



## ÅRSBERETNING FOR 2000

Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse  
Miljø- og Energiministeriet

Udgivet af  
Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS)  
Miljø- og Energiministeriet, 2001

ISBN: 87-7871-087-1

ISSN: 1396-3317

Omslag: Peter Warnam-Moors

Tegning: Annabeth Andersen, Henrik Klinge Pedersen, m.fl.

Illustrationen på s.75 stammer fra publikationen "Dinosaur et levende Mysterium"  
udgivet af forlaget Carlsen i 2000

Billedtekster: Knud Binzer

Foto: Peter Warnam-Moors, Jakob Lautrup, Kristian Kloth, Agnete Steenfelt,  
Leif Thorning, David Ryves, Peter W. U.Appel, Jens Stockmarr, Ioannis Abatzis,  
Ole Bennike, Dansk Polarcenter, Statoil, Mærsk og Biofoto

Tilrettelæggelse og teknisk redaktion: Peter Warnam-Moors

Redaktion: Knud Binzer

Tryk: From & Co

Beretningsafsnit, regnskabs- og økonomioversigt samt oversigt over  
GEUS' produktion er udarbejdet og redigeret ud fra tekster og  
oplysninger i Virksomhedsregnskab for 2000.

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

Baggrundsbilledet på omslaget er skrivekridt fra Sigerslev kridtbrud. De små bille-  
der er fra nogle af de lande, hvor GEUS' internationale arbejde foregår.

©

Danmarks og Grønlands  
Geologiske Undersøgelse (GEUS)

Thoravej 8  
DK 2400 København NV  
Danmark  
Telefon: 38 14 20 00  
Telefax: 38 14 20 50  
CVR-nr: 55-14-50-16  
E-post: geus@geus.dk  
Internetsted: www.geus.dk



## INDHOLD

5	FORORD
	BERETNING:
6	GENERELT OM INSTITUTIONEN OG ARBEJDET
9	ARBEJDET PÅ PROGRAMOMRÅDERNE
9	Databanker, informationsteknologi og generel formidling
13	Vandressourcer
19	Energiråstoffer
25	Mineralske råstoffer og Grønlandskortlægning
31	Natur og miljø
36	ØKONOMI 2000
38	REGNSKAB FOR 2000
39	FORMIDLINGSVIRKSOMHED
	SPECIALARTIKLER:
41	GIS PÅ GEUS
51	OVERVÅGNING AF PESTICIDER I GRUNDVAND
61	NORDBOERNES LIVSGRUNDLAG I SYDVEST GRØNLAND
73	LAGRING AF CO <sub>2</sub> I UNDERGRUNDEN
93	GEUS' INTERNATIONALE ARBEJDE
100	ORGANISATION
102	BESTYRELSE
105	LEDELSE
107	AFDELINGER





*Billedet er fra Sortemose i østenden af Ganløse Ore ved Farum Sø. Vand, energi og jord har altid været væsentlige områder for GEUS' virksomhed. I de senere år er miljø og klimahistorie blevet stedse vigtigere emner at arbejde med, bl.a. fordi kendskab til fortidens klimaudvikling kan hjælpe med til at forstå de processer, der er medvirkende til fx den globale opvarmning.*



# FORORD

GEUS udsender i 2001 tre institutionsredegørelser for arbejdet i 2000.

Denne "Årsberetning 2000" rummer en kortfattet gennemgang af aktiviteter og resultater, regnskabs-, økonomi- og produktionsoversigter samt en oversigt over afdelingernes arbejdsområder.

Hovedvægten er lagt på det faglige arbejde bl.a. med artikler, der belyser udvalgte emner og aspekter af GEUS' mangesidige geologiske arbejdsopgaver.

"Virksomhedsregnskab 2000", der er udsendt primo maj indeholder detaljerede oplysninger om sammenhængen mellem

økonomiforhold og den geologiske faglige indsats. Virksomhedsregnskabet tjener tillige som det første års afrapportering af GEUS' resultatkontrakt for perioden 2000-2003.

"Publikationskatalog 2000" er en registrering af årets formidlingsaktiviteter på de enkelte program- og delprogramområder og på de særlige strategiske indsatsområder.

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

2000 var ikke mindst kendetegnet ved fortsat højt fagligt aktivitetsniveau både nationalt og internationalt; på trods af stadig stigende krav om ekstern finansiering lykkedes det igen at få et tilfredsstillende økonomiske resultat af årets virksomhed.

Ved årsskiftet 2000/2001 fratrådte otte medlemmer i GEUS' bestyrelse ud af tolv. Ministeren har samtidig udnævnt otte nye personer for en 4-års periode.



*Per Buch Andreassen*  
Bestyrelsesformand



*Martin Ghisler*  
Administrerende Direktør



# BERETNING

## GENERELT OM INSTITUTIONEN OG ARBEJDET

2000 var præget af et højt aktivitetsniveau. Det økonomiske resultat blev tilfredsstillende, og regnskabet var i det væsentlige i overensstemmelse med budgetlægningen.

Året er det første for GEUS' anden resultatkontraktperiode på fire år fra 2000 til 2003, indgået mellem miljø- og energiministeren og GEUS' bestyrelse.

De lovgivningsmæssige rammer for GEUS' virksomhed fremgår af Bekendtgørelse nr. 570 af 28. juni 1999. I Bekendtgørelsen, der er udstedt i medfør af lov nr. 1076 af 20. december 1995 om sektorforskningsinstitutioner, bliver det anført, at GEUS' hovedvirkefelt er Danmark og Grønland.

GEUS' arbejde på Færøerne vil for fremtiden finde sted på baggrund af konkrete aftaler om geovidenskabelige aktiviteter med relevante færøske myndigheder og kollegainstitutioner.

Den faglige indsats på de fem programområder foregår i større eller mindre projektgrupper, der ofte er bemandet på tværs af GEUS' afdelingsstruktur.

Programområderne vedrører:

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

GEUS deltager sammen med en række andre forskningsinstitutioner i centerdannelser, som finansieres af Det Strategiske Miljøforskningsprogram (SMP). Et af centrene (Grundvandsgruppen) arbejder under SMP 96 med "Pesticider og Grundvand" blev afsluttet i 2000. Et andet center (BIOPRO), som er startet under SMP 98, beskæftiger sig med "Biologiske processer i forurennet jord og sediment". I begge tilfælde varetages centeradministrationen af GEUS.

Både GEUS og Geologisk Institut ved Københavns Universitet er værtsinstitution for Dansk Lithosfærecenter (DLC). DLC hører administrativt ind under GEUS, men er ikke omfat-

tet af GEUS' resultatkontrakt. DLCs forskningsfelt angår fundamentale forhold og processer i jordskorpen; den overordnede faglige ledelse varetages af Danmarks Grundforskningsfond. En positiv international bedømmelse af DLCs arbejde medførte, at fonden stillede yderligere midler til rådighed, således at centerets aktiviteter er sikret frem til 31. januar 2004.

Geologisk Institut, Geologisk Museum og Geografisk Institut ved Københavns Universitet, Dansk Lithosfærecenter samt GEUS er sammen langt fremme med ombygningen af Geocentret på Østervoldgade 10 i København. Indflytning i centerbygningerne påregnes for GEUS' vedkommende at kunne finde sted i foråret 2002.

GEUS' internationale engagement har i de senere år haft et stigende omfang og falder godt i tråd med, at ministeriet har gjort det til et koncernmål i 2001 at øge indsatsen, ikke mindst med bistand til kompetenceopbygning hos samarbejdspartnere i den 3. verden samt Mellem- og Østeuropa. Det er hensigten at søge samarbejdet

med lande i Sydøstasien, Afrika og Sydamerika udbygget i de kommende år.

Af "Publikationskatalog 2000" (se [www.geus.dk](http://www.geus.dk)) fremgår, at de samlede aktiviteter på formidlingsområdet har været særdeles omfattende. På de fleste formidlingskategorier, som GEUS har opregnet, lever mængden i 2000 op til de opstillede måltal, og i flere tilfælde ligger produktionen et godt stykke over måltallene; det gælder fx "Artikler i internationale videnskabelige tidsskrifter". Derimod ligger tallet lavere for "Artikler i egne serier (m. referee)", "Antal videnskabelige artikler i øvrigt (u. referee)", og "Antal populærvidenskabelige artikler". På side 39 er GEUS' formidlingsvirksomhed vist i et skema.

Det økonomiske resultat i 2000 er tilfredsstillende. Der blev opnået et regnskabsmæssigt overskud på 1.1 mio. kr. ved en omsætning på ca. 228 mio. kr. Det positive resultat er en følge af stram økonomistyring samt tilbageholdenhed på udgiftssiden. Ved løsningen af en række opgaver, som ikke var forudsat ved årets begyndelse, har personalet udvist betydelig fleksibilitet, således at kompetencer fra de en-

kelte programområder har kunnet udnyttes bedst muligt i arbejdet på tværs af afdelingerne.

Af GEUS' samlede årsværksforbrug i 2000 på 354 blev 115 årsværk anvendt på opgaver med relation til Grønland. Omsætningen i forbindelse med Grønlandsopgaverne var 72.2 mio. kr., hvoraf 32.5 mio. kr. stammer fra GEUS' Finanslovsbevilling og 6.4 mio. kr. fra Grønlands Hjemmestyres Råstofdirektorat og 17.8 mio. kr. fra Danmarks Grundforskningsfond. De resterende 15.5 mio. kr. består af midler fra forskningsfonde og Miljø- og Energi ministeriets Energiforskningsprogram (EFP) samt af indtægter ved løsning af opgaver for internationale olieselskaber.

I GEUS' "Virksomhedsregnskab 2000" (se [www.geus.dk](http://www.geus.dk)) findes yderligere oplysninger om sammenhængen mellem de økonomiske rammer og den faglige indsats. Der gøres desuden rede for indsatsen set i forhold til målsætningerne i resultatkontrakten 2000-2003. Virksomhedsregnskabet rummer desuden statusopgørelse for hvert af de 27 udpegede strategiske indsatsområder, og det beskrives i hvilken udstrækning de kvantita-

tive resultatmål er opfyldt i løbet af resultatkontraktens første år.

De efterfølgende beretningsafsnit om GEUS' 5 programområder omtaler et udvalg af de faglige aktiviteter og de opnåede resultater i 2000.





Billedet er fra Ymer Ø ved Antarctic Sund i Østgrønland. Stejlt stillede og foldede sedimenter fra "Eleonore Bay Supergruppen" (EBS). Lagene rummer et væld af geologiske oplysninger, der er indsamlet og gjort tilgængelige på flere medier i GEUS' arkiver og magasiner.



# ARBEJDET PÅ PROGRAMOMRÅDERNE

## Databanker, informationsteknologi og generel formidling

<i>Ressourceindsats</i>	<i>Realiseret 99</i>	<i>Budget 00</i>	<i>Realiseret 00</i>	<i>Budget 01</i>
Årsværksforbrug	72	75	67	74
Samlet omsætning (mio. kr.)	42,0	41,7	38,2	44,8
Heraf basismidler (mio. kr.)	36,4	37,0	33,1	39,6
Ekstern finansiering (mio. kr.)	5,6	4,7	5,1	5,2
Ekstern finansieringsgrad	13%	11%	13%	12%

Hovedopgaven på programområdet er håndtering af de enorme datamængder, som igennem mere end 100 år er bragt til veje i forbindelse med efterforskning, udnyttelse og beskyttelse af et vidt spænd af geologiske naturressourcer. Størstedelen af oplysningerne er indberettet til GEUS i medfør af lovgivning på vandforsynings-, undergrunds- og råstofområdet; det er resultater fra feltundersøgelser, borer, geofysiske registreringer, laboratorieanalyser m.v. Som fagdatacenter har GEUS ansvar

for, at den indsamlede erfaringsmasse kan bruges og gøre nytte, når nye aktiviteter og forholdsregler planlægges.

Databankindsatsen går bl.a. ud på at registrere, opbevare og vedligeholde det omfangsrige materiale. Samtidig bliver der arbejdet på at gøre flest mulige informationer tilgængelige på digital form ved hjælp af elektroniske medier.

Opbevaringen af de ofte dyrt tilvebragte fysiske prøver af de geologiske formationer er både en mandskabs- og pladskrævende opgave, som gør det nødvendigt at foretage løbende kassation. Prøvemateriale fra Danmark og Grønland, herunder et meget stort antal formationsprøver fra dybdeboringer efter olie og naturgas og fra vandforsyningsboringer, er blevet samlet og er nu placeret i en nyindrettet magasinbygning på Valhøjs Allé i Rødovre. Rødovre-magasinet rummer desuden al udrust-

ning til brug ved feltarbejde i Grønland samt måleudstyr, der anvendes ved geologiske undersøgelser til havs. Der er foretaget sortering og kassation af 100.000 bjergartsprøver fra Grønland.

Arbejdet med at opbygge integrerede informationssystemer på miljø- og undergrundsområderne blev videreført i 2000. I begge tilfælde har det vist sig, at opgaven er vanskeligere og har taget længere tid end forudset.

Den tidligere ZEUS-database med oplysninger om de geologiske lagserier, der er truffet i vandboringer, blev i 1998 overført til miljøinformationssystemet JUPITER. I 2000 blev Jupiter-systemet færdigudviklet og indeholder nu de databaser, der tidligere var opdelt efter emnerne: grundvandskemi; pejlinger af variationer i grundvandsspejlets beliggenhed; drikkevandskemi og størrelsen af grundvandsressourcerne. Det var nødvendigt, før overførsel til JUPITER blev gennemført, at sætte flere kræfter end påregnet ind på at tilrette og kvalitetskontrollere mange af de oplysninger, som

indgik i de emneopdelte baser. Databasen GERDA, der indgår som element i Jupiter-systemet, er taget i brug via Internettet. GERDA-basen rummer resultater fra geofysiske undersøgelser, som amterne lader udføre som led i bestræbelserne på at etablere beskyttelseszoner i vandindvindingsområder.

Informationssystemet på undergrundsområdet rummer data fra efterforskning og produktion af olie og naturgas i Danmark. Systemet, SAMBA, drives i fællesskab af GEUS og Energistyrelsen. Det RDB-baserede system, der hidtil har fungeret som indeks til samtlige data i arkiver og prøvemagasiner, er under omformning til et nyt Oracle-baseret system, der kan anvendes af relevante pc-brugere i begge institutioner. Fremstillingen af programmet til overførsel af data fra den nuværende udgave af SAMBA til det Oracle-baserede system blev afsluttet i 2000. I det nye system er desuden fremstillet en prototype for skærmbillede med de generelle funktioner, der skal bruges ved opdatering af basen og ved udtræk.

Fra og med 1992 er SAMBA-systemet udvidet fra alene at omfatte data fra boringer til også at omfatte olie/gas-relaterede seismiske undersøgelser. I løbet af 2000 er seismik-registreringen i SAMBA ajourført, således at ca. 36.000 seismogrammer (inkl. samtlige processeringsudgaver) nu figurerer i basen.

Opgaverne på formidlingsområdet har bl.a. været udarbejdelse af institutionsrapporter; det drejer sig om Virksomhedsregnskab 1999, Årsberetning 1999, "Review of Greenland Activities 1999", Publikationskatalog 1999 og Arbejdsprogram 2000 samt i opdatering og udbygning af GEUS websted ([www.geus.dk](http://www.geus.dk)). Der blev udgivet 4 numre af det populærvidenskabelige tidskrift "GEOLOGI - Nyt fra GEUS" med emner, der spænder fra "De østgrønlandske sedimentbassiner – et oliegeologisk feltlaboratorium"; "Vandreblokke fra Øresund"; "Om kridt, det hvide guld"; "Kalk, sprækker og termografi" til "Vulkaner, is og klima".

Formidlingsaktiviteterne omfatter desuden GEUS' biblioteksvirksomhed samt forskellige former for redaktionelt og grafisk arbejde.

For at styrke formidlingsområdet er der i 2000 oprettet en Informationsafdeling. Et udkast til en ny informationspolitik er udarbejdet. Den indeholder en kortlægning af GEUS' nuværende formidling og målgrupper samt retningslinier for den fremtidige udadvendte virksomhed. Endvidere er der udarbejdet en Benchmarking rapport, der sammenligner GEUS' formidlingsaktiviteter med den tilsvarende virksomhed hos søsterinstitutionerne i England, Irland, Norge og Holland.

Økonomiresultatet på programområdet blev i 2000 lidt gunstigere end forventet i budgettet. Der blev et mindre træk på basismidlerne end året før, efter at ombygningen af de nye magasinbygninger blev afsluttet.





*På Læsø mødes land, hav og luft, de tre opholdssteder for vand i dets evige kredsløb. Grundvand er nedbør, der til sidst ved strømning i vandløb og i grundvandet ender i havet for atter at fordampe og blive til skyer. Opholdstiden i de enkelte dele af kredsløbet er meget forskellig; fra få øjeblikke til millioner af år. Det er en fascinerende tanke at et enkelt vandmolekyle gennem tiden kan have opholdt sig i en plante, en fisk, en fortidsøgle eller i et menneske. Her på Læsø har naturen fået lov til at råde uhindret. Dog er den oprindelige fyrreskov udryddet; træet blev brugt som brændsel til saltsydning fra middelalderen frem til 1600tallet.*

# Vandressourcer

Ressourceindsats	Realiseret 99	Budget 00	Realiseret 00	Budget 01
Årsværksforbrug	74	64	70	69
Samlet omsætning (mio. kr.)	44,7	43,3	49,7	56,6
Heraf basismidler (mio. kr.)	29,0	28,8	35,7	44,0
Ekstern finansiering (mio. kr.)	15,7	14,5	14,0	12,6
Ekstern finansieringsgrad	35%	34%	28%	22%

Hovedopgaverne på programområdet er at skaffe overblik over størrelse, fordeling og kvalitet af de tilgængelige ferskvandsressourcer i Danmark samt at klarlægge forhold og processer af betydning for grundvandets kvantitet og kvalitet.

Under en projektkontrakt med Miljø- og Energiministeriet er der siden 1996 opbygget en National Vandressource Model, DK-modellen, der tager højde for de væsentlige faktorer, som er bestemmende for ferskvandsressourcens størrelse. Det gælder fx nedbør, fordampning, afstrømning på jordoverfladen, nedsivning gennem de øverste jordlag samt grundvandsmagasinernes egenskaber og udstrækning. Modelopbygningen foregår i samarbejde med Dan-

marks Miljøundersøgelser (DMU) og Dansk Hydraulisk Institut (DHI), hvis beregningsprogrammel, MIKE SHE, er et væsentligt element i DK-modellen. MIKE SHE modellens udvikling blev afsluttet ved udgangen af 2000. Dette delprojekt blev gennemført af DHI og GEUS gennem en bevilling fra Erhvervsfremmestyrelsen.

Arbejdet med DK-modellen er i det store hele afsluttet, og der pågår nu en omfattende formidling til den videnskabelige verden og til offentligheden.

I 2000 blev udviklingen afsluttet af de supplerende moduler "Geoeditor" og "UZ-editor" til MIKE SHE. "GeoEditor", er et GIS-baseret grafisk redskab, der sætter brugeren i stand til at opstille, tolke og afprøve geologi-

ske modeller på grundlag af de foreliggende data fra borer og geofysiske undersøgelser. "UZ-editor", der også er GIS-baseret, gør det muligt at indlæse data om lagene nærmest jordoverfladen, bl.a. data fra GEUS' jordartskortlægning.

På baggrund af en ekstern evaluering af DK-modellen er der i 2000 igangsat et ph.d. projekt, hvor målsætningen er at udvikle bedre metoder, der kan sætte tal på grundvandsdannelse variation i områder med forskellig geologi.

I år 2000 er fornyelsen afsluttet af GEUS' net af pejlestationer. Det nye GEUS-net består af 10 stationer, der er monteret med nyudviklet udstyr til "on line"-transmission af data, samt ca. 40 stationer med automatisk regi-

strering. Nettet erstatter et tidligere net på 100 manuelt betjente stationer.

EU-projektet "PALAEAUX" ("gammelt vand") blev afsluttet i år 2000; arbejdet fokuserer på mulighederne for indvinding af dybtliggende grundvand i europæiske kystzoner.

Resultater fra Danmark viser, at der i Ribe Formationens dybtliggende sandlag ("det dybe vand") kan skelnes mellem et gammelt og et yngre strømningssystem for grundvandet. Sandsynligvis kan der under Vesterhavet ud for Rømø findes lommer med meget gammelt ferskvand, måske fra sidste mellemistid, der er tilført gennem det ældre strømningssystem. Det kan blive aktuelt at indvinde "gammelt" ferskvand fra disse grundvandsmagasiner. I lagene med det yngre strømningssystem er der, ligesom i en række amtslige undersøgelser, påvist store mængder "ungt" ferskvand af høj kvalitet uden påviselig påvirkning fra menneskelig aktivitet.

I forbindelse med amternes arbejde med grundvandszoner har GEUS anvendt biostratigrafiske undersøgelser på miocæne aflejringer i Midt- og Vestjylland.

Undersøgelserne har vist, at grundvandsmagasinerne – "det dybe vand" - kan kortlægges væsentlig mere detaljeret ved anvendelsen af disse metoder.

I GEUS rapporten "Grundvandsovervågning 2000" bliver grundvandskvaliteten årligt beskrevet på baggrund af analyser fra overvågningsboringer og vandværksboringer. Overvågningsboringer viser den mest udbredte påvirkning af forurenende stoffer, fordi forurenede vandværksboringer oftest lukkes og dermed udgår af kontrollen. 60% af overvågningsboringerne indeholder ikke nitrat, men 24% er forurenede med nitrat over den vejledende grænseværdi for drikkevand. Da hovedparten af det analyserede vand er ældre end vedtagelsen af den første Vandmiljøplan, kan effekten af tiltagene endnu ikke forventes at kunne registreres. Pesticider og deres nedbrydningsprodukter er fundet i 25% af overvågningsboringerne og 30% af vandværksboringerne.

De to typer forureninger supplerer hinanden, således at over halvdelen af grundvandet i de øverste 40 meter (det unge grundvand) er belastet enten med nitrat eller pesticider og deres nedbrydningsprodukter.

GEUS' forskning på pesticidområdet er især udført som led i det tværinstitutionelle samarbejde i Grundvandsgruppen under Det Strategiske Miljøforskningsprogram, der blev afsluttet i år 2000.

GEUS har arbejdet med undersøgelser af de hydrauliske forhold i opsprækket moræneler og i smeltevandssand samt med undersøgelse af binding og bakteriel nedbrydning af pesticider i grundvandsmagasinerne.

Resultaterne viser, at pesticider kan transporteres gennem rodhuller og sprækker, og at det er sandsynligt, at sprækker fungerer som aktive strømningsejeve ned til mindst 10 m dybde i lerområder. Det er sandsynligvis forklaringen på de senere års pesticidfund i de øverste grundvandsmagasiner, og på at en række pesticider opfører sig anderledes end forventet. Når pesticiderne først er nået ned i grundvandsmagasinerne, foregår nedbrydningen meget langsomt, eller går helt i stå.

Pesticidfundene i det unge grundvand har givet anledning til, at GEUS sammen med Danmarks JordbrugsForskning (DJF), DMU og Miljøstyrelsen har



etableret et varslingsystem. Systemet skal sikre, at der kan gribes ind tidligt med reguleringer, inden grundvandet bliver forurennet. Arbejdet skal gøre det muligt at finde ud af, om godkendte pesticider under regelret anvendelse i felten opfylder de betingelser, der har ligget til grund for godkendelsen, eller om der trods alt er fare for, at stofferne bliver transporteret til grundvandet.

Varslingsystemet består af seks repræsentative forsøgsmarker fordelt over landet. I 2000 er alle seks forsøgsmarker taget i brug og drift. De foreløbige resultater af det første års varslingsindsats er fremlagt ved konferencer i foråret 2001. Det vurderes, at det anvendte overvågningskoncept er velegnet til at følge udvaskningen af pesticider og deres nedbrydningsprodukter. Det er således muligt at følge de varierende strømningsforhold, der forekommer i ellers forholdsvis ensartede sedimentter.

Pesticidforskning finder desuden sted under en projektkontrakt med Miljø- og Energiministeriet samt under Det Tværministerielle Pesticidforskningsprogram. Arbejdet med udvikling af im-

munkemiske analysemetoder, der har ført til en godkendt BAM-analysemetode, er fortsat under Forskningsstyrelsens SUE-program med deltagelse af GEUS, Statens Seruminstitut, Exiqon A/S, Mikroelektronikcentret og Institut for Miljøteknologi ved DTU. Der bliver arbejdet videre med udvikling af immunkemiske analyser for andre pesticidtyper.

I løbet af år 2000 blev projektet KUPA iværksat. Projektet går ud på at udarbejde et "Koncept til Udpegning af Pesticidfølsomme Arealer" for sandområder og vurdere muligheden for senere at kunne udarbejde et koncept for lerområder. Det forventes at resultaterne viser, om det er muligt at opstille et koncept for sand, og hvis dette er tilfældet, at konceptet gøres operationelt. Resultaterne vil få betydning for amternes igangværende/forestående arbejde med grundvandsbeskyttelse ved zoneringsarbejde med projektet vil foreløbig strække sig over tre år og gennemføres i samarbejde med Danmarks Jordbrugsforskning (DJF). Projektet er en del af Pesticidhandlingsplan II og finansieres af Folketinget gennem et aktstykke.

