovedopgave er at varetage GEUS' indsats vedrørende mineralske råstoffer i Grønland. Denne indsats har i 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 og målrettes udvikling af relevante metoder vedrørende bearbejdning, forståelse og udnyttelse af de forskellige typer data. Tidens generelle udviklingstendens mod stadigt 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 (indtil 1.7.98 Råstofforvaltningen for Grønland) i forbindelse med efterforskning og udnyttelse af mineralforekomster, herunder bl.a. behandling af ansøgninger samt myndighedsbehandling af selskabernes aktiviteter. Afdelingen driver en række databaser og arkiver af interesse for mineindustrien, herunder et borekernearkiv, en malmdatabase samt en database for LANDSAT billeder.

MILJØHISTORIE OG KLIMA

Statsgeolog Richard Bradshaw

Arbejdsområder:

Afdelingens arbejdsområde er naturlige og menneskeskabte miljøændringer i kvartærtiden med særlig 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. Arbejdsområdet omfatter udvikling af natur- og kulturlandskaber, arealanvendelse, ændringer i vandmiljøet, naturskoves langtidsdynamik og forureningspåvirkning i søer. Derudover udføres rådgivning ved naturovervågning, skovdrift, anlægsarbejder og kriminaltekniske undersøgelser.

RESERVOIRGEOLOGI

Statsgeolog Niels Peter Christensen

Arbejdsområder:

Afdelingen varetager udredningsarbejder for det danske tilsyn med olie- og naturgasbevillinger. I den forbindelse udføres vurderinger af reservoirstørrelse, reservoiregenskaber og indvindelige olie/gasmængder. 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. 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 på Færøerne. Dette udføres ved hjælp af sedimentologiske, biostratigrafiske og strukturelle analyser af sedimenter, med den hensigt at beskrive deres fordeling i rum og tid, samt deres aflejningsmiljø. Frem for alt udføres arbejdet for at klarlægge de geologiske forudsætninger for olie- og 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, organisk geokemi, seismik og anden geofysik, som kombineres i større bassin-synteser.

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

Afdelingen udfører rådgivning i forbindelse med efterforskning til især Energistyrelsen, men også til de færøske og grønlandske myndigheder.

Rådgivningen 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 deltagelse i udstillinger og internationale møder, udsendelse af nyhedsbreve samt besøg af og hos olieselskaber.

GEUS, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, er en forsknings- og rådgivningsinstitution i Miljø- og Energiministeriet og med væsentlige opgaver på olie/gas området for Energistyrelsen.

Institutionen har som hovedopgave at varetage kortlægning og dataindsamling samt forskning, rådgivning og formidling med sigte på 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 udnyttelsen af forekomster i Danmarks, Grønlands og Færøernes undergrund, herunder dets varetagelse af statens tilsyn med efterforskningen og indvindingen af olie og naturgas m.m.

Desuden udfører institutionen i vidt omfang opgaver for private firmaer på kontraktvilkår, og der er i de forløbne år publiceret en lang række afhandlinger om institutionens videnskabelige og praktiske virksomhed. GEUS blev oprettet i 1995 ved fusion af Danmarks Geologiske Undersøgelse (oprettet i 1888) og Grønlands Geologiske Undersøgelse (oprettet 1946).



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

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

Thoravej 8
2400 København NV
Danmark

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

ISBN: 87-7871-046-4
ISSN: 1396-3317