I EU-projektet "FRACFLOW", undersøges organiske og uorganiske forureningers opførsel i sprækkede kalkbjergarter. Arbejdet udføres sammen med 2 israelske universiteter, British Geological Survey og Institut für Angewandte Geologie, Karlsruhe. GEUS har i 2000 afsluttet feltstudierne på lokaliteter ved Sigerslev på Stevns og Drastrup nær Ålborg samt de mikrobiologiske og hydrogeologiske undersøgelser.

Med støtte fra MIFRESTA og DANCEA arbejder GEUS sammen med ASIAQ i Nuuk på at vurdere det grønlandske potentiale for udnyttelse af vandkraft. I 2000 er der i Tassersuaq basinet gennemført studier af strømnings- og magasineringsprocesserne, som foregår i sne-dækket, og dermed betinger smeltevandsafstrømningen og dens variation gennem tid. Ved at udnytte denne viden i de hydrologiske beregningsmodeller øges muligheden for at forudsige kraftige og hurtige afstrømningsforløb, således at grundlaget for dimensionering af vandkraftanlæg bliver forbedret. I 2000 er der udarbejdet en slutrapport med ARKVA-2 projektets resultater.

GEUS har forestået ledelsen af et større projekt vedrørende grundvandsbeskyttelse i det forureningstruede Noginsk distrikt, øst for Moskva. Projektet er primært finansieret under DANCEE-ordningen og blev udført i et samarbejde mellem det russiske ministerium for naturressourcer, de lokale miljømyndigheder, VSEGINGEO (russisk forskningsinstitut for hydrogeologi og ingeniørgeologi), Environment Modelling Center ved Rigas Tekniske Universitet, Krüger International Consult A/S og GEUS. Projektet blev afsluttet i år 2000.

De vigtigste resultater af projektet er: (1) Udarbejdelse af en 3D geologisk model og en kalibreret 3D strømningsmodel for hele distriktet; (2) Fremstilling af kort vedr. udnyttede grundvandsmagasineres sårbarhed med angivelse af områder og lokaliteter, hvor strenge beskyttelsesforanstaltninger og lokal overvågning bør gennemføres; (3) Konstatering af en udbredt grundvandsforurening med organiske stoffer; (4) Etablering af en miljødatabase. Desuden indgår projektets resultater i en ph.d. afhandling gennemført ved VSEGINGEO af en GEUS medarbejder.

Programområdets antal af videnskabelige artikler i 2000 lå på niveau med Resultatkontraktens måltal. Antallet af konferencebidrag, erhversrelaterede artikler samt notater mv. er lidt mindre end i 1999. Rapportantallet er steget i forhold til 1999, og 2000 tallet ligger fortsat højere end måltallet i Resultatkontrakten.

Programområdets årsværksforbrug faldt, den samlede omsætning er vokset i forhold til 1999, og den eksterne finansieringsgrad er faldet. Forbruget er påvirket af overførte midler fra 1999 til opstart af Varslingsystemet samt af bevillinger til "Koncept for udpegning af pesticidfølsomme arealer" (KUPA).



*Udgravning ved Avedøre nær København. I forbindelse med bestræbelserne for at beskytte grundvandet mod forurening med pesticider gennemføres forskellige projekter, hvor der bl.a. arbejdes med risikoen for transport af pesticider i opsprækket moræneler fx gennem den umættede zone over grundvandspejlet. Det opsprækkede moræneler synes at være forklaringen på fund af pesticider i grundvandet, selv om der er mere end 10 meter moræneler over grundvandspejlet. Forestillingen om at leret er en god beskyttelse mod forurening af grundvandet må revideres. Der gennemføres undersøgelser, som skal søge at belyse de processer, der finder sted i den umættede zone.*







*Boreplatform på Nordsøen. For at tilfredsstille samfundets umættelige tørst efter energi, bores der efter olie og gas i undergrunden, både på land og til havs. Men ikke nok med det; der forskes intenst på at forbedre boreudstyret og boremetoder og undergrunden kortlægges i de mindste detaljer, for at gøre det muligt at få så meget som muligt af den eftertragtede, tilstedeværende olie op af undergrunden og dermed øge indvindingsgraden.*

# Energiråstoffer

<i>Ressourceindsats</i>	<i>Realiseret 99</i>	<i>Budget 00</i>	<i>Realiseret 00</i>	<i>Budget 01</i>
<i>Årsværksforbrug</i>	97	88	99	92
<i>Samlet omsætning (mio. kr.)</i>	52,1	56,3	59,5	55,1
<i>Heraf basismidler (mio. kr.)</i>	30,2	30,3	28,9	31,3
<i>Ekstern finansiering (mio. kr.)</i>	21,9	26,0	30,6	23,8
<i>Ekstern finansieringsgrad</i>	42%	46%	51%	43%

Hovedopgaven på programområdet er at bidrage til et solidt fagligt grundlag for en effektiv efterforskning og indvinding og medvirke til, at den størst mulige andel kan indvindes af olie- og gasmængderne, der er til stede i de påviste reservoirer.

På efterforskningsområdet er der opnået interessante resultater angående dannelsen af olie i Centralgraven. Mellem jurasiske kullag har vist sig at være kildebjergart for olie; olien er akkumuleret i Harald- og Lulita-felterne i den danske del af Centralgraven. Det er også påvist, at udbredelsen af de oprindelige, kuldannende sumpe og afstanden til de daværende kyster har betydning for oliens kemiske sammensætning. Konstateringen

af, at kul kan give anledning til oliedannelse er vigtig i efterforskningsmæssig sammenhæng. Det betyder, at de geologiske forudsætninger for at gøre oliefund kan være opfyldt flere steder end hidtil antaget. Resultaterne er publiceret internationalt i 2000, og den nye indsigt er blevet taget i betragtning i forbindelse med efterforskningsprojekter i Vietnam.

Til støtte for detaljerede sekvensstratigrafiske undersøgelser blev der i 1999 igangsat et projekt, som skulle etablere en ny biostratigrafisk zoneinddeling baseret på dinoflagellater af den miocæne lagserie i Midt- og Sønderjylland. Arbejdet er fortsat i 2000, og de første resultater er publiceret. Det forventes ikke, at

de miocæne lag rummer kulbrinter, men aflejringerne kan anskues som analoge til olie/gasførende sandreservoirer i Nord-søområdet, og lejringsforholdene kan studeres i østjyske kystkliner. Udover at tjene som model for klastiske olie/gasreservoirer har de sekvensstratigrafiske undersøgelser betydning i forbindelse med vandforsyningen i Midt- og Sønderjylland. I den miocæne lagserie findes tykke sandformationer, som formentlig rummer store udnytbare grundvandsmængder. At det forholder sig sådan er blevet sandsynliggjort gennem EU-projektet PALAEAUX, som er omtalt under programområdet Vandressourcer.

For Grønlands vedkommende er det en vigtig opgave at bidrage med geologisk og geofysisk dataindsamling og formidling af viden om områdets prospektivitet for at tiltrække den internationale olieindustri.

I 2000 blev et projekt afsluttet, som skulle bidrage til bedømmelse af efterforskningspotentialitet mellem 63° og 68° nord i havet ud for Vestgrønland. Projektet blev finansieret af Råstofdirektoratet, Grønlands Hjemmestyre og Energistyrelsen. Arbejdet bestod bl.a. i reprocessering og tolkning af seismiske data, suppleret med nye stratigrafiske og geokemiske undersøgelser. Der er foretaget en samlet vurdering af områdets prospektivitet og udarbejdet en lang række fortrolige rapporter med projektets resultater. Projektet blev afsluttet inden Qulleq-1 boringen i Fylla området var tilendebragt.

Qulleq-1 boringen i Fylla området, som blev udført i løbet af 2000, viste sig desværre at være tør; boringen blev gennemført af en selskabsgruppe ledet af Statoil. Boringen har frembragt et væld af nye geologiske oplysninger, som er af betydning ved bedømmelsen af mulighederne

for en fremtidig efterforskningsindsats i havområderne vest for Grønland. Resultaterne af undersøgelse af materiale fra boringen findes allerede i en række rapporter, der vil indgå i forbindelse med planlægning og markedsføring af den kommende udbudsrunde i Vestgrønland.

Rapportering af en række yderligere undersøgelser har fundet sted i 2000. Det drejer sig om resultater fra sedimentologiske, biostratigrafiske og organisk geokemiske undersøgelser af prøver fra boringer og daglokaliteter bl.a. på Nuussuaq. Endvidere er der gennemført og offentliggjort tolkning af seismiske og andre geofysiske data fra Disko-Nuussuaq-Svartenhuk regionen og fra havområdet ud for Sydvestgrønland.

Olieudsvinningerne i Vestgrønland har vakt betydelig interesse blandt olieselskaberne, siden de første analyserbare fund blev gjort i 1992. Området med konstaterede udsivninger er udvidet fra nogle få km<sup>2</sup> til mange tusinde km<sup>2</sup>, idet lokaliseringarbejdet fra og med 1996 har været finansieret af Grønlands Hjemmestyre. Nordgrænsen for olieudsvinninger på Svartenhuk

halvøen blev fastlagt i 1999. I 2000 blev flere resultater fra tidligere analyseprogrammer publiceret.

På Råstofdirektoratets foranledning er der udarbejdet en ny olieefterforskningsstrategi for Grønland. GEUS har medvirket ved udarbejdelsen, der bl.a. er foregået på baggrund af mange års geologiske undersøgelser i Vestgrønland. GEUS bidrager også til, at interesserede olieselskaber får kendskab til strategien og efterforskningspotentialerne bl. a. gennem udgivelse af nyhedsbrevet GHEXIS i samarbejde med Råstofdirektoratet i Nuuk.

På indvindingsområdet er PRIORITY samarbejdet videreført mellem Mærsk Olie og Gas A/S, Energistyrelsen (EFP), DTU/Institut for Kemiteknik, Geoteknisk Institut og GEUS. Samarbejdet har til formål at øge den basale viden om den danske Nordsøsektors lerede kalkstensreservoarer fra Nedre Kridt. Projektet går bl.a. ud på at finde måder, der gør det muligt at indvinde de anselige oliemængder der findes, men som er svære at indvinde. I projektets første fase har GEUS især



arbejdet med data fra Valdemar feltet, hvorfra der er etableret en database vedr. tolkning af petrofysiske logs og borekerneanalyser. Reservoirlagene er zoneinddelt på baggrund af mikropalæontologiske analyser, og de enkelte zoners reservoirregenskaber er karakteriseret. Desuden er Valdemar feltets strukturgeologiske udviklingshistorie beskrevet, og der er gennemført en analyse af sprækketyper og fordelingen af sprækkerne i reservoiret. Projektet fortsætter frem til 2002.

I 2000 blev et projekt om diagenese i kalken i Centralgraven afsluttet. I kalken fra Danien - Øvre Kridt findes intervaller med varierende indhold af kvarts og med varierende indhold og sammensætning af lermineraller. Undersøgelserne viser at kvarts i Nordsøkalken bl.a. forekommer som fint fordelt "nanokvarts". Dette betyder, at styrken i kalken øges, og at der dannes impermeable horisonter, der hæmmer strømmingen i kalklagene - et forhold som har betydning for indvindingen af olie.

Projektet FRACARES, Modellering af tofase strømning i opsprækkede kalkstensreservoirs (EU-THERMIE projekt) startede i 1998 og afsluttes i 2001. Der er gennemført seismiske undersøgelser og petroleum-geokemiske undersøgelser. I 2000 blev der i Portugal boret tre testbrønde til 300 meters dybde. Borehullerne er logget og tryk- og strømningstestet. Der er udtaget kernemateriale, som er beskrevet særlig med henblik på fastlæggelse af reservoirbjergartens sprækkenetværk. Arbejdet med testevaluering og etablering af en strømningsmodel for reservoiret er påbegyndt.

De foreløbige resultater har bidraget til en øget forståelse af opsprækkede kalkstensreservoirs kompleksitet og har demonstreret, at en integreret multidisciplinær angrebsvinkel er afgørende for forståelse af strømningsforholdene i sådanne reservoirs. Resultaterne vil kunne anvendes inden for såvel oliebranchen som grundvands- og miljøområdet.

I et projekt om "Trefase fortrængningsmekanismer" under EFP-99 undersøges mulighederne for at øge olieindvindingen

gen fra kalkreservoirs ved hjælp af forskellige injektionsteknikker (dels alternerende injektion af vand og gas (WAG), dels samtidig injektion af vand og gas (CGW)).

I 2000 blev undersøgelserne af WAG/CGW injektionsprocesser fortsat parallelt med computerstudier baseret på matematiske porennetværksmodeller og eksperimentelle studier baseret på mikromodeller. En iterativ procedure er udviklet til sammenkobling af fortrængningsmekanismer på mikro- makro skala og til bestemmelse af selvkonsistente relative permeabilitetsfunktioner. Endvidere er der gennemført pålidelighedsstudier af matematiske modeller for trefasestrømning i kulbrintereservoirs med anvendelse af parameter-værdier, der er repræsentative for kalkreservoirs i Nordsøen.

Projektet om "strømning i opsprækket kalk", som blev påbegyndt i 1998 blev tilendebragt med udgangen af 2000. Resultaterne af eksperimenter med vandinjektion i opsprækket kalk er beskrevet kvantitativt i systemerne "letvand - tungt vand" og "let vand - tungt vand - olie". Fortrængnings eksperimenterne

viser, at sprækkepermeabiliteten kan variere betydeligt over korte afstande. Af særlig interesse for olieindvinding fra kalken er, at formationsvandet bliver mobiliseret ved vandinjektionen og bevæger sig foran injektionsvandet uden at de to "typer" vand bliver blandet nævneværdigt sammen. Den mobile olie bliver flyttet afsted hovedsagelig af formationsvandet, der som en banke skubber olie foran sig; det har vist sig, at den "producerede" olie kun har lille kontakt med injektionsvandet.

Siden 1980 har GEUS deltaget i "North Sea Chalk Research Programme", der er et forsknings-samarbejde, som er organiseret af det norske Oljedirektorat og Energistyrelsen samt en række olieselskaber, der har interesser i Nordsøens olie- og gasforekomster i kalkreservoirier. GEUS har senest arbejdet med at undersøge forskellige typer af heterogenitet i reservoirbjergarterne og den indflydelse, de pågældende "uregelmæssigheder" har på strømningsmulighederne under forskellige skalaforhold. Der er opstillet en procedure for modellering og opskalering af heterogeniteternes effekt på retningsbestemte afvigelser i reservoirbjergarternes permeabilitet,

og udvalgte metoder er indbygget i et nyudviklet program. I 2000 har GEUS medarbejdere deltaget i internationale symposier, hvor resultater fra arbejdet er præsenteret.

I 1998-rapporten fra den af Energistyrelsen nedsatte arbejdsgruppe om mulighederne for i højere grad end nu at udnytte geotermisk energi, blev der foretaget en systematisk vurdering af de geotermiske ressourcer, som står til rådighed for en række danske byer med fjernvarmeanlæg. På Finanslov 2000 var der afsat 20 mio. kr. til nærmere afklaring af forsyningsmulighederne.

I løbet af 2000 gennemførte GEUS en reprocessering af ældre seismiske data. Som konsulent for Hovedstadens Geotermiske Samarbejde (HGS), som består af DONG, kraftvarmeverker og transmissionsselskaber har GEUS deltaget i planlægning og tolkning af nye seismiske data med henblik på udpegnings af en optimal placering af en geotermisk boring. HGS forestår den videre geotermiske efterforskning.

I EU-sammenhæng er der betydelig interesse for CO<sub>2</sub>-deponering i egnede undergrundsformationer. GEUS er involveret i de nødvendige forundersøgelser og har ledelsen af et EU finansieret udredningsprojekt. Således deltog GEUS i et projekt om deponering af CO<sub>2</sub> fra det norske gas-kondensatfelt Sleipner (SACS-projektet), og GEUS har udarbejdet en regional model for sandstensreservoirier, hvori deponeringen foregår (Utsira Formationen). I 2000 er der startet et arbejde med at vurdere de geologiske muligheder for CO<sub>2</sub>-deponering i en række europæiske lande (GESTCO-projektet). SACS og GESTCO finansieres af EU og en række nationale og internationale energiselskaber (både el- og olie/gas-selskaber).

I 2000 har ENRECA finansieret udarbejdelsen af et langsigtet samarbejdsprojekt mellem GEUS og vietnamesiske institutioner inden for olie-gas sektoren. Forarbejdet har omfattet besøg i Vietnam, og der er udarbejdet et omfattende forslag til et uddannelsesprojekt.

I 2000 ligger antallet af internationale artikler og af konferencebidrag markant højere, end resultatkontraktens måltal. Antallet af offentligt tilgængelige rapporter, erhvervsrelaterede artikler er derimod lavere. Det store antal fortrolige rapporter og GEUS notater vedrører dels kommer-

cielle serviceopgaver, dels forskningsprojekter, som bygger på data, der er fortrolige i henhold til undergrundslovgivningen.

Såvel årsværksforbruget som pengeomsætningen var større på dette programområde, bl.a. fordi aktiviteten på området var hø-

jere end budgetteret; fx var den eksterne finansieringsgrad i 2000 markant over den eksterne finansieringsgrad i 1999.



*Boligblokke (Høje Gladsaxe), motorveje og vejbelysning! Alt sammen energiforbrugende systemer; systemer der på godt og ondt påvirker vore omgivelser, og som vi er blevet vænnet til at betragte som selvfølgelig goder.*



*Mestersvig i Østgrønland. Udsigt i vestlig retning mod den nordlige del af Stauning Alper. Billedet er taget fra flyvepladsen ved Mestersvig nær kysten af Kong Oscar Fjord. Mestersvig er det første område i Østgrønland, hvor der er brudt malm i større stil; der blev først og fremmest brudt blymalm. Stedet har siden tjent som udgangspunkt for talrige ekspeditioner i det nordlige Østgrønland, både videnskabelige og mere sportsprægede.*



# Mineralske råstoffer og Grønlandskortlægning

Ressourceindsats	Realiseret 99	Budget 00	Realiseret 00	Budget 01
Årsværksforbrug	71	59	65	55
Samlet omsætning (mio. kr.)	54,0	39,2	38,4	38,1
Heraf basismidler (mio. kr.)	30,3	25,1	23,8	24,7
Ekstern finansiering (mio. kr.)	23,7	14,1	14,6	13,4
Ekstern finansieringsgrad	44%	36%	38%	35%

På programområdet er hovedopgaven, dels at tilvejebringe det videnskabelig grundlag for en målrettet efterforskning og dels at sikre en skånsom udnyttelse af råstof- og mineralforekomster i både Grønland og Danmark. I Grønland har den geologiske kortlægning og basisundersøgelser til formål at etablere det vidensgrundlag, der skal øge muligheden for at råstofsektoren kan blive et bæredygtigt erhverv. I Danmark er formålet at tilvejebringe og formidle viden om grundlaget for udvinding af råstoffer på land og i de omgivende danske havområder. Desuden udføres geologiske undersøgelser i forbindelse med

anlægsarbejder i Danmark. Endelig er der i de seneste år løst forundersøgellesopgaver i forbindelse med rådgivning på mineralområdet til lande i den 3. verden.

I 2000 blev Kortblad nr. 9, Lambert Land udgivet. Der er nu udgivet 12 af 14 geologiske oversigtskort i 1:500.000 over de isfrie områder i Grønland (ca. 410.000 km<sup>2</sup>). Følgende kan oplyses om arbejdet med de resterende 2 kortblade:

Kortblad nr. 11, Kong Oscar Fjord: Kortbladet dækker området mellem 72° og 75° N i den sydligste del af Nordøstgrøn-

land. Kortlægningen er foregået på grundlag af et topografisk arbejds kort, der er udtegnet ved GEUS i skala 1:100.000. Bearbejdning er afsluttet af observationer og indsamlet bjergarts materiale fra feltarbejdet, der foregik i somrene 1997-1999. En rapport om arbejdet er i august 2000 afleveret til Statens Naturvidenskabelige Forskningsråd (SNF), der støttede arbejdet. Kompilationen af kortbladet i skala 1:500.000 er gennemført i 2000 og kortet ventes at kunne udgives i 2001.

Kortblad nr. 6, Kane Basin: Det afsluttende feltarbejde blev gennemført i Inglefield Land i Nord-

vestgrønland (ca. 78° N) og i Washington Land i Nordgrønland (ca. 81° N) i sommeren 1999. I 2000 fortsatte bearbejdelsen af det indsamlede, omfattende materiale med sigte på udgivelse af kortet i 2002.

Med udgangspunkt i resultater fra undersøgelser af de tertiære basalter i Blosserville Kyst området i Østgrønland og i tilsvarende undersøgelser af de færøske basalter er det lykkedes at korrelere de to lavaserier, som tidligere har ligget tæt ved hinanden, i detaljer tværs over Atlanterhavet. I 2000 blev en populærvidenskabelig beskrivelse af de Østgrønlandske sedimentbassiner nord for Blosserville Kyst området udgivet (GEOLOGI- nyt fra GEUS, Nr. 1 maj 2000). Det ser ud til, at forholdene på land i nordlige Østgrønland kan sammenlignes med forholdene i havbunden i Barentshavet ud for Norge. Man har dermed en mulighed for direkte at studere lagene i Grønland og sammenligne med de indirekte oplysninger om forholdene under havbunden ud for Norge. Andre resultater tyder på, at der også kan være ligheder mellem den østgrønlandske og den færøske præbasaltiske sedimentserie; olieselskaber, som påtæn-

ker aktiviteter på den færøske sokkel, har vist stor interesse for resultaterne.

I 2000 blev regionalgeologiske undersøgelser iværksat af regionen syd for Aasiaat (Egedesminde). Arbejdet går ud på at sammenstille eksisterende data og gennemføre en geologisk kortlægning i området. Formålet er bl.a. at forbedre den geologiske forståelse af regionen, specielt sammenhængen mellem to jævnaldrende og tilgrænsende bjergkæder. Aktiviteten i 2000 er første etape af et 4-årigt projekt, der bygger på to store GGU- og DLC-projekter nord og syd for indsatsområdet. I 2000 blev feltarbejdet i Ussuit området gennemført og kortbladet Ussuit i målforholdet 1:100.000 blev færdigt og bliver klar til trykning i 2001.

Et arbejde blev påbegyndt i 2000 med ressourceevaluering af strækningen fra Maniitsoq (Sukkertoppen) til Nuussuaq. Projektet går ud på at vurdere forekomster af metalliske ressourcer i de prækambriske bjergarter i området mellem Sukkertoppen Iskappe og Nuussuaq. I 2000 blev udarbejdelsen påbegyndt af en række korttyper til brug for feltarbejdet i 2001; det drejer sig

om topografiske basiskort, geologiske kort, terrænmodel, navnekort, strukturkort og mineraliseringskort. Endvidere er en bedømmelse af geofysiske data påbegyndt, herunder sammenhæng mellem geofysiske anomalier og kendte beskrevne mineraliseringer fra området. Et ph.d. studie skal søge at opstille en geologisk model for området; modellen skal bidrage til forståelsen af de overordnede geologiske strukturer og sætte mineraliseringerne i området i relation til modellen. Arbejdet med projektet forventes afsluttet i 2003.

Som led i undersøgelser af basalt-dækkerne i Disko Bugt området, hvor feltarbejdet især foregik i perioden 1981-1992, er 2 kortblade i skala 1:100.000 færdigkompilet og sat i teknisk produktion. Det drejer sig om kortbladene 69V1S Uiffaq og 69V2N Pingu. Det ene af kortbladene, Uiffaq, er trykt i 2000.

Konvertering af tidligere udgivne geologiske kort til digitalt format er fortsat i 2000. Yderligere 14 geologiske kort i målforholdet 1:100.000 blev vektoriseret og overført til CD-ROM og er til rådighed og kan rekvireres hos GEUS.

GEUS' opgaver i forbindelse med målttet mineralefterforskning løses i tæt samarbejde med Råstofdirektorat, Grønlands Hjemmestyre, som finansierer en række af aktiviteterne. Opgaverne går bl.a. ud på at tilvejebringe og formidle data og undersøgelsesresultater, som har efterforskningsmæssig værdi, og som kan stimulere den internationale mineindustri's interesse for det grønlandske mineralpotentiale.

I 2000 blev der udgivet et særnummer af tidsskriftet "Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy (Section B, Applied earth science)" vol 109, 2000. Nummeret indeholdt 8 videnskabelige artikler under overskriften: "Exploration in Greenland: discoveries of the 1990s".

Geofysiske data indeholder information om de geologiske strukturers udbredelse i dybden. Geofysiske undersøgelser er derfor et vigtigt supplement til den geologiske kortlægning, som i Grønland oftest er begrænset til jordoverfladen. I forlængelse af de foregående 5 års intensive flybårne geofysiske målinger er der i projektet AGS Greenland 1999 gennemført et omfattende

måleprogram vedr. magnetfeltet i det sydlige Vestgrønland. Flyopmålingerne omfatter ca. 141.000 linie-kilometer og dækker et område på ca. 60.000 km<sup>2</sup>. I 2000 er kort og data fra AGS Greenland 1999 frigivet, og indsatsen i 2000 har været koncentreret om tolkningsopgaver. De flybårne opmålinger genoptages i 2001.

I 2000 blev mange års systematisk registrering af data med relevans for bedømmelse af mineralpotentialet i Sydgrønland afsluttet og udgivet som rapporter og på cd-rom.

En rapport gennemgår eksisterende geologiske data samlet i en ny digital database. Rapporten indeholder en ressourceevaluering med data fra identificerede mineraliseringer og geokemiske regioner. Sydgrønland synes at rumme betydelige chancer for guldforekomster; der er tale om to forskellige typer mineraliseringer, dels guld mineraliseringer med relation til hydrotermale omdannelser, dels en dominerende mineraliseringstype, som har relation til strukturelle zoner og højtemperatur kvartsgange. Der er også knyttet andre mineraliseringer til intrusioner, fx af specielle metaller

som niob og tantal i forbindelse med intrusionerne i Gardar provinsen i Narssaq - Narssarsuaq området.

En rapport og cd-rom med ArcView projektfil er udgivet med alle tilgængelige geologiske, geofysiske, geokemiske og remote-sensing data eller metadata. Der er gennemført en vurdering af områdets mineralske potentiale. Materialet er placeret på en interaktiv cd-rom, som kan udnyttes af mineselskaber og geovidenskab i almindelighed.

Endelig blev der på dataområdet i 2000 gennemført en gennemgribende teknisk forbedring af databasen GREENMIN, vedrørende mineraliseringer i Grønland, og der er udgivet en beskrivelse og en manual.

I Grønland var der i 2000 34 licenser i kraft på mineralområdet, Licenserne er især udstedt i Vestgrønland. Selskabernes interesse er især rettet mod mulige diamant- og guld forekomster, mod basismetaller (zink, bly mm) samt mod specielle metaller (niob, tantal, zirkon).

I Danmark har arbejdet med råstoffer 2000 drejet sig om teglværksler og tungminerale samt mineralske råstoffer til havs.

Med hensyn til teglværksler er der på udvalgte lerprøver, der bruges i danske teglværker, udført en række analyser bl.a. kornstørrelsesfordeling, mineralogi og kemi samt en række tekniske analyser af, hvad der sker ved tørring og opbevaring af leret. Det er hensigten at sammenholde alle disse data for at fremstille et brugbart datasæt om teglværkslers egenskaber.

Der er også udført en række geofysiske kortlægningsprojekter for at afprøve nye metoders egnethed ved efterforskning af teglværksler. I løbet 2001 vil der blive udarbejdet en foreløbig rapport om arbejdet. Arbejdet bliver gennemført i samarbejde med Skov- og Naturstyrelsen, Murværkscentret samt en følge-gruppe, hvor tre amter, et teglværk og et konsulentfirma deltager. Resultaterne af de mineralogiske, kemiske og tekniske analyser i arbejdet forventes at være af interesse for teglværksindustrien, medens kortlægningsarbejdet vil være af betydning både for teglværkerne og for amter-

nes arbejde med administration af råstofferne. Aktiviteterne bliver finansieret af SNS og GEUS.

Efterforskningen i Midt- og Vestjylland af tungminerale blev fortsat i 2000 for mineselskabet DuPont. Der blev udført en række undersøgelsesboringer og udtaget prøver til analyse på GEUS. Resultaterne af arbejdet er fortløbende, men en del af de geologiske resultater har stor interesse for den videnskabelige, sekvensstratigrafiske kortlægning af de tertiære lagfølger i Jylland og for påvisning af grundvandsmagasiner i Syd- og Vestjylland. Arbejdet bliver finansieret af DuPont.

Projekterne med kortlægning af havbunden i Nordsøen blev ført videre i 2000. Projekterne blev indledt i 1997 og ventes afsluttet i 2004. Arbejdet i Nordsøen bliver varetaget inden for to hovedprojekter:

1) Et projekt, hvor der bliver indsamlet meget store datamængder, der bliver anvendt i den generelle geologiske kortlægning og som basisdata i kortlægningen af råstofressourcer, hovedsagelig sand, grus og sten til havs. Der er gennemført en vurdering af råstofressourcerne

på Jyske Rev; resultaterne bliver anvendt af Skov- og Naturstyrelsen i deres planlægning og administration af områdets udnyttelse.

2) Et projekt, hvor råstofressourcerne og fordelingen langs vestkysten af Jylland bliver kortlagt for Kystdirektoratet (tidligere Kystinspektoratet). Resultaterne af kortlægningen bruges bl.a. til planlægning af kystbeskyttelse, herunder kystfodring.

I 2000 er et pilotstudium i Tanzania afsluttet, som vedrører mine-efterforskning og miljøvurdering. Der arbejdes på etablering af et efterfølgende flerårigt projekt, med større andel af under-visning på kandidat- og ph.d.-niveau. Projektet er et samspil mellem geologiske undersøgelser og miljøundersøgelser, i dette tilfælde mellem guldudvinding og miljøkonsekvenserne af den udstrakte brug af kviksølv i oparbejdningen af guld. Projektet finansieres af Rådet for Udviklingsforskning. Arbejdet er gennemført i samarbejde med DMU, Geologisk Institut ved universitetet i Dar es Salaam og Tanzanias Geologiske Undersøgelse i Dodoma.

I Rumænien har GEUS, i samarbejde med det amerikanske konsulentfirma Landmark, i 2000 bistået de rumænske myndigheder i opbygningen af et databasesystem for mineraliseringer og minedrift. Projektet finansieres af Verdensbanken.

Programområdets formidlingsaktiviteter har i 2000 været omfattende, og alle kategorier ligger højere end måltallene angivet i resultatkontrakten; det gælder f. eks. antallet af konferencebidrag og offentligt tilgængelige rapporter. Antallet af internationale artikler er næsten fordoblet i forhold til 1999 og er også større end resultatkontraktens måltal.

Årsværksforbruget har ligget på et lidt højere niveau end forudset ved budgetlægningen for 2000. Det øvrige ressourceforbrug har stort set været som budgetteret.



*Som sidedal til den skønne og fredede Paradisdal i Søndre Strømfjord området ligger dalen Sarfartog. På Billedet ses en rustfarvet Karbonatitforekomst med et potentielt indhold af apatit, niobmineralisering samt forekomst af "De Sjældne Jordarter" (REE).*





*Flere steder i de ørkenagtige egne af Nordgrønland kan man finde små træstammer. Det viser at området engang har været skovdækket. De fundne træarter er grønlandsk lærk, sortgran, thuja, taks og birk. Træstammerne blev fundet i et elvleje, og de er blevet vandrullet og slidt ved at blive transporteret nedstrøms af elven. Stammerne er omkring 3 millioner år gamle, men de har holdt sig friske ved at være begravet i den permanent frosne jord.*

# Natur og miljø

Ressourceindsats	Realiseret 99	Budget 00	Realiseret 00	Budget 01
Årsværksforbrug	42	44	44	39
Samlet omsætning (mio. kr.)	24,6	24,1	27,0	21,3
Heraf basismidler (mio. kr.)	13,9	11,3	12,6	12,8
Ekstern finansiering (mio. kr.)	10,6	12,8	14,4	8,5
Ekstern finansieringsgrad	43%	47%	47%	40%

Arbejdet på programområdet har til formål at belyse de processer, der inden for Danmark og det nordatlantiske område har ført til nutidens klima og miljøtilstand. Det er et mål at forbedre mulighederne for at kunne skelne mellem naturbetingede miljøændringer og menneskeskabte ændringer.

Under programområdet udføres projekter, der med få undtagelser vedrører geologiske lag, som er afsat under istiden eller i tiden derefter. Projekternes emner spænder vidt og vedrører klimaudvikling, landskabsudvikling, kystzonen, jordartskortlægning og jordforurening.

Vedrørende klimaudviklingen er der gennemført en række undersøgelser i 2000 som ligger i forlængelse af de opnåede resul-

tater fra 1999. Geofysiske, geologiske og hydrografiske opmålinger i fjordområderne i Sydgrønland, hvor de første Nordboere bosatte sig i år 985 viser, at de naturgivne rammer for bosættelsen blev ændret drastisk i den sene middelalder; først og fremmest som følge af en klimaforværring, der senere er kendt som "Den lille istid"; det køligere klima og ustabile vejrforhold gjorde det bl.a. vanskeligt at opretholde husdyrhold, som var en vigtig del af den norrøne kultur i Grønland. Der kan læses mere om emnet i artiklen "Nordboernes livsgrundlag i Grønland" side 61 i nærværende Årsberetning.

I 2000 blev der gennem projektet GRASP (Greenland Arctic Ocean Shelf Project) udført flyvninger over det Arktiske Ocean

for at studere isens beskaffenhed og skaffe sig viden om de aktuelle processer, der finder sted i området. Denne viden skal bl.a. bruges i forbindelse med etablering af islejre, hvorfra der evt. skal gennemføres klimatologiske målinger i det arktiske område. De foreløbige resultater har vist, at isforholdene nord for Grønland har ændret sig i løbet af de seneste år, sandsynligvis som følge af en klimabetinget påvirkning.

Geofysiske, geologiske og sedimentologiske undersøgelser af den færøske kontinentmargin og området ud mod Færø-Shetland Kanalen har vist, at aflejringerne på havbunden har været særdeles ustabile; det er påvist, at der i tiden efter sidste istid i flere omgange har fundet enorme udskridninger sted af havbundsse-

dimerterne, der har bevæget sig ned langs med havbunden med stor hastighed over store afstande. En af problemstillingerne er at finde ud af, hvilken eller hvilke mekanismer, der er med til at udløse disse slamstrømme; det har muligvis sammenhæng med en kombination af klimatiske forhold og processer i jordskorpen fx jordskælv. En beskrivelse af havbundssedimenterne og et bud på deres stabilitet er af afgørende betydning for planlægning af evt. kommende olieindvinding med placering af installationer på havbunden.

Det danske landskabs udviklingshistorie undersøges i en række projekter, hvor søsedimenter studeres, afsat inden for de seneste ca. 6.000 år. Der er påvist en nær sammenhæng mellem vegetation og arealanvendelse i søernes opland, jorderosion, søvandets totale fosforkoncentration og søens vegetation af vandplanter. Der er hermed opnået ny indsigt om det danske kulturlandskabs opståen og udvikling. Det er lykkedes at påvise, at det kulturgeografiske mønster dvs. fordeling af bosætelse i bygder, som var så karakteristisk for det førindustrielle samfund, har en 3000-årig lang ubrudt historie i Danmark.

I Projektet AGRAR 2000, der er finansieret af fire forskningsråd, er der i år 2000 indsamlet geologiske, arkæologiske og historiske data fra oplande til ni danske søer. Målet er at beskrive og fortolke ændringer i arealanvendelse i områderne gennem de sidste 2000 år med særlig fokus på perioder med kraftige og hurtige ændringer for derved at sætte de moderne udviklingstendenser i et langtidsperspektiv. I 2000 er der arbejdet med at udvikle et redskab til bedømmelse af arealdækningen af skov, hede og dyrket mark ud fra arealfordelingen af pollen for ca. år 1800. Disse data sammenlignes statistisk med arealdækningen på samtlige udskiftningskort eller matrikelkort i et geografisk informationssystem (GIS). Forskningsstrategien med at anvende historiske analogier og fossile pollendata fra søsedimenter er ikke før blevet prøvet internationalt.

I "Foranderlige Landskaber", hvor et omfattende centersarbejde finansieres af Det Strategiske Miljøforskningsprogram (SMP 97), har GEUS arbejdet med landskabshistorien omkring Dallund Sø på Nordfyn. Ved at kombinere analyser af pollen, planterester og diatoméer med


analyser af søsedimenternes fysiske egenskaber har man fundet ud af hovedtrækkene i den skiftende arealanvendelse og indflydelsen på søens vandkvalitet gennem tiderne fra stenalder over bronzealder, jernalder, vikingetid, middelalder frem til nyere tid. Projektet forventes afsluttet i 2001.

På naturskovsområdet er der foretaget en udredning for Verdensnaturfonden om problemerne i forbindelse med afvandingen i skovene, og der er gennemført en bedømmelse af muligheden for at genskabe naturlige vandstandsforhold i danske skove.

Inden for et EU-projekt er der gennemført en sammenstilling af pollendata og udarbejdet numeriske modeller, hvor der er påvist en tydelig sammenhæng mellem klimaændringer og rødgranens udbredelse gennem de sidste 2000 år. En klimaændring, der fører til en opvarmning af atmosfæren, vil på længere sigt medføre, at den sydlige grænse for rødgranen rykker yderligere mod nord.

I forskningsområderne i Draved Skov er gennemført undersøgelser af stormfaldets indvirkning





på gammel, længe urørt naturskov. Trods høj vandstand og mange gamle træer var skovsystemet ret stabilt sammenlignet med omliggende nåletræplantager.

Der er desuden udarbejdet flere bidrag til de fællesministerielle udredninger, der skal danne grundlag for revision af Naturskogsstrategien og for Wilhelmudvalgets arbejde vedrørende skov. I 2000 er der foretaget undersøgelser i et projekt om udnyttelse af naturlig tilgroning til skovrejsning samt i et projekt om den fremtidige forvaltning af de jyske egekrat. Begge projekter skal afrapporteres i 2001.

GEUS har arbejdet med overvågning af kystzonen og konsekvenser for miljøet ved anlægget af den faste forbindelse over Øresund. Sideløbende med anlægsarbejdet er der foretaget opmålinger og undersøgelser af kystforløb og havbund på begge sider af Sundet og ved Saltholm. I 2000 blev yderligere data indsamlet, bearbejdet og afrapporteret, idet overvågningen er fortsat et år efter, at broen blev færdig. En sammenfatning af overvågningen er iværksat, og resultaterne tyder bl.a. på, at anlægsarbejdet kun i begrænset

omfang har påvirket de naturlige kystprocesser i Øresundsområdet.

Sammen med Kystdirektoratet (tidligere Kystinspektoret) gennemføres en undersøgelse og kortlægning af den vestjyske kystzone mellem Lodbjerg og Blåvandshuk. Arbejdet har til formål at etablere en geologisk model, der kan bruges ved bedømmelse af forholdet mellem kysterosion og sandtransport på havbunden. Resultaterne skal danne grundlag for egnede foranstaltninger til sikring af kyststrækningen. I 2000 er der udført undersøgelse af de kystnære områder nord for Horns Rev med det formål at belyse kystudviklingen og transporten af sedimenter langs kysten og betingelserne for akkumulation af materiale på havbunden.

I 2000 blev der gennemført en kortlægning af kystzonen langs Vestgrønland mellem 62° N og 68° N. Kortlægningen beskriver kystzonens følsomhed over for olieforurening som følge af et evt. olieudslip i de grønlandske farvande. Arbejdet er udført i samarbejde mellem Energistyrelsen, Råstofdirektoratet i Nuuk, Geografisk Institut ved KU, DMU, Meteorologisk Institut,

grønlandske institutioner, canadiske konsulentfirmaer og GEUS. Resultatet af kortlægningen er udgivet på CD-ROM som et værktøj for myndighedernes beslutningstagning. Resultaterne er også lagt på Internettet.

Jordartskortlægningen i 2000 har fulgt strategien for kortlægningen, som fremgår af resultatkontrakten 2000-2003. Arbejdet er foregået i forskellige områder, som er udvalgt med hensyntagen til behovet for geologiske jordartskort til aktuelle samfundsopgaver; fx har kortlægningen langs vestkysten af Jylland relation til de maringeologiske aktiviteter, der udføres for Kystdirektoratet. Jordartskortlægningen på Lolland er fortsat i 2000, og sammenstillingen af kortbladet 1411 I Saksøbing er færdig, og kortet er i trykken og udgives i 2001.

Kortet over havbundssedimenter omkring Danmark i 1:500.000, der i 1992 blev udgivet i samarbejde med Skov- og Naturstyrelsen og Sveriges Geologiske Undersøgelse, er opdateret og udvidet, så det udgør et nyt og forbedret kort. Det udkom i 2000 på CD-ROM.

Projektet GENIUS, der har til formål at udvikle og teste metoder til on-line fortolkning af akustiske data optaget fra havbunden, blev delvis afsluttet i 2000. Færdiggørelse og endelig test vil finde sted i 2001.

GEUS er engageret i flere forskningsaktiviteter med tilknytning til jordforurening.

En meget vidtspændende aktivitet på jordforureningsområdet foregår i "Center for biologiske processer i forurenede jord og sediment", forkortet BIOPRO. Centerdannelsen er under Det Strategiske Miljøforskningsprogram (SMP 98). I 2000 blev der gennemført et stort feltforsøg, hvor otte af de deltagende forskningsinstitutioner samarbejdede om at måle, hvad der sker med de biologiske og kemiske parametre, når man forsøger at rense svært forurenede jord. I forsøget, der gennemføres i samarbejde med flere kommercielle partnere, har BIOPRO bl.a. undersøgt, hvad der sker når svampe med aggressive enzymer slippes løs på forureningsstof-

ferne. I 2001 bliver feltforsøget genoptaget og afsluttet gennem en risikovurdering af den forurenede jord, bl.a. for at finde ud af om der er mutationsrisiko af bakterier i jorden.

I Østafrika er et pilotprojekt sat i værk med det formål at belyse sygdomshistorien for malaria. Arbejdet gennemføres som et samarbejde mellem Makerere University, Uganda, London School of Tropical Medicine og GEUS. Ved hjælp af materiale fra borerier i tropiske søer bliver søsedimenter undersøgt for at belyse sammenhænge mellem klima og sygdomsfrekvens. I 2000 blev feltarbejdet gennemført, og der er hjembragt borekerner fra 3 søer.

Programområdets formidlingsindsats i 2000 var lidt større end i 1999. Indenfor alle væsentlige formidlingskategorier er produktionen større end måltallene angivet i resultatkontrakten 2000-2003.

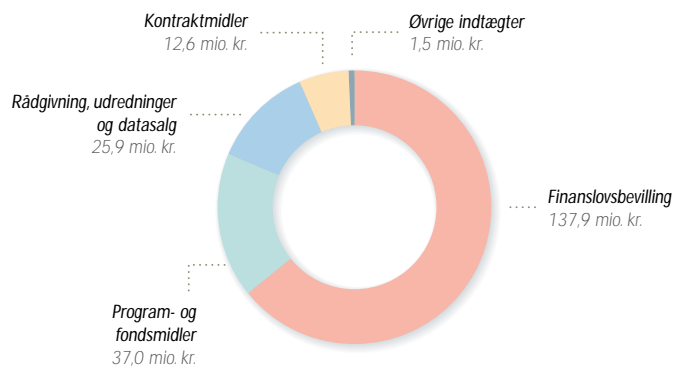
I 2000 var ressourceforbruget på programområdet som planlagt. Omsætningen var dog lidt større end budgetteret på grund af en større aktivitet end forudset med den geologiske kortlægning, der blev udført som en del af indsatsen i samarbejdet med Kystdirektoratet. Den større omsætning er ligeligt fordelt på basismidler og ekstern finansiering.

*Lille Saltsø nær Søndre Strømfjord. I de varme og forholdsvis tørre områder omkring det indre af de dybe fjorde i Vestgrønland findes der søer med et forhøjet saltindhold som følge af fordampning af vand fra søerne. Bundsedimenter fra søerne er blevet undersøgt for at finde ud af, hvornår søerne blev salte for dermed at få indblik i klimaudviklingen i området gennem de sidste 9000 år.*



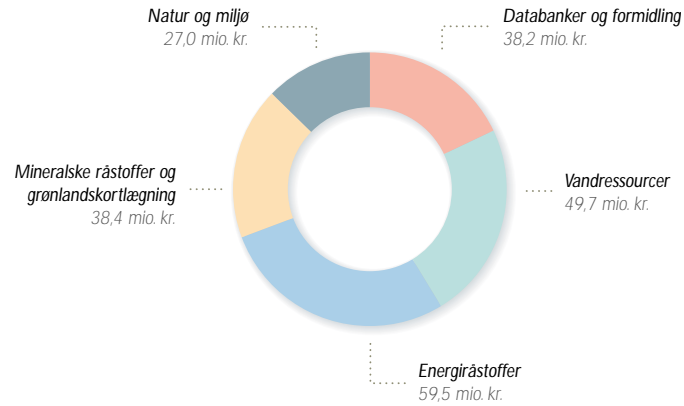


## Indtægter fordelt på indtægtskilder (2000)

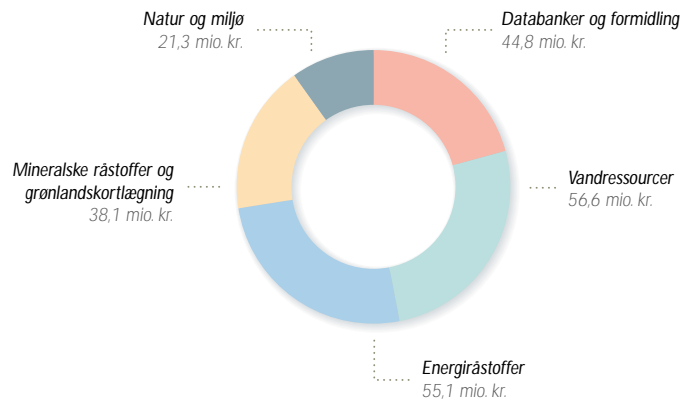


Figurerne viser oversigtligt de økonomiske ressourcer som GEUS (eksklusive DLC) havde rådighed over i 2000 (indtægter), og hvorledes disse blev fordelt på programområder (udgifter), samt det budgetterede forbrug i 2001 (udgiftsbudget). Basisoplysninger er taget fra Virksomhedsregnskabet for 2000 og Arbejdsprogram 2001. Alle tal er afrundede. I Virksomhedsregnskabet findes en detaljeret resultatanalyse af GEUS' samlede virksomhed og af de enkelte programområder (se [www.geus.dk](http://www.geus.dk)).

### Udgifter fordelt på programområder (2000)



### Udgiftsbudget for 2001 fordelt på programområder (2001)



# REGNSKAB FOR 2000

## Regnskab for finansåret 2000

(mio.kr.)	Bevillinger (FL)	Regnskab
<b>Udgifter</b>		
Lønninger	129.0	129.3
Øvrige driftsudgifter	103.8	98.4
<i>I alt udgifter</i>	<b>232.8</b>	<b>227.7</b>
<b>Indtægter</b>		
Nettotal (tilskud)	137.9	137.9
Driftsindtægter	94.9	90.9
<i>I alt indtægter</i>	<b>232.8</b>	<b>228.8</b>
<b>Årets resultat</b>	-	<b>1.1</b>
<b>Beløb overført fra 1999</b>	-	22.4
<b>Opsparing (beløb at overføre til 2001)</b>		<b>23.5</b>

Regnskabet viser GEUS' (inklusive DLCs) økonomiske dispositioner i 2000. Udgifterne var 227.7 mio. kr. GEUS' drift blev dækket dels af finanslovbevillingen og dels af indtægter ved salg af ydelser og data, forskningsbevillinger m.m. Indtægterne var 228.8 mio. kr. Regnskabsmæssigt var der således et overskud på 1,1 mio. kr. Omtrent 40% af GEUS' indtægter i 2000 kom fra eksterne kilder. Et mere detaljeret regnskab findes i Virksomhedsregnskabet for 2000 (se [www.geus.dk](http://www.geus.dk)).

# FORMIDLINGSVIRKSOMHED

Resultatindikatorer	Programområder					2000
	Databanker og formidling	Vandressourcer	Energi-råstoffer	Mineralske råstoffer	Natur og miljø	
<b>Længsigt vidensopbygning</b>						
Antal artikler i internationale videnskabelige tidsskrifter/publikationer (m. referenc)	-	11	41	25	29	106
Antal videnskabelige artikler i egne serier (m. referenc)	2	-	9	6	4	21
Antal videnskabelige publikationer i øvrigt (u. referenc)	1	4	2	8	10	25
Antal publicerede geologiske kort	-	-	-	2	2	4
Antal tematiske kort	-	-	-	3	-	3
Antal konferencebidrag	3	36	84	42	78	243
<b>Løbende faglig opgøveløsning, rådgivning og formidling</b>						
Antal offentligt tilgængelige rapporter	7	33	11	21	23	95
Antal fortrolige rapporter	-	2	36	7	5	50
Antal erhvervsrelaterede artikler	3	13	1	2	4	23
Antal notater, udtalelser, redegørelser m.v. (GEUS notater)	1	22	37	26	-	86
<b>Generel formidling</b>						
Antal institutionsrapporter (årsberetning, arbejdsprogram, projektkatalog, strategiplan)	7	-	-	-	-	7
Antal populærvidenskabelige artikler	38	-	-	-	-	38
Antal avisartikler, foredrag, udstillinger m.v.	89	-	-	-	-	89
<b>Samt formidling</b>	151	121	221	142	155	790



Skemaet viser oversigtligt GEUS' produktion udtrykt som antal "formidlingsenheder" inden for de nævnte "resultatindikatorer" fordelt på programområder.

Bortset fra GEUS-notater findes en publikationsliste på GEUS' internetsted: [www.geus.dk](http://www.geus.dk).





# SPECIALARTIKLER

*Flybillede af sydkysten af Sjælland mellem Skælskør og Næstved.  
Flybilleder spiller stadig en vigtig rolle ved fremstilling af topografiske kort, og de  
Geografiske Informations Systemer (GIS) bruger gerne en kombination af opret-  
tede flybilleder, satellitoptagelser og digitale kort.*



## GIS PÅ GEUS

*Bjørn Hermansen*

### **Indledning**

Geografiske Informations Systemer (GIS) anvendes i dag af alle statslige geologiske undersøgelser og store kortproducenter verden over. Ligeledes vinder GIS hastigt indpas i administrative institutioner, der anvender stedfæstede data i Danmark f.eks. kommuner, amter og en del ministerier. Kort fremstillet med GIS kan udveksles via moderne elektroniske medier (cd-rom, Internettet m.v.). Desuden er mulighederne for statistiske, matematiske og geografiske analyser af data blevet kraftigt øget, og det er blevet meget nemmere at opdatere kort i forhold til traditionelle metoder.

Forgængerne for GEUS – DGU fra 1888 og GGU fra 1946 – blev oprindeligt oprettet for at varetage den geologiske kortlægning af henholdsvis Danmark og Grønland. Kortlægningen har således stået på i over 110 år. Institutionen har i denne periode været den næststørste kortproducent i Danmark - kun overgået af Kort- og Matrikelstyrelsen. Det var derfor naturligt, at det var her, edb-teknologien som et af de første steder, vandt indpas i kortfremstillingen.

Allerede sidst i 1970erne blev edb anvendt til opbevaring og udtegnning af oplysninger om boringer. I 1983 begyndte instituti-

onen at udvikle programmer til automatisk kortudtegnning. To af disse systemer (ZETA og UNIKORT) blev efterhånden udviklet til egentlige GIS - baseret på henholdsvis vektor- og rasterdata. Fra sidst i 1980erne var institutionen endda internationalt førende, idet version 3 af ZETA-systemet - så vidt vides - var verdens første menustyrede GIS.

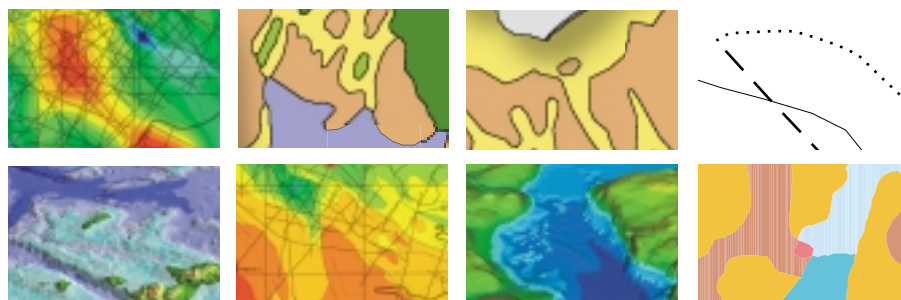
Fra 1992/93 aftrappede GEUS egenudviklingen af GIS og overgik gradvist til kommercielle systemer med hovedvægten på Arc/Info.

GIS er i dag en bred betegnelse for alle edb-systemer som kan håndtere kort og stedfæstede data i geografiske koordinatsystemer som UTM eller længde/breddegrader.

Et GIS er oftest karakteriseret ved at kunne:

- Skabe digitale kortdata
- Opdatere kort og tilknyttede data
- Foretage beregninger og analysere på kortdata
- Udskrive resultater - oftest i form af kort

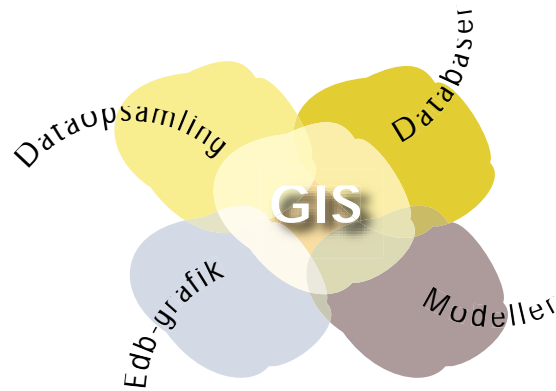
# GIS



GIS har mange forskellige anvendelsesmuligheder. På GEUS anvendes GIS bl.a. til

- Fremstilling af digitale geologiske kort
- Analyse af fundne geologiske strukturer
- Areal- og volumenberegninger
- Geografisk visualisering af resultater
- Dannelse af data til brug i modelberegninger
- Beregning af hydrologiske sammenhænge i vandløbsnetværk

Mange af funktionerne og metoderne i GIS kendes også fra andre edb-systemer. Figuren illustrerer overlappet mellem nogle af disse systemer.



### GIS-baseret fremstilling af digitale geologiske kort

Generelt kan man basere et nyt digitalt kort på remote sensing (satellitbilleder og flyfoto), fotogrammetri eller digitalisering (manuelt eller automatisk) af eksisterende kortplaner.

I alle tilfælde må man - efter at have skabt rammerne - tilføje det nye digitale kort et tematisk indhold i form af geologisk information.

### Geologiske kort over Grønland på digital form

De geologiske kort over Grønland fremstilles i dag helt fra grunden med et GIS. Det færdige resultat er derfor ikke alene et trykt papirkort, men også digitale kort og en tilknyttet geologisk database. Arbejdet begynder i mange tilfælde med stereografiske flyfoto, der med fotogrammetriske metoder fører til digitale kortdata. Data overføres til Arc/Info som sammenkobler geometrien med de tilhørende geologiske informationer (attributdata). Skannede kort, flyfoto og database-oplysninger kan lige-

ledes tilføjes, så et sammenhængende GIS-produkt er resultatet.

Der er indtil nu produceret to nye kort med digitalt grundlag i 1:100.000: *60 Ø.1 Nord Lindenow Fjord* og *69 V.1 Syd Uiffaq* samt et nyt kort i 1:500.000: Lambert Land.

Desuden vektoriseres nogle af de tidligere udgivne kort og gøres herefter tilgængelige i GIS format. Indtil nu er oversigtskortet 1:2.500.000 og 12 kort i 1:100.000 serien vektoriseret.

GEUS fremstiller i samarbejde med KMS et digitalt topografisk kortværk over Grønland - "G250 vektor". Kortlægningsafdelingen står for en del af digitaliseringen ud fra flyfoto, mens Afdeling for Malmgeologi om-danner de af KMS samlede kort til et let anvendeligt GIS-format.

Fremstillingen af "G250 vektor" er af væsentlig betydning for at få et digitalt basiskort over Grønland, der kan danne baggrund for bl.a. de geologiske temaer. Status ultimo 2000 er, at ca. 55% af Grønland er dækket (Fig 1).

Afdeling for Malmgeologi har udgivet digitale temakort på 3 CD-ROM fra henholdsvis Inglefield Land (Nordvestgrønland), Wegener Halvø (Østgrønland) og Sydgrønland. De digitale temakort indeholder data om topografi, geologi, geofysiske tolkninger, geokemiske analyser, mineralforekomster, placering af gamle feltkort og et reference-index. De nye data har for Sydgrønland (Fig. 2) ført til en ny og revideret udgave af det geologiske kort i skala 1:500 000.

Fig. 1

De kortblade - "G250 vektor" - som er færdige i GIS-formater til Arc/Info og ArcView.

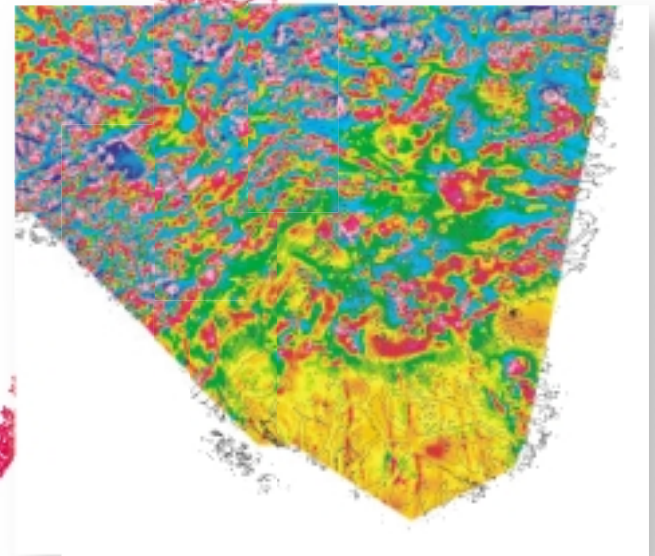
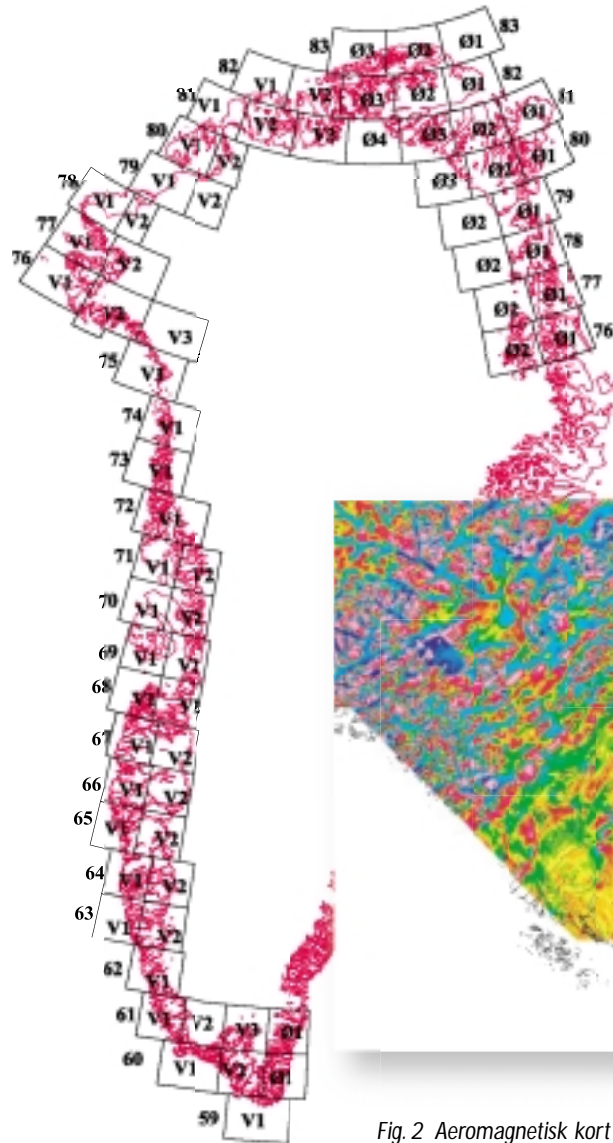


Fig. 2 Aeromagnetisk kort fra Sydgrønlands CD-ROM'en.

I Afdeling for Malmgeologi anvendes GIS i øvrigt til, at registrere udbredelsen af råstofkoncessioner i Grønland samt til at beregne arealernes størrelse i km<sup>2</sup> og sikre, at der ikke er overlap med eksisterende koncessioner.

En miljøkortlægning af Grønlands kyster blev påbegyndt i 1999, idet GEUS i samarbejde med Danmarks Miljøundersøgelser (DMU) og Københavns Universitet udarbejdede et såkaldt "Oliespildsfølsomhedskort" for cirka 15.000 km af Vestgrønlands kyst 62°-68°N nær de områder, hvor olieefterforskningen er begyndt.

(kortet er lagt på Internettet og kan ses på:

[http://www.geus.dk/departments/quaternary-marine-geol/oliespild\\_v\\_gr/atlas.pdf](http://www.geus.dk/departments/quaternary-marine-geol/oliespild_v_gr/atlas.pdf)).

### Geologiske kort over Danmark på digital form

Alle geologiske kort over Danmark og tilgrænsende områder "fødes" i dag på digital form. Nogle af disse kort bliver senere trykt, mens andre udelukkende udkommer på cd-rom. Kortene produceres overvejende i GIS-laboratoriet på GEUS, men også Geofysisk afdeling har i flere år udgivet digitale kort (Fig. 3).

Siden det første fuldt digitalt producerede kort i 1994 kom fra GIS-laboratoriet ("Prækvarteroverfladens højdeforhold"), er der produceret en lang række kort. Især udgivelsen af digitale geologiske jordartskort 1:25.000 (Fig. 4 og side 49) har været omfattende, idet der ved udgangen af år 2000 var udarbejdet hele 368 kortblade i denne serie, som nu dækker ca. 82% af det danske landareal.



Fig. 3  
Seismiske linier på interpoleret rasterkort fra Geofysisk afdeling

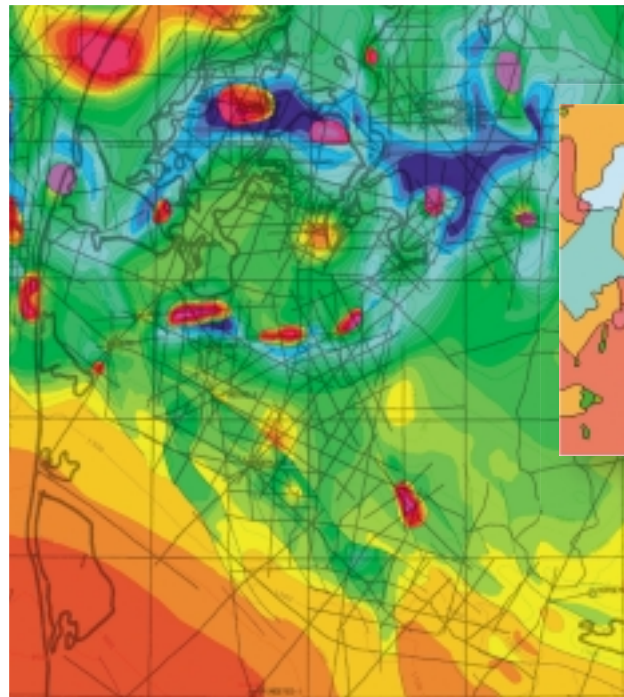


Fig. 4  
Udsnit af Digitalt jordartskort



I september 2000 blev der udgivet en cd-rom med titlen "Digitalt kort over Havbundsmeder omkring Danmark 1:500.000" (Fig. 5). Dette kort blev til gennem den typiske proces, hvor et ældre papirkort indledningsvis digitaliseres for senere at blive rettet og opdateret i et GIS. Data fra GEUS blev suppleret med data fra samarbejdspartnere fra Danmark, Sverige, Tyskland og Polen. Kortet vil senere kunne kombineres med tilsvarende kort over f.eks. den norske del af Nordsøen og den østlige Østersø.

De trykte kort i GEUS' officielle kortserie - senest jordartskortet for Saksøbing og Smålandsfarvandet - fremstilles også ud fra digitale kort, selv om der ofte anvendes andet grafisk værktøj til det endelige layout. GIS-plattformen muliggør her specialkort med særlige temaer (Fig. 6), 3-D virkning eller profiler. Når kort udgives på cd-rom er det en god anledning til at udnytte de særlige muligheder som mediet tillader. Kortet kan gøres "sømløst", så man kan arbejde på tværs af kortbladsgrænser. Ekstra data kan lægges på databasefiler, så de kan anvendes ved evt. beregninger og analyser af kortet. En GIS-viewer (et program med begrænsede GIS-

faciliteter) kan leveres sammen med data til dem, som evt. ikke selv har et GIS. Dette giver rekvirenten mulighed for at kombinere data på en selvvalgt måde eller ændre kortlayoutet. Endelig kan man indlægge såkaldte "hot-links" som ved et "klik" på kortet kan kalde et billede af den udpegede lokalitet frem eller skabe forbindelse til en relevant side på Internettet.

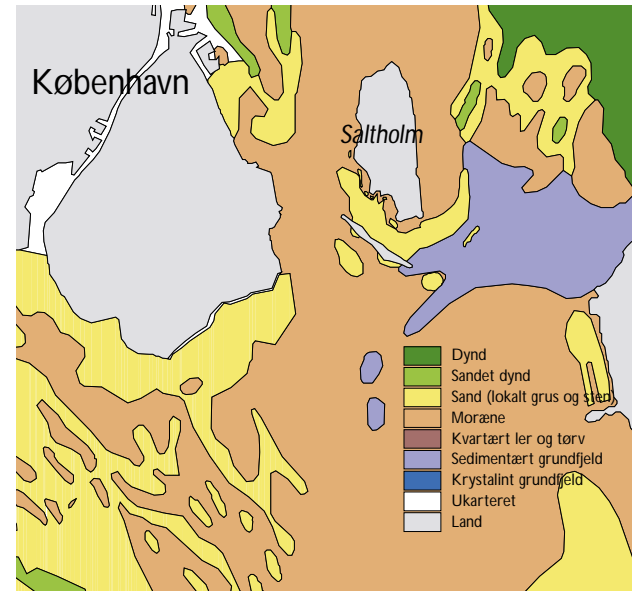


Fig. 5 Digitalt havbundstypekort over sydlige Øresund.



Fig. 6 Dybden til prækvartær overfladen. Udsnit af Saksøbingkortbladet.

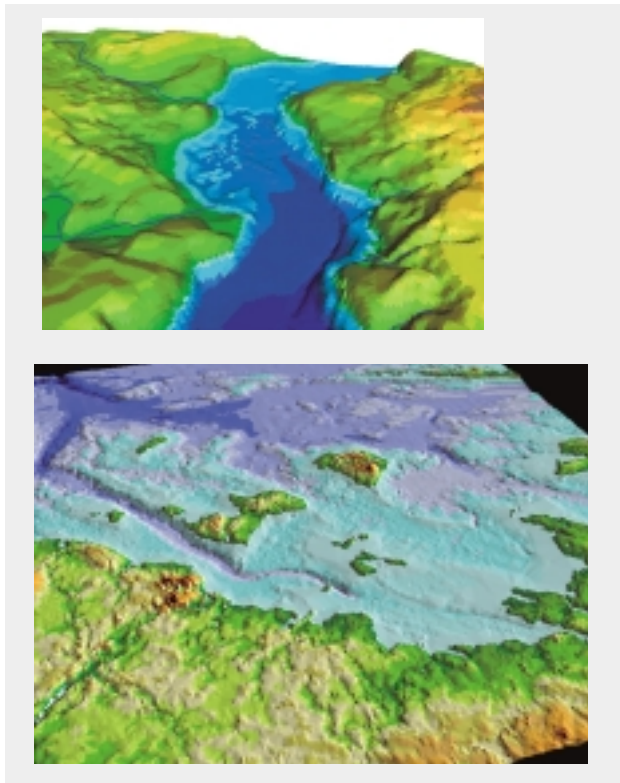


Fig. 7  
 Digital terrænmodel, øverst for Mariager Fjord og nederst for en del af Smålandsfarvandet; her ses Femø, Fejø og Askø midt i billedet.

### Analysér og beregninger

Ofté anvendes GIS til forholdsvis enkle formål så som:

- Koncession- og licensbehandling (kortproduktion og arealberegning)
- Illustration af den geografiske fordeling af indsamlede prøvers forskellige analyseværdier
- Ressourceevaluering baseret på data fra databaser og sammenstillet med GIS
- Afrapporteringer fra feltarbejde (illustrationer)
- Kontrol af prøveindsamlingspunkter (aflæste eller fra GPS - vises på et kort)
- Sammenstilling af korttemaer med satellitdata og flyfoto
- Zonering ud fra boringer, vandløb, skel eller råstofgrave

Andre gange udføres mere komplekse beregninger, hvor især det at fremstille fladedækkende korttemaer ved hjælp af interpolation mellem målepunkter, boringer eller seismik er meget udbredt. Et resultat af en sådan proces kan være en digital højdemodel, som - udover terrænet på jordoverfladen - f.eks. kan afspejle havbundsdybder, prækvartæroverfladen eller grundvandsspejlet (Fig. 7).



### **De anvendte systemer**

De mest anvendte GIS er i dag det professionelle værktøj Arc/Info til produktion og opdatering af digitale kort og ArcView til kortudtegning, illustrationsformål eller enkle beregninger. Der er efterhånden kommet flere udvidelser til ArcView, så også mere komplicerede opgaver kan løses med dette forholdsvis billige og letanvendelige værktøj. Opdelingen mellem Arc/Info og ArcView er nu ved at blive opløst fra producentens side.

MapInfo anvendes især til ukompliceret kortfremstilling - specielt indenfor det maringeologiske område. Geofysikerne anvender et GIS kaldet Z-Map-plus, som er integreret med og skræddersyet til de geofysiske modelværktøjer på Landmark-platforme.

Til remote sensing, billedbehandling o.a. specielle anvendelser har GEUS anskaffet anden software f.eks.:

#### **Geosoft**

geofysiske/geokemiske data

#### **Envi**

remote sensing, hyperspektrale data, satellit data

#### **PCI**

remote sensing, satellit data

#### **Win-Chips**

remote sensing og billedbehandling

Størstedelen af programmerne kan ret uproblematisk udveksle data indbyrdes og med de nævnte GIS.

### **Nye digitale kortdata**

Manglen på digitale korttemaer har i årevis været "flaskehalsen" for udbredelsen af GIS til mange nye emneområder. GEUS har derfor i flere år arbejdet på at fremskaffe nye typer kortdata i samarbejde med det øvrige Miljø- og Energiministerium.

I 2000 øgedes mængden af tilgængelige digitale korttemaer imidlertid betydeligt, idet ministeriet dels købte store digitale kortværker fra KMS og dels selv producerede en række nye kort gennem samarbejdet om Areal Informations Systemet (AIS). (Se websiden: [ais.dmu.dk](http://ais.dmu.dk)).

De fra KMS indkøbte digitale kortværker er Det digitale Matrikelkort (DdM) og TOP10DK. DdM indeholder den officielle, meget detaljerede matrikulære opdeling af landet. TOP10DK er det mest præcise topografiske grundkort over Danmark i 1:10.000, som indeholder omkring 80 forskellige temaer (veje, bygninger, vandløb, kystlinier, højdekurver osv.).

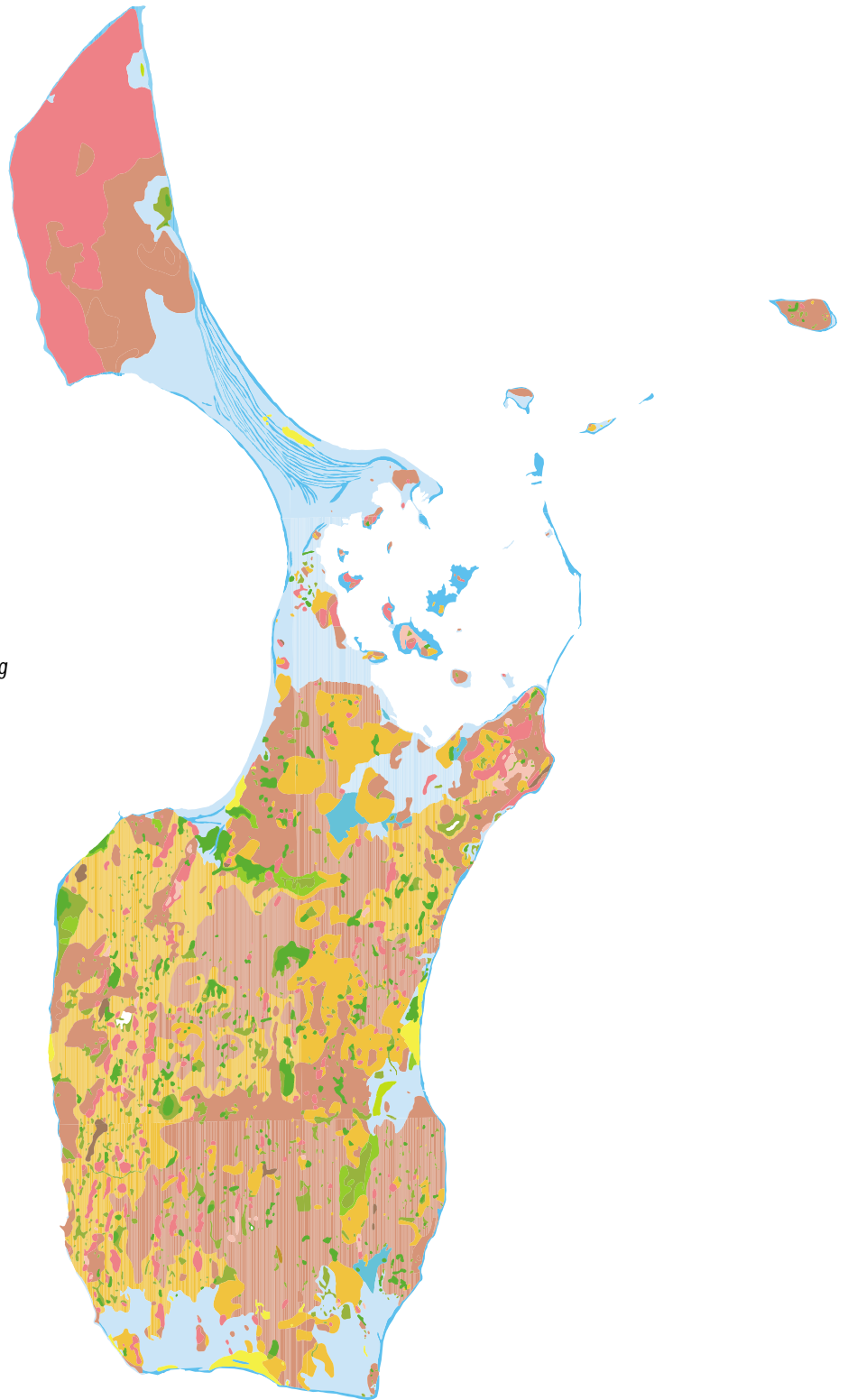
Disse mange nye digitale kort åbner nu op for en hel række nye GIS-anvendelser - såvel inden for kortfremstilling og sagsbehandling som til en bred vifte af forskningsområder.

### **Fremtiden**

Stadig flere af GEUS' resultater og data offentliggøres på Internettet. Det er derfor naturligt også at tilbyde GIS-funktionalitet på nettet. De første GIS-kort er nu tilgængelige og snart vil også adgangen til flere af GEUS' databaser kunne ske via GIS-faciliteter på nettet.

En anden udvikling, der ligger lige for, vil være at have et GIS med på feltarbejdet på en bærbar eller håndholdt PC og kombinere de medbragte kort og geodata med den aktuelle position hentet som en digital koordinat via det satellitbårne GPS (Global Positioning System). En sådan metode vil kunne udstyre geologen med et nyt og nyttigt redskab i felten ikke mindst ved den geologiske kortlægning i Grønland.





.....

*Udsnit af Danmarks Digitale Jordartskort 1 : 25000  
- her omkring Samsø - er genstand for et omfattende salg  
til amter, kommuner og private firmaer.  
I fremtiden vil dette salg kunne ske direkte ved selvbetje-  
ning over Internettet.*



# OVERVÅGNING AF PESTICIDER I GRUNDTVAND

Bo Lindhardt og Jeanne Kjær

*GEUS har gennem de sidste 3 år været projektleder for et overvågningsprogram, der undersøger risikoen for udvaskning af pesticider til ungt grundvand. Formålet med programmet er at følge op på godkendelsesordningen for pesticider. Hvis godkendte pesticider udvaskes til grundvandet i uacceptable koncentrationer, skal resultaterne kunne danne grundlag for Miljøstyrelsens efterfølgende revurdering af de pågældende pesticider.*

## Baggrund

Op gennem 90'erne er der løbende sket en udvidelse af det nationale monitoringsprogram, GRUMO, der overvåger tilstanden af vores grundvand. Der er specielt sket en markant udvidelse af det antal pesticider, der undersøges for. I begyndelsen af 90'erne omfattede GRUMO, 8 pesticider, i dag indgår der 44 stoffer. Overvågningen har vist, at der er sket en væsentlig påvirkning af vores grundvand med pesticider og deres nedbrydningsprodukter. GRUMO programmet omfatter ca. 1.100

filtre fordelt på 67 overvågningsoplande. I 1999 blev der påvist pesticider eller nedbrydningsprodukter i 24% af de undersøgte filtre og i 7% var koncentrationen over grænseværdien for drikkevand, der er på 0,1 µg/l. Siden programmet startede er der påvist pesticider eller nedbrydningsprodukter i 36% af de undersøgte filtre. Igennem hele perioden har der været en heftig debat om kilden til forurening af vores grundvand. Er fundene et resultat af regelret anvendelse af pesticiderne eller er der tale om udvaskning fra punktkilder f.eks. vaskeladser og nedgravet affald? Er det anvendelsen inden for landbruget eller anvendelsen til renholdelse af befæstede arealer, der udgør den største potentielle trussel for grundvandet?

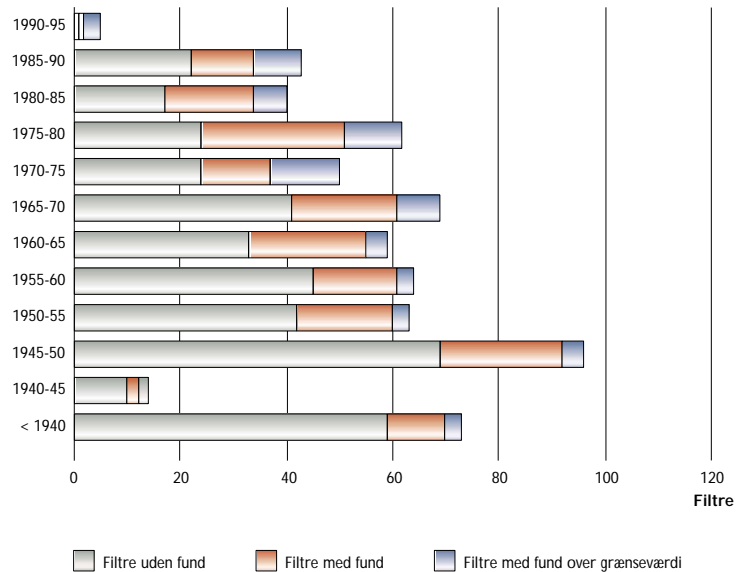
GRUMO programmet har til formål, at give et billede af tilstanden af det danske grundvand. Filtrene i programmet er derfor placeret forholdsvis dybt, og de udtagne vandprøver repræsenterer primært det vand, der indvindes til drikkevand. Størstedelen af det grundvand,

*Udsigt fra Strø Bjerge. Jordartskortlægning var den første opgave, den geologiske undersøgelse fik overdraget i 1888. Hensigten var ikke kun videnskabelig, men kortlægningen skulle være et troværdigt redskab ved taksering af landbrugsjorden, som danner grundlag for beskatning. 4 af 6 forsøgsmarker til bedømmelse af risiko for nedsvivning af pesticider til grundvandet består af lerjord.*

hvori der er påvist pesticider, har vist sig at være mere end 10 år gammelt (Fig. 1). Det er derfor vanskeligt at anvende disse resultater til at vurdere, om der i dag fortsat sker en uacceptabel påvirkning af vores grundvand med f.eks. pesticider. Dels fordi mange af de påviste pesticider er blevet forbudt eller trukket tilbage fra markedet op gennem 90'erne; og dels fordi sprøjtepraksis i tidens løb har ændret sig. I dag er der således en tendens til at anvende noget lavere doseringer pr. hektar.

Resultaterne af grundvands- overvågningen peger imidlertid på, at selv det yngste vand, fra perioden 90-95, er kraftigt påvirket af pesticider, idet ca. 80% af filtrerne indeholder pesticider.

For at sikre, at de pesticider, der i dag anvendes, ikke bliver udvasket til grundvandet i uacceptable koncentrationer, bad Folketinget i sommeren 1998 GEUS, Danmarks Jordbrugs-Forskning (DJF), Danmarks Miljøundersøgelser (DMU) og Miljøstyrelsen om i samarbejde at etablere et overvågningsprogram, hvor udvaskningen af pesticider fra en række marker følges.



**Fig. 1**  
Fund af pesticider og deres nedbrydningsprodukter i GRUMO filtre opdelt efter vandets alder. I hver periode er der skelnet mellem filtre uden fund, filtre med fund over detektionsgrænsen på 0,01 µg/l og med filtre med fund større end eller lig med 0,1 µg/l. Vandets alder er bestemt ud fra indholdet af CFC gasserne Freon 11 og 12 (GRUMO, 2000).





Fig. 2  
Placeringen af de 6 marker  
der indgår i programmet.

## Formål

Det efterordnede formål med "Varslingssystem for udvaskning af pesticider til grundvand" er at undersøge om godkendte pesticider eller deres nedbrydningsprodukter - ved regelret brug - bliver udvasket til grundvand i uacceptable koncentrationer. I fald en sådan situation skulle opstå, skal resultaterne fra "Varslingssystemet" kunne danne grundlag for Miljøstyrelsens efterfølgende revurdering af de pågældende pesticider. Det er i denne forbindelse væsentligt, at stedfæste om en uacceptabel udvaskning kan sættes i forbindelse med en regelret anvendelse inden for den enkelte forsøgslokalitet.

Arbejdet med etableringen af forsøgsmarkerne begyndte i vinteren 1998/foråret 1999 og blev afsluttet ultimo 1999. Driften af den første mark startede i foråret 1999.

## Udvælgelse af marker

Programmet omfatter 6 marker på mellem 1,1 og 2,6 ha, der repræsenterer forskellige typer af geologi. To af områderne er placeret på henholdsvis en grovsandet og en finsandet aflejring, mens de sidste 4 er placeret på morænelers aflejringer. I alle områder ligger grundvandsspejlet

forholdsvis nær ved jordoverfladen, mellem to og fem meter under terræn.

Et krav til de lerede marker har været, at der er et velafgrænset drænsystem, som dækker hele marken. Det har således været nødvendigt at etablere omfangsdræn samt ændre drænene omkring selve afløbet. For at undgå menneskeskabte "sprækker" er det tilstræbt ikke at foretage gravearbejdet på selve marken, hvorfra udvaskningen undersøges, men kun i randområdet uden om marken.

Områderne er placeret således, at der tages hensyn til de klimatiske variationer i Danmark, specielt med hensyn til nedbørsforhold. Tre af markerne ligger således i områder med relativt høj nedbør, mens de øvrige tre marker ligger i områder med en lav til middel nedbør (Fig. 2).

Forsøgsområderne er beskrevet grundigt med hensyn til jordbundsprofiler, geologi og hydrogeologi. Jordbund og geologi er beskrevet således, at det er muligt at udføre modelberegninger af udvaskningsforholdene.

## Drift

Markerne bliver drevet som traditionelt landbrug med hensyn til sædskifte og jordbehandling. Programmet omfatter kun egentlig planteavl og sædskifterne omfatter vår- og vinterkorn, roer, majs, kartofler og ærter. For hver enkelt afgrøde er der opstillet en behandlingsplan med hensyn til ukrudt, insekter og svampe. I alt er det planlagt at inddrage 24 pesticider inden for de 3 først år.

De 24 stoffer er udvalgt af Miljøstyrelsen, og pesticiderne er udvalgt på baggrund af følgende kriterier: størrelsen af forbruget i Danmark, mistanke om at der sker en uacceptabel udvaskning, samt stoffer hvor den tilladte dosis er nedsat inden for de sidste år.

## Instrumentering

De enkelte lokaliteter er instrumenteret så ens som muligt under hensyntagen til de lokale geologiske forhold. Instrumenteringen består af:

- Grundvandsstationer i form af pejle- og prøvetagningsboringer.
- Sugeceller til udtagning af porevandsprøver i henholdsvis en og to meter under terræn
- Drænvandsstationer til opsamling af drænvand (kun de lerede marker)
- Vandret placerede filtre ca. 3.5 meter under terræn (kun de lerede marker)
- TDR-prober ned til to meter under terræn til måling af porevandsindholdet
- Nedbørsstation, hvor nedbørsdata opsamles en gang i timen

På Fig. 3 er der vist en principskitse af instrumenteringen af en leret forsøgsmark. Uden om selve den mark der behandles, er der etableret en 10 m bred "sprøjtefri" randzone beplantet med permanent græs eller læhegn. Alle installationer og udgravninger er placeret i denne randzone.

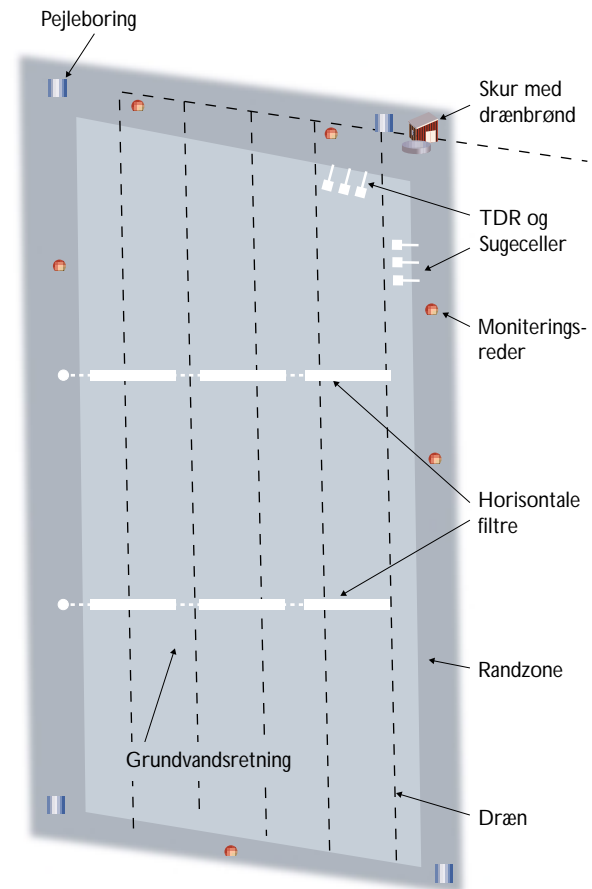
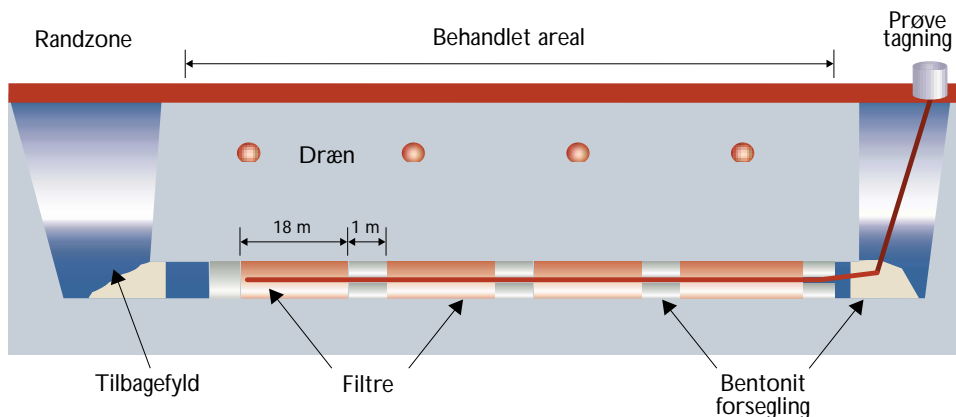


Fig. 3  
Skitse af instrumentering  
af en leret mark.



Figur 4.  
Princippet for etableringen af en vandret placeret monitoringsboring.

Brugen af vandret placerede filtre er en ny teknik. Ved hjælp af denne teknik er det muligt at styre en boring vandret ind under forsøgsmarken og anbringe 18 meter lange filtre ca. 3,5 meter under jordoverfladen. Formålet med disse filtre er at få en optimal opsamling af det vand, der siver forbi dræne og som udgør det nydannede grundvand, (Fig. 4).

### Analyseprogram

Analyse programmet omfatter de anvendte pesticider samt relevante nedbrydningsprodukter. Der analyseres tillige for udvalgte uorganiske parametre, der beskriver udviklingen i grundvandskvaliteten. Hyppigheden af analyserne skal være tilstrækkelig høj til at kunne belyse variationer i koncentrationen af de relevante stoffer i drænvand og grundvand. Det vil for dræn sige, at der kontinuert opsamles prøver, når dræne er vandførende. Hver uge hældes prøverne sammen så der analy-

seres på en samlet prøve pr. uge. Fra sugecellerne samt udvalgte grundvandsfiltre bliver der udtaget prøver en gang pr. måned. Fire gange om året bliver denne prøvetagning suppleret med en mere omfattende prøvetagning, hvor der udtages og analyseres vand fra et større antal filtre.

### Udvaskning af pesticider fra kartoffeldyrkning

Sandlokaliteten ved Tylstrup var den første mark, der blev instrumenteret. Arbejdet var færdigt, således at der kunne dyrkes afgrøder i sommeren 1999. I det følgende gives der en kort beskrivelse af området og udvaskningen det første år.

Forsøgsmarken ligger i Nordjylland på Tylstrup Forsøgsstation, DJF. Det dyrkede areal er 70 m bredt og 166 m langt og dækker således 1,1 ha. Der er læhegn langs den østlige og vestlige side af marken. Marken er beliggende på hævet havbund dannet da Yoldiahavet dækkede Vendsyssel i perioden 15.000-13.000 år før nu. Aflejringerne består hovedsageligt af fint sand, der bliver siltet med dybden. I markens nordøstlige del forekommer mindre indslag af ler og silt. De marine aflejringer er sandsynligvis omkring 20 m tykke, og hviler på smeltevandssand. Den domine-

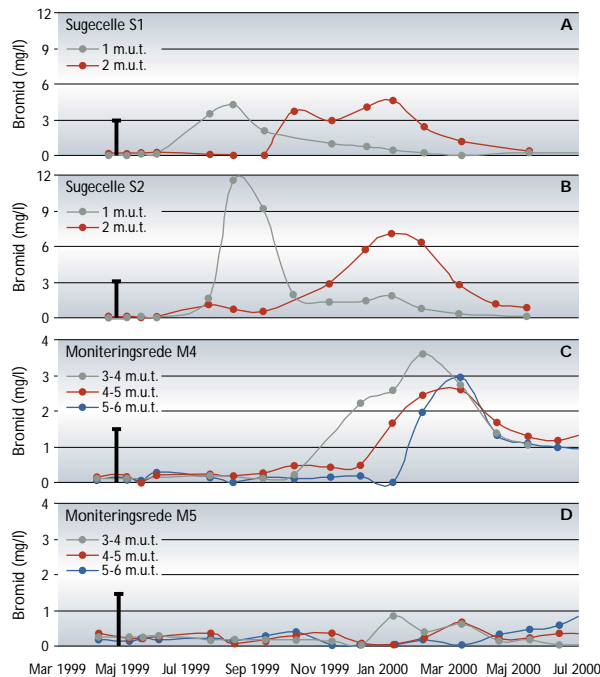


Fig. 5  
 Koncentration af bromid i den umættede zone (A og B) og i grundvandet nedstrøms forsøgsarealet i de 2 monitoringsreder (C og D).  
 De lodrette søjler angiver udbringningstidspunktet for bromid.

rende kornstørrelse er finsand med 35 % i pløjelaget stigende til 70% i 150 cm dybde. Derudover er der ca. 5% ler og 2% total organisk kulstof i pløjelaget. Grundvandets strømningsretningen er mod vest (vestlig), og vandspejlet har i perioden maj 1999 frem til juli 2000 ligget mellem 3,5 og 4,2 meter under terræn.

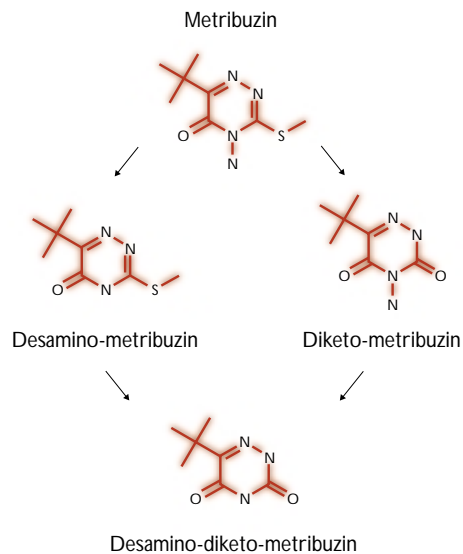
Den første afgrøde der indgår i dette program er industri kartofler. Der er overvåget for tre af de pesticider, som er anvendt i forbindelse med dyrkningen af kartoflerne; linuron, metribuzin og mancozeb. Til at kortlægge vandtransporten er der endvidere udbragt et konservativt sporstof (Kaliumbromid) sammen med den første sprøjtning.

#### Udvaskning af sporstof

Den første sprøjtning mod ukrudt blev foretaget sidst i maj, samtidig hermed blev der udbragt sporstof (Kaliumbromid). I august blev der observeret det første tegn på udvaskningen af bromid til sugecellerne i en meters dybde, og koncentrationen af bromid toppede i løbet af september (Fig. 5). Udvaskningen til to meters dybde startede for alvor i november/december, og udvaskning fortsatte henover vinteren.



Fig. 6  
Nedbrydningsvejen for  
metribuzin.



I grundvandet er der kun set forhøjede bromid koncentrationer i én af de 4 monitoringsboringer, som er placeret nedstrøms marken. Her stiger bromid koncentration i alle de filtre, hvor der udtages prøver dvs. ned til 6 meter under terræn. Det hurtige gennembrud i denne boring, i forhold til de øvrige boringer nedstrøms og sugecellerne, som er placeret henholdsvis i 1 og 2 meter under terræn, peger på, at der muligvis forekommer præferentiel strømning (dvs. hurtig vandtransport i macropore såsom sprækker og ormegange) i den umættede zone på dele af marken.

#### Udvaskning af pesticider

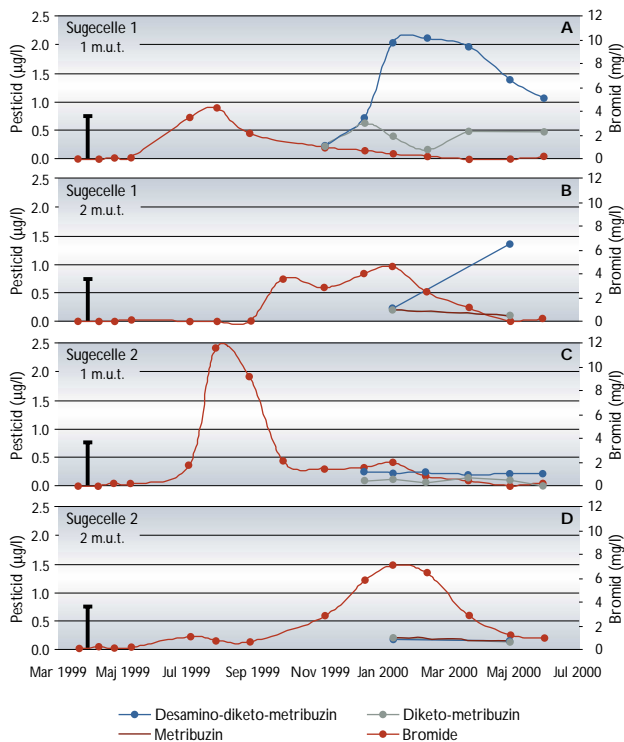
I løbet af dyrkningsæsonen 1999 er der anvendt 4 pesticider på marken, hvor udvaskningen af de 3 er fulgt:

*Mancozeb*, som er aktivstoffet i Dithane DG, et svampemiddel mod kartoffelskimmel. Det er udbragt 10 gange i perioden juni til september, hver gang med 2 kg/ha. Mancozeb hydrolyseres relativt hurtigt, hvorfor det i sig selv ikke udgør en risiko for grundvandet. Ved nedbrydning dannes imidlertid ETU (ethylenethiourea) som et mellemprodukt. Der har været rejst tvivl om ETU nedbrydes tilstrækkeligt hurtigt under danske forhold til ikke at udgøre en risiko for grundvandet. ETU forventes ikke at sorbere til hverken jorden eller sedimenterne i grundvandszonen, derfor transporteres det givetvis med samme hastighed som bromiden. På Tylstrup lokaliteten er der kun påvist ETU i enkelte prøver fra sugecellerne. De fundne koncentrationer lå i niveauet 0,03 µg/l, hvilket således

ligger under den tilladte grænseværdi på 0.1 µg/l.

*Linuron* som er aktivstoffet i ukrudtsmidlet *Afalon* er udbragt en gang med et kg/ha. Linuron er ikke målt i nogen af de udtagne prøver. Stoffet sorberer relativt kraftigt og transporteres derfor væsentligt langsommere end bromid. En endelig konklusion vedrørende udvaskningen af linuron må derfor afvente de næste års resultater.

*Metribuzin*, som er aktivstoffet i ukrudtsmidlet *Sencor*, forventes at være relativt mobilt. Foruden selve stoffet kan der også ske en udvaskning af de tre nedbrydningsprodukter (figur 6). Udover i to prøver fra sugecellerne er der ikke registreret udvaskning af metribuzin. Derimod er der i prøver fra alle fire grupper af



*Fig. 7*  
 Koncentrationen af desamino-diketo-metribuzin, di-  
 keto-metribuzin og bromid i sugeceller

sugeceller, målt indhold af nedbrydningsprodukter diketo-metribuzin og desamino-diketo-metribuzin. Der er ikke registreret indhold af desamino-metribuzin.

Koncentrationsniveauet for de to nedbrydningsprodukter varierer væsentligt imellem sugecellegrupperne. Desamino-diketo-metribuzin forekommer i koncentrationer op til 2,1 µg/l, hvorimod den maksimale koncentration af diketo-metribuzin er 0,7 µg/l. Til sammenligning skal det siges, at den tilladte grænseværdi er 0.1 µg/l.

I den ene gruppe af sugeceller (en meter under terræn) ses starten på gennembruddet af desamino-diketo-metribuzin i december 1999, tre til fire måneder efter bromid (Fig. 7A). I den anden gruppe af sugeceller (en meter under terræn) forekommer et mindre markant gennembrud, hvor koncentrationen igennem hele vinteren 1999/2000 lå omkring 0,2 µg/l (Fig. 7C). Gennembruddet i 2 meters dybde forekommer noget senere og koncentrationsniveauet er her noget lavere (Fig. 7B og 7D). Hvorvidt det lavere koncentrationsniveau skyldes en yderligere nedbrydning eller blot en udjævning af top-

pen vides endnu ikke. Det bør bemærkes, at der kun udtages prøver fire gang pr. år fra disse, mens der i sugecellerne i en meters dybde udtages prøver hver måned.

I grundvandet ses en hyppig forekomst af diketo-metribuzin og desamino-diketo-metribuzin. De forekommer i alle de filtre, hvor der er målt for dem, dog med varierende koncentrationer på op til 0,33 µg/l. De højeste koncentrationer forekommer i de to dybeste filtre i monitoringsreden M6. Disse to filtre er ikke påvirket med bromid, derfor stammer disse nedbrydningsprodukter givetvis fra tidligere behandlinger med metribuzin. Selve marken har da også gennem de sidste 10 år været behandlet fire gang med Sencor, sidste gang i 1994. Endvidere kan der også være foregået sprøjtninger med Sencor på marker opstrøms forsøgsarealet. At nedbrydningsprodukter i grundvandet stammer fra en tidligere behandling underbygges af, at de allerede var i grundvandet, før anvendelsen i maj 1999.

### **Foreløbig konklusion**

Ud fra det første års monitoring på Tylstrup lokaliteten kan der drages følgende konklusioner:

Det anvendte monitoringskoncept vurderes at være velegnet til at følge udvaskningen af pesticider eller deres nedbrydningsprodukter på denne mark. Det har således været muligt at erkende de varierende strømningssforhold, der forekommer i en ellers relativt homogen sandformation. Der skal dog ske en udbygning med dybere filtre, så der kan måles på det grundvand, der forekommer mere end 6 meter under terræn.

Inden for det første år er der ikke set tegn på udvaskning af ETU, et mobilt nedbrydningsprodukt fra mancozeb eller af linuron. Sidstnævnte stof er imidlertid relativt stærkt sorberende, og transporteres derfor langsomt. En endelig konklusion vedrørende udvaskningen af linuron må derfor afvente de næste års resultater.

To nedbrydningsprodukter fra metribuzin; diketo-metribuzin og desamino-diketo-metribuzin udvaskes til 1 m dybde i koncentrationer der ligger væsentligt over 0,1 µg/l. Selv i 2 m dybde forekommer disse stoffer i koncentrationer over 0,1 µg/l. Det vurderes at nedbrydningsprodukterne endnu ikke er nået ned til grundvandet som findes i tre til fire meters dybde.

Tidligere behandling med metribuzin har imidlertid givet anledning til en vis grundvandsforurening. Specielt diketo-metribuzin forekommer i høje koncentrationer op til 0,33 µg/l.

Overvågningen foregår stadig, og det er derfor for tidligt at komme med en endelig konklusion. Før en sådan kan drages, vil det tillige være nødvendigt med en grundig bedømmelse af resultaterne, bl.a. gennem modelsimulering af udvaskningen.





Hvalsø kirkeruin i Østerbygden i Sydgrønland med udsigt i sydlig retning til Hvalsøfjord (Qaqortup Ima) nordøst for Julianehåb. Den kortfattede beretning om et bryllup som stod i denne kirke, nærmest et telegram fra fortiden, er det sidste skriftlige vidnesbyrd om Nordboernes liv i Grønland. Siden har kun arkæologiske udgravninger og nu også geologiske undersøgelser kastet lys over de tiltagende barske livsbetingelser, som Nordboerne havde at kæmpe med; desuden er der grønlandske sagn og myter, hvor der optræder norrøne grønlædere.

## NORDBOERNES LIVSGRUNDLAG I SYDVEST GRØNLAND

Naja Mikkelsen og Antoon Kuijpers

*"Tusinde og firehundrede otte år efter Vor Herre Jesu Kristi fødsel vare vi nærværende, så og påhørte på Hvalsøy på Grønland, at Sigrid Bjørnsdatter giftedes med Thorstein Olafson". Således står det lakonisk skrevet i de Islandske kilder, der beretter om Nordboernes liv i Grønland. Brylluppet fandt sted 'første søndag efter Korsmesse' den 14. September 1408. Beretningen er den sidste sikre efterretning fra det Norrøne Grønland. Herefter tier alle skriftlige kilder om Nordboernes videre skæbne i Grønland, hvor de i godt 500 år forsøgte at opretholde et europæisk samfund under de ugæstfrie vilkår.*

### Historisk baggrund

Mennesker i Arktis har altid levet på grænsen af det mulige. Klimaet har før i tiden haft en væsentlig indflydelse på muligheden for at overleve under de arktiske forhold – men også befolkningernes kulturelle baggrund og tilpasningsevne har haft en afgørende betydning. Det er således slående at se, hvordan to kulturer repræsenteret ved henholdsvis den traditionelle arktiske Inuit kultur og Nordboernes

europæiske kultur indrettede sig helt forskelligt under de samme naturgivne rammer i Grønland - og hvorledes de klarede sig i det lange løb. Nordboerne slog sig ned som jordbrugere og kvægholdere og forsøgte dermed at videreføre en europæisk livsstil under de barske arktiske forhold. Til forskel herfra var de oprindelige Inuitter fangere, som fulgte deres jagt dyr og indrettede sig på naturens præmisser i Grønland. Mens Inuitterne over-

levede, kæmpede Nordboerne en forgæves kamp for at opretholde en europæiske civilisation højt mod nord.

Fra islandske sagaer og arkæologiske vidnesbyrd fremgår det, at vikingerne og deres efterkommere, Nordboerne, kom til Grønlands sydvestkyst omkring år 985. De islandske sagaer giver et levende billede af Nordboernes Landnám og efterfølgende 500 årige bosættelse i Grønland.



Fig. 1

Nordboernes Landnámsgårde blev i løbet af den Norrøne periode udbygget til små samfund, hvor der ofte var tilknyttet en lille kirke. Hjemmemarkerne (tunet) omkring gårdene blev intensivt dyrket med henblik på produktion af vinterfoder til husdyr og kvæg, som om sommeren var på græs i fjeldene. Illustrationen, der stammer fra Jens Rosing's bog "Ting og undere i Grønland", gengiver en sensommerdag ved gårdkomplekset Sandnes i Vesterbygden. (Akvarel Jens Rosing)



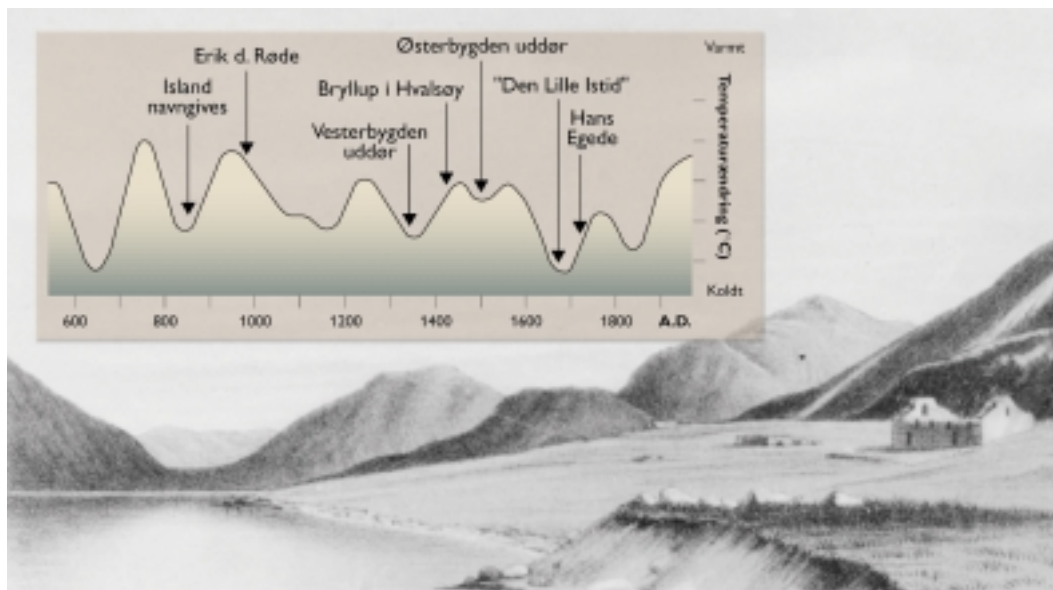
Men med de islandske kilders beskrivelse af brylluppet i 1408 forstummer alle skriftlige vidensbyrd, og Nordboernes videre skæbne er ukendt. Gravfund tyder dog på, at de levede i Grønland til omkring 1500. Gisninger og teorier om årsagen til Nordboernes forsvinden er mange. Det er ikke utænkeligt, at en klimaforværring, der satte ind om-

kring 1300, spillede en rolle. Sociale og samfundsmæssige forhold har også haft en betydning, idet den livsvigtige samhandel med Norge kan være reduceret eller ophørt bl.a. på grund af hyppigere storme i Nordatlanten og tiltagende isdannelser omkring Grønland. Klimaforværringen plagede med forskellig styrke det grønlandske og nord-

europæiske samfund og kulminerede omkring 1650 med den såkaldte "Lille istid", hvor store dele af Nordeuropa var ramt af hungersnød. Nordboernes forsvinden fra Grønland kædes også sammen med mulige udbrud af epidemier som følge af kontakt med europæiske handelsmænd, indbyrdes ufred, krige med indtrængende Inuit grupper

Fig. 2

Hvalsø Kirke i Sydvestgrønland er en af de smukkeste og bedst bevarede ruiner fra Nordboernes 500-årige bosættelse i Grønland. Ifølge de sidste skriftlige beretninger om Nordboerne liv i Grønland fandt et stort bryllup sted i denne kirke i 1408. Indsat er en klimakurve fra W. Dansgaards bog "Vejr og Klima", der viser Grønlands nyere klimahistorie baseret på isotopdata fra iskerner fra Grønlands indlandsis. Mange historiske begivenheder kan sammenkædes med observerede klimaændringer. Island blev således navngivet i en kuldeperiode, mens Erik den Røde i år 985 kaldte det land han kom til for Grønland. På det tidspunkt var det relativt varmt i Grønland, hvilket muliggjorde Nordboernes bosætning af landet. Nordboernes Vesterbygd i Godthåbsfjorden uddøde omkring 1350. Dette skete samtidig med at 'Middelaldervarmen' afløstes af en kuldeperiode, der kulminerede omkring 1650 med den såkaldte 'Lille Istid'. Da Hans Egede kom til Grønland i 1721 for at missionere, var de sidste Nordboerne forsvundet fra landet.



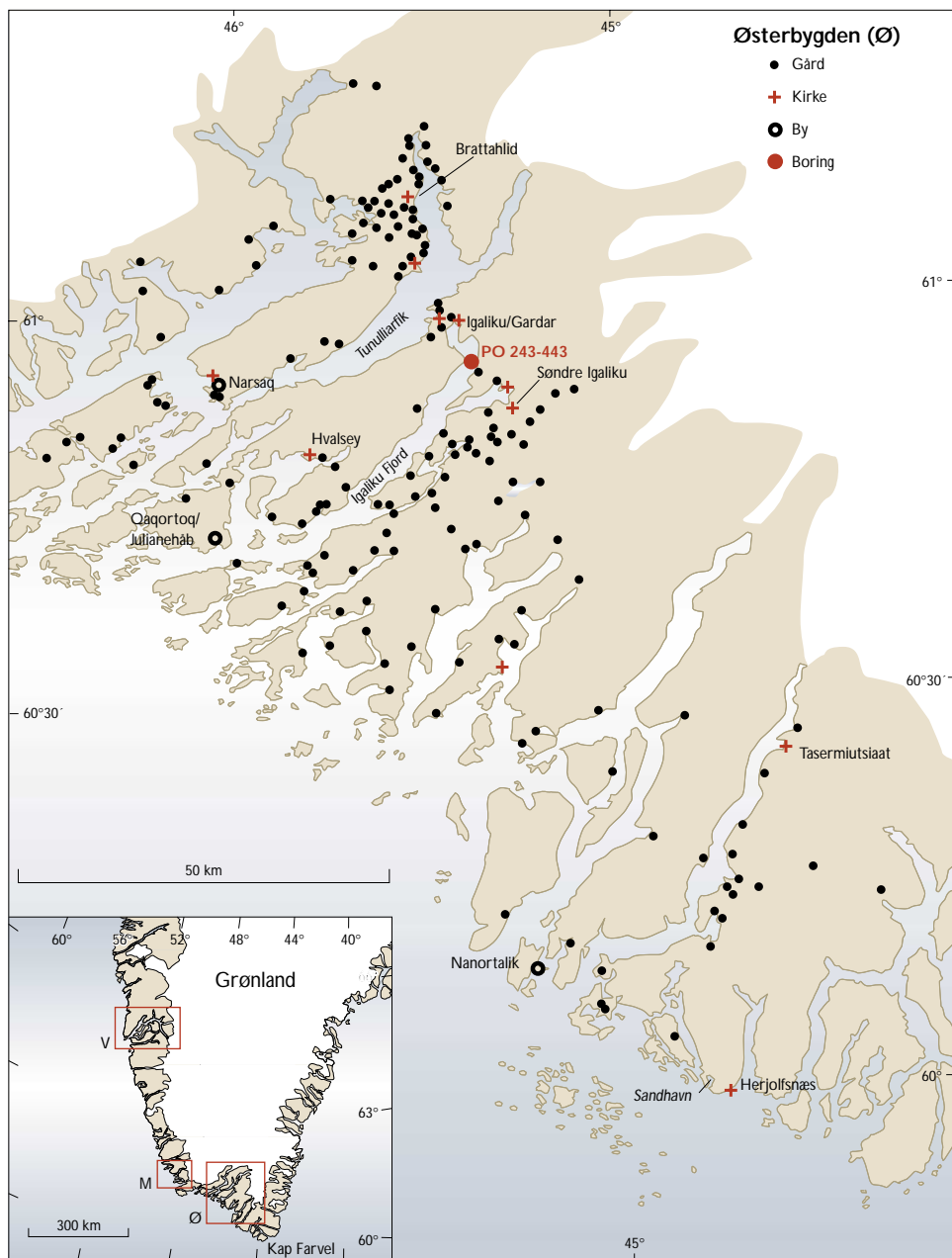


Fig. 3  
 Vikingerne var på mange måder opdagelses-  
 rejsende, som via rejser og bosættelserne i det  
 Centraleuropæiske og Nordatlantiske område  
 stimulerede til politiske ændringer i Europa og  
 til opdagelsen af Nord Amerika. De nordiske  
 vikinger kom via Island til Grønland, hvor de  
 bosatte sig på Vestkysten i de frodige fjord-  
 komplekser kaldet Østerbygden (Ø) længst  
 mod syd, i Vesterbygden i det dybe Godthåbs-  
 fjordsystem (V) samt i Mellebygden (M). På  
 kortet er angivet placeringen af sedimentker-  
 nen, som er analyseret med henblik på at be-  
 lyse lokale og regionale klimavariationer og  
 ændringer i naturgivne forhold i de af Nordbo-  
 erne tidligere bosatte områder. Sandhavn er  
 en stor naturlig havn, som formodes at være  
 det første anløbssted for norske og islandske  
 handelsskibe efter rejsen over Atlanterhavet.





og sørøveri fra engelske og irske søfarende. Mest sandsynligt er det dog nok, at Nordboernes forsvinden skal ses som en kombination af flere faktorer - hvori også indgår den mulighed, at Nordboerne drog fra Grønland til enten Island eller Amerika på samme måde, som de oprindeligt var kommet dertil i 985. Det er imidlertid et faktum, at Nordboerne var forsvundet fra Grønland, da Hans Egede kom dertil i 1721 for at genoptage den kristne forkyndelse blandt det europæiske folk, som også den romerske Pave gennem en endnu eksisterende brevveksling havde vist interesse for.

### **Nordboernes livsgrundlag**

I tusindåret efter Kristi fødsel gik det globale klima ind i en relativt kortvarig men stabil varmeperiode kaldet Middelaldevarmen. Denne varme gjorde det muligt for Erik den Røde i 985 at bosætte sig i Grønland, hvor han anlagde gården Bratthalid i bunden af en af de frodige og lune fjorde i sydvest Grønland. Snart kom også andre tilflyttere fra Island, hvor der efterhånden var mangel på jord og hvortil rygterne var nået om de frodige græsmarker og rige fangstmuligheder i Grønland. Indvandringen fra Island tog til, og der opstod tre nordbo-

bygder på Grønlands vestkyst. Den største bygd, Østerbygden, var centreret omkring den nuværende Tunulliarfik og Igaliku Fjorde i sydvest Grønland. Vesterbygden lå i bunden af Godthåbsfjorden, og endelig fandtes den mindre Mellebygden i området omkring den nuværende Ivigtut. Da Nordboer kolonisationen var på sit højeste anslås ud fra størrelse og antal af nordbogårde, at der har været mellem 3000 og 5000 Nordboere i Grønland, hvilket omtrent svarer til indbyggerantallet i København på samme tid. Nordboerne var fordelt på ca. 190 større gårde i Østerbygden, som også omfattede 14 kirker, et bispesæde og to klostre. Dertil kom 90 større gårde og 4 kirker i Vesterbygden samt et mindre antal gårde i Mellebygden.

Til forskel fra Inuitterne var Nordboerne bofaste. De havde etableret sig på gårde i bunden af fjordene, hvor klimaet var mildere end ude ved de åbne kyster. Nordboernes livsgrundlag var kvæg- og fåreavl, hvilket krævede store mængder hør til husdyrfoder om vinteren. For at optimere græsproduktionen etablerede nordboerne sindrige vandingssystemer, der om sommeren overrislede markerne omkring gårdene, mens kvæget

var drevet til fjelds for at græsse. Nordboerne levede dog ikke udelukkende af husdyravl. I Kongespejlet fra 1220 fortælles det, at forholdene ikke tillod dyrkning af korn, men at Nordboerne trods alt kunne leve af deres kreaturer og får, og at de lavede ost og smør af mælken fra deres mange husdyr. Samtidig supplerede de kosten med svin, hval, sæl og bjørn, et udsagn der stemmer overens med knoglefund i Nordboernes køkkenmøddinger.

Da Nordboerne etablerede sig i Østerbygden omkring år 1000 levede landets oprindelige befolkning, Inuitterne, langt nordligere i Grønland. I den første del af den Norrøne periode mødtes de to befolkningsgrupper derfor kun sjældent, og kun når Nordboerne under deres sommerrejser sejlede mod nord for at skaffe skind og narhval tænder, som indgik i byttehandelen med de norske købmænd. Den forholdsvist varme periode, der karakteriserede tiden omkring Nordboernes Landnám, blev afløst omkring år 1300 af en klimaforværring, som gjorde det vanskeligt for islandske og norske forsyningskibe at nå det Norrøne Grønland med de for Nordboerne livsnødvendige varer.

Samtidig begyndte Nordboerne at få problemer med Grønlands oprindelige befolkning, Inuitterne. Efter at Inuitterne havde været fraværende på Grønlands sydvest kyst i flere århundreder, fulgte de med den tiltagende kulde deres jagt dyr mod syd og kom således til de områder, hvor Nordboerne havde etableret sig.

Tilsyneladende har kulturmødet mellem Inuitter og Nordboer ikke altid forløbet lige fredeligt. Bispesædet i Østerbygden fik således omkring 1350 melding om, at den nordlige Vesterbygd havde behov for hjælp til at bortdrive de indtrængende Inuitter, som af Nordboerne blev kaldt 'Skrællinger'. En kirkelig udsending, Ivar Bårdsøn, drog derfor af sted for at hjælpe dette nordlige kirkesamfund, men bortset fra nogle få fritgående husdyr lå Vesterbygden ifølge de islandske sagaer øde ved Bårdsøns ankomst. Tages de islandske sagaer til indtægt er det sandsynligt, at det i højere grad var Skrællingerne, som var årsag til Vesterbygdens uddøen end den tiltagende klimaforværring.

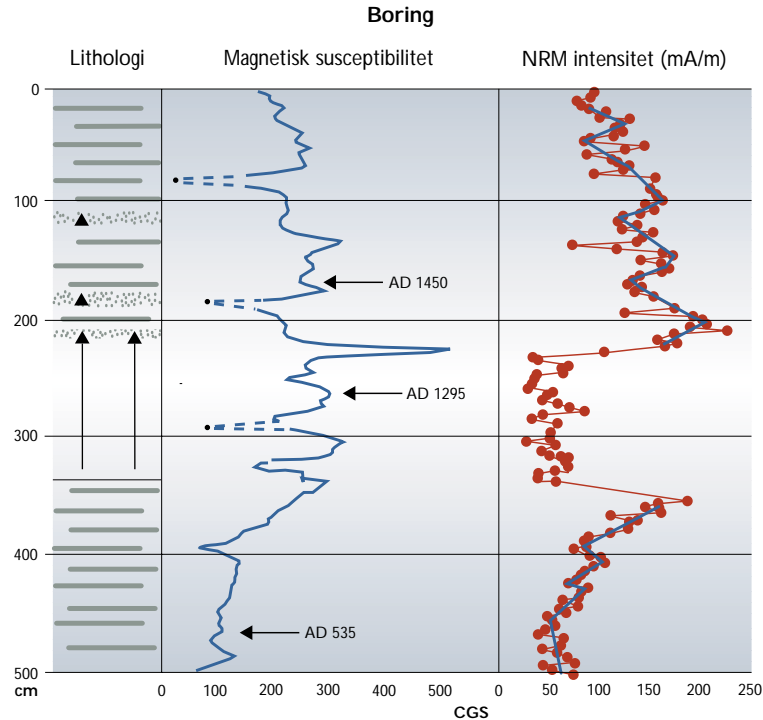


Fig. 4 Under en marinegeologisk ekspedition i 1998 i Østerbygdens fjordsystemer blev der taget sedimentkerner, som har dannet grundlag for indledende undersøgelser af klimaudviklingen i Nordboernes Landnámsområder. Sedimentkerne fra Igaliku Fjorden (Nordboernes Ejnarsfjord) viser en simplificeret lithologisk log, magnetisk susceptibilitet og naturlig remanent magnetisering (NRM). Den almindelige fjord-sedimentation er repræsenteret ved et homogent og meget finkornet lersediment, som i visse intervaller er afbrudt af grovkornede turbiditter (angivet ved pile). Turbiditter skyldes instabiliteter i de omgivende kystmiljøer, som har været påvirket af den tiltagende atmosfæriske vindaktivitet og havcirkulation ved overgangen fra Middelaldervarmen til Den Lille Istid. Dateringer viser, at en af de markante grovkornede sekvenser stammer fra en periode efter 1200 e. Kr.

### **Geologisk udforskning af Nordboernes livsgrundlag**

Nordboernes liv og færden har altid været omgærdet med interesse. Dette kan skyldes, at Nordboerne i 500 år var både de nordligste og vestligste repræsentanter for det europæiske samfund og den kristne kultur. Samtidig er den Norrøne kultur det eneste eksempel på et højt udviklet, vesteuropæisk samfund, som i historisk tid er gået til grunde uden at historiske kilder kan berette om årsagen til samfundets forsvinden og videre skæbne.

Som følge af interessen for Nordboerne er der siden 1920'erne foretaget en del arkæologiske udgravninger i Nordbobygderne, som har givet et uvurderligt billede af dagliglivet i det nordlige middelaldersamfund. Et kendt eksempel på dette er de smukke og velbevarede klædedragter, som i 1924 blev fremdraget af de permafrosne grave ved Herjolfsnæs.

De arkæologiske informationer om dagliglivet i de norrøne samfund er blevet suppleret med en række data om klimaet, som bl.a. findes i iskerner fra borer på Indlandsisen i Grønland. Disse data giver en fin oversigt over fortidens generelle klimaforhold

i det nordatlantiske område men ikke så megen information om lokale klimavariationer i de grønlandske fjorde, hvor Nordboerne levede.

Et forskningsprojekt blev derfor iværksat for at indsamle data, som i detaljer kunne belyse ændringer i nordboernes naturgivne rammer, ikke mindst ændringerne i klimaet. GEUS gennemførte i sommeren 1998 og 1999 marinegeologiske togter i Østerbygdens fjordkompleks i Sydgrønland, hvor der i samarbejde med en række nationale og internationale kolleger blev indsamlet sedimentkerner og geofysiske data.

Baseret på mikropaleontologiske og sedimentologiske analyser af prøver fra de indsamlede sedimentkerner har det været muligt at danne sig et billede af klimaændringerne i Østerbygdens fjordområder gennem de sidste 1000 år. Analyserne viser, at vindstresset over Sydgrønland voksede i løbet af middelalderens varmepæode og kulminerede med overgangen til Den Lille Istid. Parallelt med den tiltagende atmosfæriske cirkulation tiltog omrøringen i fjordens vandmasser. Dette øgede den marine produktivitet, hvilket gav Nordboerne mulighed for at

supplere deres traditionelle føde med fangst fra fjordene. I en årrække blev det fremført som en mulighed, at Nordboerne uddøde som følge af deres manglende vilje og formåen til at omstille sig til føde fra havet, i takt med deres husdyr døde. Isotopanalyser af Nordboerne knogler viser imidlertid, at dette ikke kan være tilfældet, da den marine andel af Nordboernes kost ifølge isotoperne udgjorde omkring 20% i den første del af deres 500 år lange ophold i Grønland men steg til omkring 80% i den sidste del.

Parallelt med klimaforværringens indtræden omkring år 1300 måtte Nordboerne også afmægtigt se til, at deres hjemmemarker langsomt reduceredes generation efter generation på grund af et stigende havniveau. Geofysiske undersøgelser af de kystnære fjordområder har således vist en relativ hævnning af havniveauet på godt 3 meter i løbet af de sidste 1000 år. Dette var fatalt for Nordboerne, som ikke kunne undvære deres græsarealer til dyrkning af husdyrenes vinterfoder. Sandflugt og jorderosion har yderligere været et problem for Nordboerne. Visse steder i nordbobygderne findes der således store aflejringer af flyvesand. I tidernes løb har det

været gjort gældende, at jorderosionen skyldtes Nordboernes opdyrkning af jorden. Foreløbige geologiske undersøgelser tyder på, at det ikke var Nordboernes beskedne aktiviteter, der havde den fatale indflydelse på miljøet men derimod den stadigt tiltagende klimaforværring og dermed øgede vindaktivitet.

I dag findes ruinerne af nordboernes gårde spredt ud over de sydgrønlandske fjordområder – og de frodige og grønne områder, der omgiver ruinerne, vidner om nordboernes indsats for at opretholde livet som europæiske husdyr- og jordbrugere højt mod nord. I dag er der igen kommet liv tilbage til flere af nordboernes tidligere bosættninger, idet driftige grønlandske fåreavlere har slået sig ned her for at drage nytte af og arbejde videre på det projekt, som Nordboerne startede for 1000 år siden, men som de så gådefuldt forlod 500 år senere.

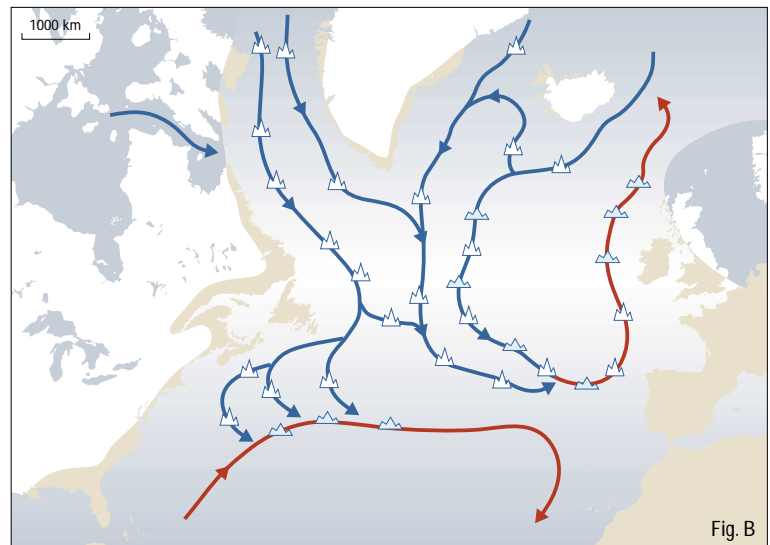
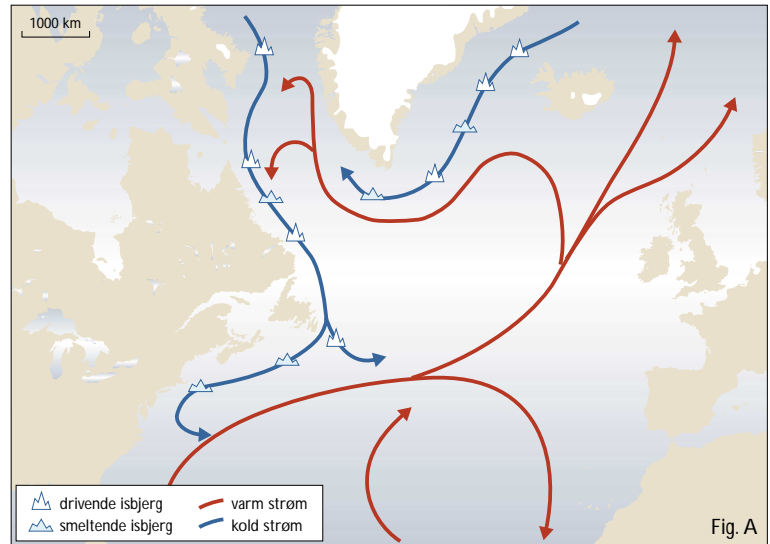


Fig. 5

Variationer i havstrømmenes forløb i Nordatlanten har i dag stor indflydelse på klimaet i store dele af Nordeuropa og i Grønland - ligesom det var tilfældet i den Nørøne periode. I dag er overfladecirkulationen domineret af den varme Golfstrøm, som bringer varmt vand op langs den norske vestkyst og videre op i Polhavet (Fig. A). Under sidste istid for ca. 20.000 år siden var Golfstrømmen svækket og den thermohaline cirkulation reduceret, hvilket muliggjorde afkølingen af Nordkalotten og dannelsen af de store iskapper over Nordamerika, Grønland og Nordeuropa (Fig. B). Ved den klimaforværring, der satte ind under Nordboernes bosættelse i Grønland, blev Golfstrømmen ligeledes svækket om end i mindre grad, og havet omkring Island frøs til samtidig med at hungersnød og misvækst ramte den europæiske befolkning i både Grønland og Europa.



Fig. 6  
Arbejdet ombord på Forskningskibet Poseidon i Igaliku fjorden.

English summary:

Even minor changes in climate may have profound impact on environment and mankind in the Arctic. Greenland is located in the arctic realm and it is a very sensitive indicator of climate changes as this big island spans 14 degrees of latitude from 60°N to almost 84° N. Only the narrow coastal areas in Greenland are ice-free today, and during glacial times the Greenland ice sheet reached out and covered the marine shelf. Greenland has therefore only been inhabited for the last 4500 year after retreat of the ice from the coastal areas. The first Inuits came to Greenland from Canada and were hunters, who spread in several pulses along the east and west coasts of Greenland following the climatically controlled distribution of their prey. The Inuits were living in the northern Greenland when Norse settlers about 1000 years ago established the most northerly outpost of European Christianity and civilisation in south Greenland. The Norse settlers were descendants of Norwegian and Icelandic Vikings. In 985 one of these Vikings, Eric the Red, was exiled from Iceland and therefore set out to explore new grounds. He found what he had hoped for in the deep and lush fjords of SW Greenland. During the favourable climatic conditions at the beginning of the Medieval Warm period he established here a Norse community called 'the Eastern Settlement'. According to the Icelandic Sagas more

settlers soon followed him from Iceland and the Western Settlement was established further to the north on the west coast of Greenland. The Norse settlers survived in Greenland for almost 500 years. The Icelandic Sagas report that the Western Settlement, however, was found abandoned already around 1350 when representatives from the Episcopal Church in the Eastern Settlement had been called to visit and help the settlement due to hostile Inuit attacks from the north. Collapse of the Western Settlement coincides with the onset of the climatic deterioration that followed the Medieval Warm Period and culminated with the Little Ice Age some hundred years later. The Eastern Settlement survived another hundred years, and the Icelandic Sagas describe a wedding taking place there in September 1408. After this account there is no information on the fate of the Norse community in Greenland. When the Norwegian priest Hans Egede arrived in Greenland in 1721 to renew Christianity among the descendants of the Norse in Greenland all settlements were abandoned. Many theories for the

cause of their disappearance have been suggested including problems due to climate deterioration, attacks by pirates, epidemics, starvation and inbreeding. One of the great mysteries of medieval history is therefore why the Norse culture flourished.

In order to find possible causes for their disappearance a reconstruction of late Holocene climatic changes based on terrestrial and marine investigations has been undertaken in south Greenland coastal and fjord environments. Results are based on microfossil, geochemical, (paleo)magnetic, and lithological studies, and the chronological control given by AMS  $^{14}\text{C}$  dating and  $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$  measurements.

The preliminary results suggest that conditions with increased storm activity and associated deep mixing of fjord waters appear to have culminated at the transition from the Medieval Warm Period to the Little Ice Age, i.e. the time when the Norse disappeared from Greenland. They demonstrate that wind-driven deposition of silt and sand at the

later stage of the colonization period thus is probably not due to human induced disturbance of the local vegetation pattern. Moreover, these findings also point to enhanced marine productivity associated with increased mixing of surface waters. A change from predominantly land-based food to mainly marine-derived food as recently reported by archaeologists may thus be interpreted as to show adaptation by the Norse to these changed conditions that simultaneously negatively affected the land use potential. As a part of the project, sidescan sonar investigations were also performed. These provided evidence for a relative sea level rise of up to about 3m during the past 1000 years, which is another factor which negatively influenced the land use capacity of the Norse.









Granplantage i Sønderjylland ramt af stormfaldet i 1999. De voldsomme storme vi har oplevet i de senere år menes at have sammenhæng med den globale opvarmning. Den globale opvarmning anses for at være en følge af den menneskeskabte CO<sub>2</sub> udledning til atmosfæren.

Erfaringer efter stormfaldet fra naturskovområdet Draved Skov i Sønderjylland viser, at områder med gamle træer og høj vandstand er et mere stabilt skovsystem end de omliggende nåletræplantager, hvor skaderne blev store.



## LAGRING AF CO<sub>2</sub> I UNDERGRUNDEN

af Niels Peter Christensen og Michael Larsen

Orkanen som i december 1999 raserede Nordvesteuropa, de sidste års gentagne regnperioder med store oversvømmelser til følge, ekstremt varme, tørre og lange hedeølger i Middelhavsområdet, 'grønne vintre' i Nordeuropa osv. Disse tilsyneladende ændringer i klimaet får oftere og oftere debatten om mulige menneskeskabte klimaændringer til at blusse op. Det er vanskeligt endegyldigt at føre videnskabeligt bevis for, at det menneskeskabte udslip af drivhusgasser forårsager permanente ændringer i det globale klima, men der er mange observationer og klimamodeller som peger i den retning, og de forskere, som bidrager til FNs internationale klimapanel, er i stigende grad enige om, at det er drivhusgasserne, som er årsagen til klimaændringerne. Set fra et politisk synspunkt er risikoen for store klimaændringer tilstrækkeligt truende til at skride til handling.

Der er et stort behov for at finde metoder til at reducere udslippet af især CO<sub>2</sub>. Mere effektiv udnyttelse af energi og skift til vedvarende energiformer vil kunne bidrage væsentligt til dette mål, men især udvikling af alternative energiformer tager mange år. Hvis de industrialiserede lande skal leve op til Kyoto-aftalen vil det være nødvendigt hurtigt at udvikle supplerende metoder, som kan reducere CO<sub>2</sub>-udslippet. Geologiske lag i undergrunden kan lagre flere hundrede års produktion af CO<sub>2</sub> fra europæiske kraftværker. Den danske undergrund har et stort potentiale for lagring.

## Menneskeskabt udslip af drivhusgasser

Jordens naturlige processer har altid produceret drivhusgasser, det vil sige gasser, der udledt til atmosfæren medvirker til at tilbageholde de af solens stråler, som reflekteres tilbage fra jordens overflade. Uden drivhuseffekten ville jorden have et meget koldt klima. De to vigtigste drivhusgasser er metan (CH<sub>4</sub>) måske bedre kendt som sumpgas og kuldioxid (CO<sub>2</sub>), som dannes naturlig ved nedbrydning og forrådnelse af plantemateriale. De øvrige drivhusgasser er forskellige nitratforbindelser. CO<sub>2</sub> udgør omtrent 2/3 af udslippet af drivhusgasser. Jordens planter binder meget store mængder af CO<sub>2</sub>, og fældning af de tropiske regnskove bidrager til forøgelse af CO<sub>2</sub>-udslippet. Atmosfærens indhold af kuldioxid har i jordens udviklingshistorie haft store naturlige udsving som følge af vekslende plantedække og skiftende vulkansk aktivitet, som også er en naturlig kilde til CO<sub>2</sub>.

Oceanerne indeholder enorme mængder CO<sub>2</sub> – meget større end atmosfæren, og ved udveksling mellem atmosfæren og oceanerne er det også sandsynligt, at de forhøjede CO<sub>2</sub> koncentrationer i atmosfæren vil forsvinde, men det tager lang tid at

opnå denne balance, 100-200 år. Ved målinger på blandt andet iskerner fra Indlandsisen på Grønland har det været muligt at rekonstruere atmosfærens CO<sub>2</sub>-indhold fra ca. år 1000 og frem til vor tid. Fra industrialiseringens begyndelse stiger atmosfærens indhold af CO<sub>2</sub> i takt med menneskehedens voksende forbrug af de såkaldte fossile brændstoffer som kul, olie og naturgas kaldes med en fælles betegnelse. De fossile brændstoffer er karakteriserede ved at være gode energikilder (de har et højt indhold af kulstof), som ved forbrænding frigør store mængder energi og CO<sub>2</sub>. Kul, olie, og gas kan således betragtes som millioner af år gamle lagre af energi, dannet ved geologiske processer i undergrunden ud fra plante og dyrerester, som ellers ved nedbrydning i naturens kredsløb ville have frigivet CO<sub>2</sub>, altså en slags fossil biomasse.

Rigelige og billige forsyninger af energiråstoffer er en af de væsentligste forudsætninger for opbygningen af det moderne industrisamfund, som vi kender i dag. 80-85% af de industrialiserede landes energibehov dækkes af fossile brændstoffer. Resten udgøres af atomkraft og 'grønne' energiformer så som vind,



*Klimaet og atmosfærens indhold af CO<sub>2</sub> har varieret meget igennem jordens historie som kan inddeles i drivhus og kølehus perioder. I den sidste del af dinosaurernes æra; Kridt tid var klimaet generelt varmere end i dag. De store iskapper ved polerne smeltede, og et globalt højt havniveau førte til oversvømmelse af enorme landområder. Illustrationen er reproduceret med tilladelse fra Carlsens Forlag.*

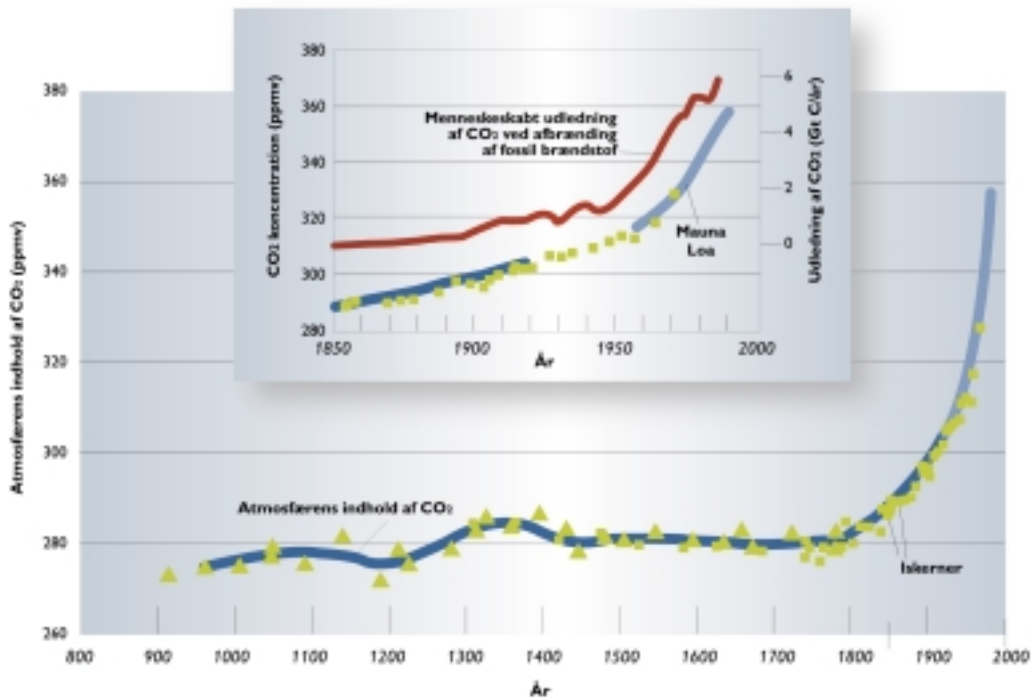


sol, biomasse, geotermi og især vindkraft. I Danmark dækker vindkraft 15% af den elektriske kraftforsyning.

FNs klimapanel har udført en række modelberegninger for, hvordan udviklingen af CO<sub>2</sub> -indholdet i atmosfæren ville kunne forløbe under forskellige forudsætninger. Det grundlæggende "scenario" er baseret på en fremskrivning af dagens udviklingstendenser (kaldet 'business as usual') med visse forbed-

ringer vedrørende energieffektivitet og introduktion af grønne energiformer. Disse modelberegninger viser, at CO<sub>2</sub>-indholdet i atmosfæren, som før industrialiseringen var på ca. 280 ppmv, vil stige fra det nuværende niveau på ca. 370 ppmv, til 700 ppmv i år 2100. 1 ppmv (parts per million volume) svarer til en kubikcentimeter CO<sub>2</sub> pr kubikmeter atmosfære.

Der er almindelig enighed om, at atmosfærens stigende indhold af CO<sub>2</sub> inden for de seneste 100-150 år skyldes menneskelige aktiviteter, især afbrænding af fossile brændstoffer. Uenigheden er langt større om, hvorvidt det stigende CO<sub>2</sub>-indhold i atmosfæren nu også giver anledning til globale klimaændringer. De mest pessimistiske klimamodeller forudsiger således at atmosfærens forøgede indhold af drivhus gasser vil medføre en temperaturstigning og en reduktion i



Atmosfærens indhold af CO<sub>2</sub> kan rekonstrueres blandt andet ud fra målinger på iskerner fra inlandsisen. Kurven viser udviklingen i CO<sub>2</sub> indholdet i de sidste tusinde år sammenlignet med den menneskeskabte udledning af CO<sub>2</sub>. Kurven er baseret på udgivelser fra Det Internationale Energiagentur (IEA).



*Indlandsisen når frem til de inderste dele af Søndre Strømfjord. En 20m høj isvæg kælver. Isklumperne føres med smeltevand mod fjorden.*

• • • • •

jordens iskapper, kombineret med at varmen får oceanernes vandmasser til at udvide sig. De deraf følgende havniveau stigninger forudses at medføre omfattende oversvømmelser. Overfor disse står mere skeptiske forskere, for hvem den menneskeskabte klimaeffekt blot er et vindpust i de overordnede naturskabte klimavariationer.

Mens debatten raser i medierne stiger presset på det politiske system, og der udarbejdes kortsigtede beredskabsplaner og langsigtede internationale handlingsplaner for afhjælpning af mulige menneskeskabte klimaforandringer.

### **Internationale aftaler**

Allerede i 1896 gjorde den svenske naturvidenskabsmand Svante Arrhenius opmærksom på risikoen for klimaændringer som følge af brug af fossile brændstoffer, men der skulle gå et århundrede før problemet blev påtrængende. På FNs klimakonference i Rio de Janeiro i 1992 var drivhusgasserne for første

**Oversigt over det internationale udslip af CO<sub>2</sub> fra forbrænding af fossile brændstoffer**  
(Kyoto - målsætningen gælder for alle 6 drivhus-gasser)

	1990b	1990a	1998b	1996a	Forskel 1990-98	Forskel 1990-96	Kyoto
Belgien	114.0	109.1	122.0	124.6	7.0 %	14.2 %	-7.5 %
Danmark	52.9	52.9	60.1	72.3	13.7 %	36.6 %	-21.0 %
Finland	60.8	54.4	64.0	64.2	5.2 %	18.2 %	0.0 %
Frankrig	387.6	378.3	412.9	384.3	6.5 %	1.6 %	0.0 %
Grækenland	85.2	72.3	100.4	77.6	17.9 %	7.4 %	25.0 %
Holland	161.4	161.2	181.4	186.4	12.4 %	15.6 %	-6.0 %
Irland	31.6	33.2	40.0	36.5	26.7 %	9.7 %	13.0 %
Italien	432.6	408.2	459.5	420.0	6.2 %	2.9 %	-6.5 %
Luxembourg	12.8	10.9	9.5	9.1	-24.1 %	-16.2 %	-28.0 %
Portugal	43.1	41.5	53.9	49.1	24.9 %	18.3 %	27.0 %
Spanien	226.1	215.0	273.0	235.6	20.8 %	9.6 %	15.0 %
Storbritannien	584.2	585.3	546.4	582.8	6.5 %	-0.4 %	-12.5 %
Sverige	55.4	52.7	57.0	59.4	2.7 %	12.7 %	4.0 %
Tyskland	1014.5	981.4	886.2	904.7	-12.6 %	-7.8 %	-21.0 %
Østrig	62.1	59.4	66.6	62.7	7.2 %	5.6 %	-13.0 %
EU	3324.3	3215.7	3332.9	3269.2	0.3 %	1.0 %	-8.0 %
Norge	35.1	29.8	41.7	31.6	18.6 %	6.3 %	1.0 %
USA	4914.3	4873.4	5478.1	5324.5	11.5 %	9.3 %	-7.0 %
Japan	1124.5	1061.8	1230.8	1177.7	9.5 %	10.9 %	-6.0 %
Alle Annex I lande (industrilandene)	24708.6	21252.1	24670.6	22741.7	-0.2 %	7.0 %	-5.2 %

Året 1990 er Kyoto-aftalens basisår og tallene mærket med (a) stammer fra IEA i 1998, medens tallene mærket med (b) stammer fra IEA i 2000 (pressemateriale til COP 6 konferencen i Haag). Det er bemærkelsesværdigt, at flertallet af landene i 2000 rapporterer større CO<sub>2</sub>-udslip for 1990 end blot et par år tidligere. Dette forhold illustrerer hvor kompliceret det er at opstille en pålidelig statistik for udslippet fra de forskellige lande, og det kan være vanskeligt at skelne mellem reelle reduktioner, og det der i den internationale jargon går under betegnelsen 'varm luft' – fiktive reduktioner. Det lille fald i CO<sub>2</sub>-emissionerne for industrilandene under et skyldes i al væsentlighed massive reduktioner som følge af Sovjetunionens opløsning, medens de fleste andre landes udslip er steget. USAs udslip af CO<sub>2</sub> er således steget markant og udgjorde i 1998 ca. 22% af industrilandenes samlede emissioner. Det er derfor, det er så vigtigt, at USA ratificerer Kyoto-aftalen. EU har samlet set næsten stabiliseret CO<sub>2</sub>-udslippet til trods for en generelt stigende vækst, hvis tallene fra 2000 anvendes (- hvis de tidligere tal for 1990 anvendes er der sket en stigning på 3.6%). Dette skyldes i høj grad reduktioner i Tyskland og uden dette bidrag ville resultatet i 1998 havde været en vækst på 5.9% for de øvrige EU-lande i snit. Udviklingen i de danske CO<sub>2</sub>-udslip vises mere detaljeret på grafen s. 86.

gang genstand for international bekymring. På et møde Japan i december 1997 blev den såkaldte Kyoto-protokol aftalt. Den består i en aftale om, at de industrialiserede lande i perioden 2008-2012 skal reducere deres udslip af drivhusgasser med 5.2% under 1990-niveauet. EU-landene skal som gennemsnit nedsætte udslippet med 8%, og Danmark og Tyskland som bruger meget kul, har givet tilsagn om reduktioner på 21%.

Aftalen skal ratificeres af et antal lande som repræsenterer mindst 55% af industrilandenenes udslip, hvilket kan blive svært at opnå. Dette kom klart til udtryk ved sammenbruddet på FNs klimakonference COP6 i november 2000 i Haag, og senest har USA, som er verdens største CO<sub>2</sub> udleder, afvist at ratificere aftalen. Der er således stadig ikke opnået enighed om en handlingsplan for de industrialiserede landes reduktion i CO<sub>2</sub> udslippet. Forhandlingerne genoptages på en klimakonference i FN-regie i Bonn, sommeren 2001.

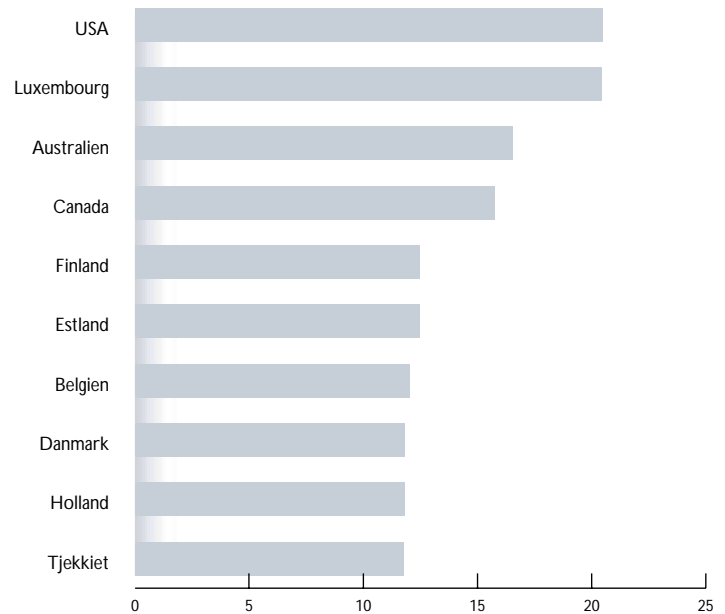
### Hvordan kan CO<sub>2</sub> udslippet formindskes?

Det menneskeskabte CO<sub>2</sub>-udslip kan meget groft inddeles i tre nogenlunde store grupper: kraftværker og industri, transportsektoren, og diverse herunder boliger mv. Der er dog store variationer mellem de enkelte lande afhængig af, om der anvendes CO<sub>2</sub>-fri energikilder som fx atomkraft (Frankrig) og vandkraft (Norge og Sverige). Danmark ligger på top-10 over de

såkaldte Kyoto Annex I lande (dvs de industrialiserede lande som i Kyoto-protokollen har lovet at skære ned på CO<sub>2</sub>-udslippet) med højt CO<sub>2</sub>-udslip pr. indbygger.

Det er imidlertid ingen naturlov, at anvendelse af fossile brændstoffer nødvendigvis skal medføre miljøbelastning. Nedbringelsen af kraftværkernes udslip af svovl, som tidligere var en stor plage på grund af syreregn, er et godt eksempel på, at identifice-

#### Annex I lande:



Landenes årlige CO<sub>2</sub>-udslip i tons pr. indbygger

(Kilde: IEA)

rede problemer kan løses ved teknisk og menneskelig snilde. Der findes en lang række måder hvorpå CO<sub>2</sub>-udslippet kan formindskes:

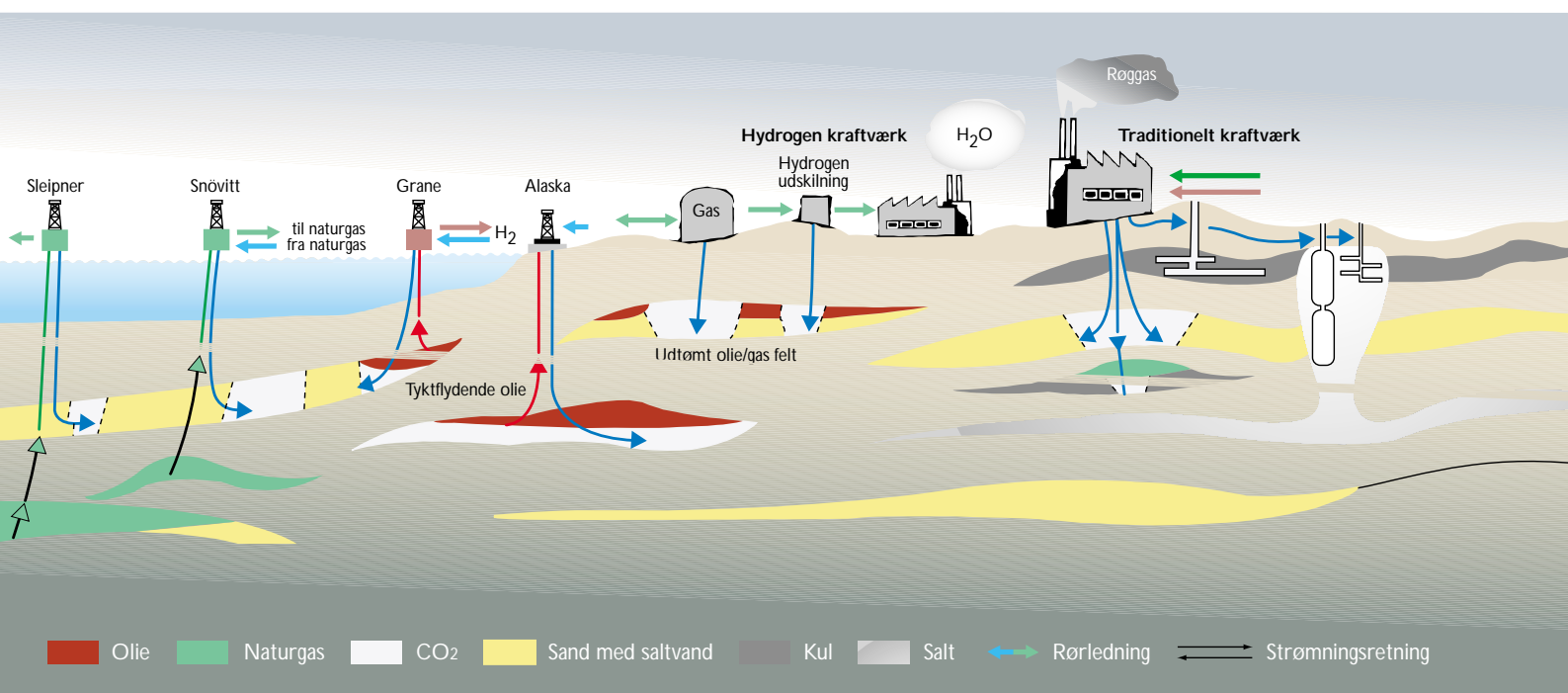
- nedsættelse af energiforbruget ved besparelser (fx isolering, elsparepærer)
- mere effektiv udnyttelse af energien (fx højere nyttevirkning på kulkraftværker, biler som kører længere på literen)
- skift til brændselstyper med mindre CO<sub>2</sub>-udslip (fx naturgas i stedet for brunkul, kul og olie)
- skift til vedvarende energi
- lagring i undergrunden

Tyskland har som det eneste EU-land formået at præstere en væsentlig nedsættelse af CO<sub>2</sub>-emissionerne. Dette er primært sket ved at lukke en række urentable brunkulsfyrede kraftværker i den østlige del af landet. Ud over at 'plukke de lavthængende frugter' som IEA i Paris kalder disse tiltag, er der en række mere komplekse og langsigtede områder, hvor der kan gøres en indsats, fx ved at plante mere skov og omlægning til landbrugsformer, som binder mere CO<sub>2</sub>; en løsning som USA for tiden mener kan 'klare' det meste af problemet. Udvikling af vedvarende energiformer repræsenterer på langt sigt det største potentiale. Vindmøllerne i Danmark er et godt eksempel på en teknologi, som snart kan stå på

egne ben. En anden mulighed er geotermisk varme, hvor Danmark har muligheder for at trække energi ud af varmt vand i undergrunden flere steder i Jylland og sandsynligvis i Øresundsregionen, som for tiden undersøges. I en overgangsperiode, inden disse vedvarende energiformer er udviklet fuldt ud, vil fossile brændstoffer dog stadig være den langt dominerende kilde til at opretholde vores nuværende levestandard. Vi har derfor brug for en metode til effektivt at nedbringe CO<sub>2</sub> udslippet fra vores energiproduktion.







*Erfaringer og studier fra udlandet viser, at CO<sub>2</sub> kan lagres sikkert i undergrunden, hvis en række forudsætninger er opfyldt. For at lagre CO<sub>2</sub> komprimeres gassen og pumpes ned i porøse sandlag eller hulrum i nedlagte salt- eller kulminer. Lagringen sker på stor dybde (mere en ca. 1 km), hvor CO<sub>2</sub> opfører sig som en væske. Impermeable lerlag forhindrer, at CO<sub>2</sub> kan undslippe til atmosfæren.*

### Geologisk lagring i undergrunden

Lagring af gasser og væsker i undergrunden er en kendt teknologi som anvendes i stigende grad. Især lagres naturgas i undergrunden i nærheden af forbrugerne for at sikre forsyningen i tilfælde af leverancestop eller for at udjævne årstidsvariationer i forbruget. I Nordamerika er der omtrent 200 lagre af naturgas i undergrunden, medens der i Europa er cirka 100. Danmark

har to lagre af geologisk forskellig karakter; 1) udskyllede hulrum i en salthorst ved Ll. Torup i det nordlige Jylland og 2) dybtliggende sandlag ved Stenlille i Vestsjælland. I andre lande bruges desuden udtømte olie- og gasfelter, og enkelte steder også gamle kulminer (fx i Belgien). Kuldioxid vil kunne lagres i de samme typer af underjordiske lagre.

For effektivt og sikkert at kunne lagre CO<sub>2</sub> i undergrunden skal en række forudsætninger være opfyldt: reservoiret, som typisk vil være sand eller muligvis kalk, skal være af god kvalitet med høj porøsitet (så det kan rumme meget CO<sub>2</sub>) og permeabilitet (så der kan pumpes CO<sub>2</sub> med høje pumperater). Desuden skal det ligge på en dybde på knapt 1 km eller dybere, da CO<sub>2</sub> skal lagres under så højt tryk, at den kommer på væskeform. Lagring på

gasform ville kræve enorme lagerstørrelser. På så stor dybde indeholder reservoirerne saltvand, og der er således ingen konflikt med drikkevandsforekomsterne. Udover reservoirbjergartens egenskaber skal undergrundslageret sikre, at CO<sub>2</sub> ikke undslipper til overfladen. Dette kræver en effektiv forsegling opad med en tæt kappebjergart (ler eller kalk) og en begrænsning til siderne i form af en strukturel eller stratigrafisk lukning. Det er dog også muligt, at lagre CO<sub>2</sub> i sandlag, som ikke er lukkede til siderne, men opadtil begrænsede af kalk. Kjemiske reaktioner vil standse opadstigende CO<sub>2</sub> og strømning ud til siderne vil sandsynligvis ske meget langsomt, fx 1-2 km på hundrede år.

I et samarbejde med geologiske undersøgelser i 7 andre lande er GEUS projektleder på et EU-finansieret studium, "GESTCO-projektet", af de geologiske lagringsmuligheder nær de europæiske kraftværker og store industrielle CO<sub>2</sub> punktkilder. Projektet, som har vakt stor international interesse, udvikler også en teknisk-økonomisk model for planlægning og prisberegninger af forskellige kombinationer af CO<sub>2</sub>-udslipkilder (kraftværk eller fabrik), transport (ty-

pisk ny eller eksisterende rørledning) og geologiske lagertyper. Det er planlagt at modellen vil blive lagt ud på Internettet, således at offentlige og industrielle parter har adgang til projektets resultater. Offentliggørelse af resultater og anbefalinger vil blive fulgt op med en offentlig høring for at sikre politikerne og andre beslutningstagere det bredest mulige grundlag til vurdering af konsekvenser af CO<sub>2</sub> lagring.

### **Erfaringer for lagring af CO<sub>2</sub> i undergrunden**

Lagring af CO<sub>2</sub> finder allerede i dag sted på en række udenlandske anlæg. Et af de største er det norske Sleipner gasfelt i den nordlige del af Nordsøen, omtrent midtvejs mellem Stavanger og Aberdeen. I de fleste forekomster af naturgas, bl.a. de danske, er det naturlige indhold af CO<sub>2</sub> under et par procent. Der findes dog en række markante undtagelser, hvor indholdet er så stort, at CO<sub>2</sub> – som ikke kan brænde – må fjernes fra den naturgas, som skal sælges til forbrugerne. I Sleipner gasfeltet er CO<sub>2</sub>-indholdet på omtrent 9%, og i det nærliggende britiske Miller felt er det endnu højere. På Sleipner feltet produceres der meget store mængder naturgas som via en

rørledning sendes til Tyskland. Før naturgassen kan sælges, skal kuldioxiden reduceres til ca. 2.5% - det bliver til 1 million tons CO<sub>2</sub> om året, svarende til 3% af Norges samlede CO<sub>2</sub> udslip.

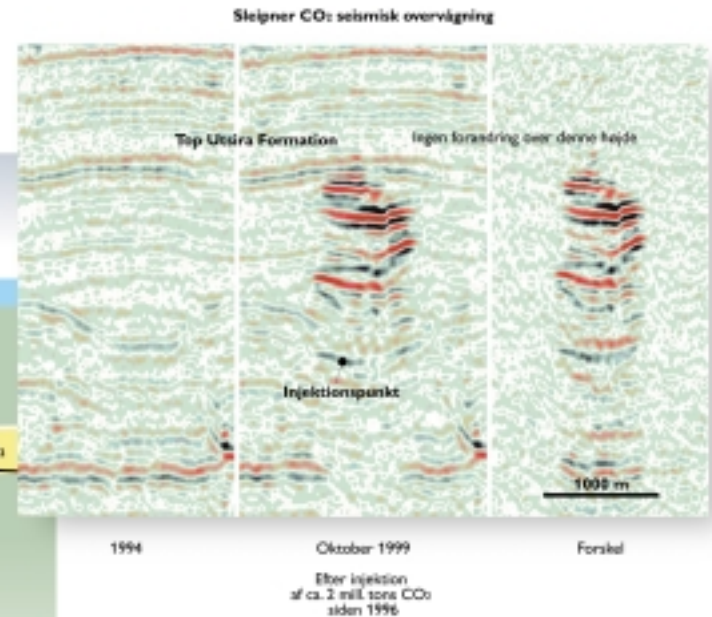
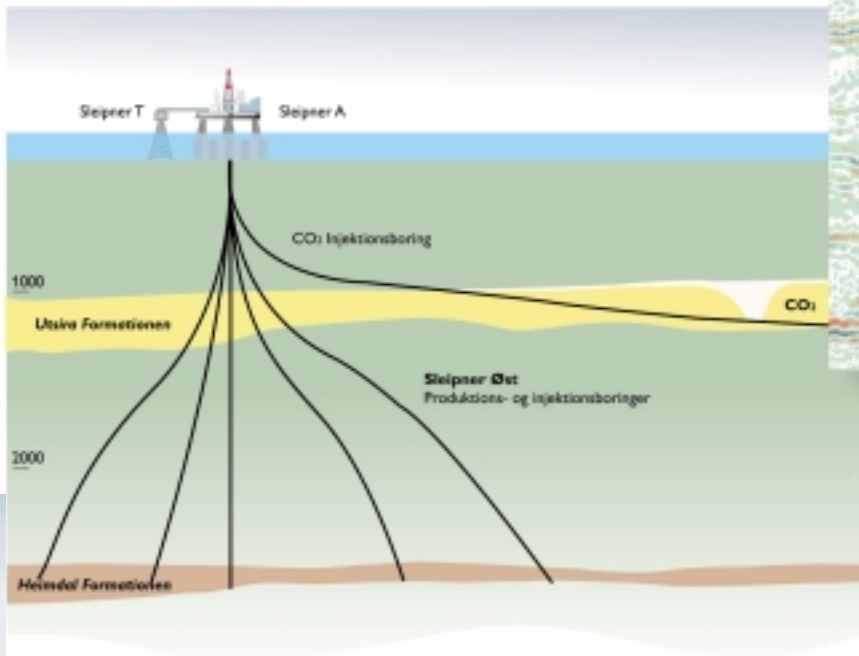
Rensningen sker ved at vaske naturgassen med en særlig væske (amin eller mono-ethanolamin) som senere genvindes. Processen er effektiv men dyr, og kan i øvrig også anvendes på røggas fra kraftværker. Før Kyoto (og indførelse af en norsk CO<sub>2</sub> udlædningsafgift) ville CO<sub>2</sub> blot blive sluppet ud i atmosfæren, men på Sleipner har Statoil valgt at bygge verdens første anlæg til lagring af CO<sub>2</sub> ud fra miljømæssige hensyn. Via en særlig injektions boring pumpes kuldioxiden ned i saltvandsholdige sandlag i omtrent en kilometers dybde, hvor den ventes at forblive i



flere hundrede eller mest sandsynligt i tusinder af år. Sandlaget er dækket af tætte lerlag, men er ikke begrænset til siderne. GEUS er deltager i en stor international forskningsgruppe (SACS-projektet), som studerer sandets udbredelse, lerseglens tæthed og de kemiske effekter af

lagringen af CO<sub>2</sub> i form af kul-syre, hvor surhedsgraden (pH) er på 3. Udbredelsen af CO<sub>2</sub>-'boblen' måles direkte ved hjælp af såkaldt 4-dimensional seismik (dvs. 3-dimensional seismik indsamlet på forskellige tidspunkter). Andre steder i verden er CO<sub>2</sub> blevet pumpet ned i un-

dergrunden for at forøge den mængde olie, der kan indvindes fra et oliefelt. Denne teknologi har været anvendt i mere end 50 projekter inden for de sidste 20-30 år, primært i USA og i et tilfælde i Tyrkiet. Motivationen har i disse situationer været at forøge udnyttelsen af oliefore-



*Det norske gasfelt Sleipner er verdens eneste anlæg, hvor CO<sub>2</sub> lagres i undergrunden af miljømæssige hensyn, og anlægget sparer hvert år atmosfæren for 1 million tons CO<sub>2</sub>. Injektionen af CO<sub>2</sub> overvåges nøje bl.a. ved hjælp af seismiske undersøgelser. Ved at sende lydbølger ned i undergrunden og måle de lydbølger som kastes tilbage, kan udbredelsen af CO<sub>2</sub> i sandlaget direkte ses. Figureerne er reproduceret med tilladelse fra Statoil.*

komsterne, idet der i de fleste tilfælde anvendes kuldioxid fra naturlige forekomster. En interessant undtagelse er det gamle Weyburn oliefelt i Canada. Efter at have produceret fra feltet i mange år, var der ved de almindeligt anvendte metoder (herunder injektion af vand) indvundet ca. 36% af de fundne oliemængder, og feltets lukning var nær. I 2000 har man imidlertid bygget en 300 km lang rørledning fra et bygasanlæg (baseret på kul) i North Dakota i USA til Weyburn feltet, hvor CO<sub>2</sub> skal bruges til at forøge indvindingsgraden til 50% eller mere, samtidig med at der lagres omtrent 20 millioner tons CO<sub>2</sub>. Den forøgede olieindvinding betaler for omkostningerne ved at reducere udslippet af kuldioxid til atmosfæren. GEUS deltager i et forskningsprojekt i tilknytning til Weyburn CO<sub>2</sub>-projektet, blandt andet for at få erfaring med CO<sub>2</sub> som en indvindingsforbedrende metode, som muligvis kan anvendes på de danske olieletter. Hvis forventningerne fra Weyburnfeltet kunne overføres til de danske olieforekomster, ville det – teoretisk set – kunne betyde, at Danmark ville kunne være selvforsynende med olie i yderligere en årrække og samtidigt kunne nedbringe sit CO<sub>2</sub> udslip.

### **Reduktion af CO<sub>2</sub> fra kraftværker, industri og transport**

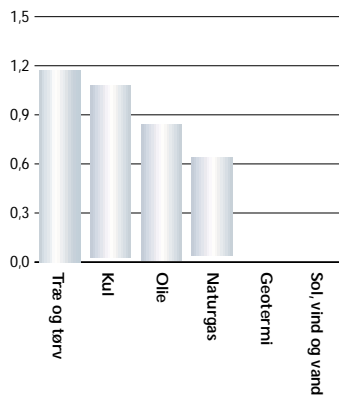
For at CO<sub>2</sub> lagring skal være økonomisk rentabelt og praktisk muligt, skal den totale mængde CO<sub>2</sub> fra en punktkilde være stor (over 1 mio. ton/år), og koncentrationen af CO<sub>2</sub> i røggassen være tilstrækkelig høj. Jo højere CO<sub>2</sub> koncentrationen er i røggassen, desto billigere er det at udvinde et ton CO<sub>2</sub>. Kraftværker som bruger fossile brændsler opfylder begge disse krav og repræsenterer med få undtagelser de største punktkilder for CO<sub>2</sub>-udslip til atmosfæren. Før lagring af CO<sub>2</sub> i undergrunden skal røggassen dog renses for CO<sub>2</sub>, som kun udgør 5-15% af røgen. Mængden af CO<sub>2</sub> pr. produceret energienhed afhænger af brændselstypen. (Se diagram s. 85 om indhold af CO<sub>2</sub> pr. energienhed fra kul, olie og naturgas).

Udslippet af CO<sub>2</sub> fra kraftværker var i EU plus Norge på knapt 1 gigaton (1000 millioner tons) i 1990. I et studie under ledelse af den Britiske Geologiske Undersøgelse skønnedes det i 1996, at der i Europas undergrund kunne lagres 700-800 års CO<sub>2</sub> produktion fra kraftværker, med langt det meste under Nordsøen. Det blev samtidig beregnet, at den ekstra pris for

elektricitet ville ligge på 40-80% af produktionsprisen, svarende nogenlunde til merprisen for elektricitet fra vindmøller.

I Holland anvendes der hvert år store mængder naturgas til opvarmning af drivhuse samt produktion af CO<sub>2</sub>, som øger planternes vækstrater. På et raffineri i Rotterdam slippes årligt 1 million tons ren CO<sub>2</sub> ud i atmosfæren og muligheden for at anvende denne CO<sub>2</sub> strøm i drivhusene undersøges i øjeblikket. Ideen er at sende denne kuldioxid i en rørledning til et udtømt naturgasfelt, hvorfra det om sommeren skal føres videre til drivhusene, så man kan undgå at brænde naturgas af blot for at producere CO<sub>2</sub>.

Ved at kombinere teknologi kendt fra raffinaderier med lagring af CO<sub>2</sub> er det muligt at bygge naturgaskraftværker, som ikke udleder CO<sub>2</sub> til atmosfæren. Naturgas nedbrydes relativt enkelt til brint (H<sub>2</sub>) og ren CO<sub>2</sub>. Brinten bruges som brændsel i en gasturbine på kraftværket eller til brændselceller, og røggassen består af vanddamp. Kuldioxiden kan lagres i undergrunden, evt. i forbindelse med forbedret olieindvinding. I Norge, som har behov for mere elektricitet end vandkraften kan levere,



Udslip af CO<sub>2</sub> i kg pr. kilowatt-time for forskellige energiformer.

er der udført konkrete planer for denne type kraftværker; det var i øvrigt en strid om CO<sub>2</sub>-fri naturgas kraftværker eller konventionelle naturgas kraftværker som førte til den norske regerings fald i 1999.

Enkelte andre energikrævende industrier producerer en strøm af ren CO<sub>2</sub> som en del af deres virke, for eksempel i forbindelse med fremstilling af kunstgødning. Det vil være nærliggende at bruge CO<sub>2</sub> fra sådanne typer anlæg til at demonstrere, at geologisk lagring er en mulig metode til reduktion af det menneskeskabte CO<sub>2</sub>-udslip. Fordelen vil være, at den mest omkostningstunge del, nemlig rensning af røggas, helt kan undværes her, svarende til omtrent 2/3 af omkostningerne.

Transportsektoren er i lighed med kraftværkerne en meget stor kilde til CO<sub>2</sub>-udslip, men opsamling og lagring af CO<sub>2</sub> fra en bil eller et flys udstødning er naturligvis urealistisk. Udviklingen af køretøjer, som kører langt på literen eller på batterier, er gået skuffende langsomt og støttes ikke udpræget af forbrugere. De seneste 10 år er der dog sket en markant udvikling i de såkaldte brændselsceller til

erstatning for forbrændingsmotorer i biler. Brændstoffet er enten brint, som giver ren vanddamp i udstødningen, eller metanol, som giver både vanddamp og CO<sub>2</sub> i udstødningen. I Tyskland har man udviklet flere busser og nogle få forsøgsbiler, som drives af brændselsceller, som bruger brint.

Det er ikke problemløst at bruge brint som brændstof, men det har den indlysende fordel, at det ikke indeholder kulstof og derfor ikke giver anledning til CO<sub>2</sub>-udslip ved forbrænding. Processen er imidlertid kun miljømæssigt forsvarlig, hvis produktionen af brint ikke fører til øget udledning af CO<sub>2</sub>. Statoil har udviklet en vision for CO<sub>2</sub>-fri anvendelse af fossile brændstoffer, hvor brint og CO<sub>2</sub> lagring indgår som vigtige komponenter.

### Lagringsmuligheder i Danmark

Danmarks årlige CO<sub>2</sub>-udslip er på ca. 60 millioner tons, heraf ca. 22 millioner tons fra kraftværkerne. Det er sidstnævnte bidrag, som er relevant i diskussionen om deponering af CO<sub>2</sub> i undergrunden. Indtil videre er der kun lavet meget lidt arbejde for at kortlægge mulige

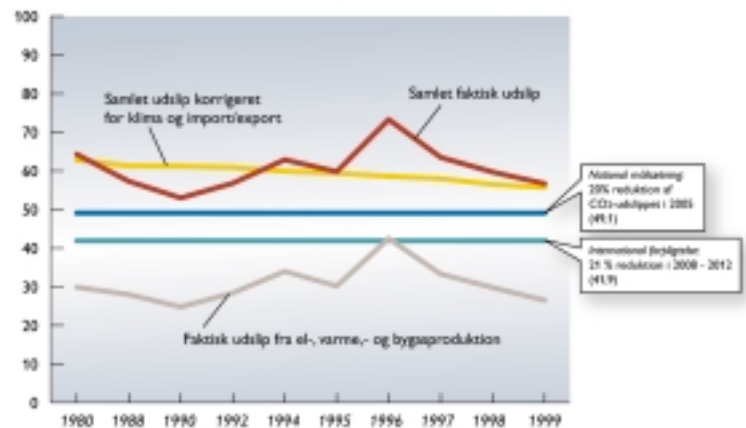
geologiske lagringsmuligheder for CO<sub>2</sub> i Danmark, men efterforskningen af landets geotermiske potentiale i 1980'erne samt mange års olieefterforskning giver en vis viden. Set med disse øjne kan den danske undergrund meget groft inddeles i to områder med vidt forskellige deponeringspotentiale; nemlig den danske del af Centralgraven og det Danske Bassin.

I det Danske Bassin knytter lagringsmulighederne sig til sandlag fra Nedre Trias (Bunter Sandsten Formation), Øvre Trias – Nedre Jura (Gassum Formation), Mellem Jura (Haldager Sand Formation) og Øvre Jura – Nedre Kridt (Frederikshavn Formation). Undersøgelser har vist, at især sandsten fra Gassum Formationen opfylder de stillede krav til begravelsesdybde, porøsitet og permeabilitet. Endvidere er sandstenene overlejret af en tyk Nedre Jura lerpakke med gode forseglingsegenskaber.

Et mindre studie fra 1996 giver nogle foreløbige skøn over lagringsmulighederne omkring Ålborg og Århus. Men også andre steder i landet udgør Gassum Formationens sandsten et potentielt lager. DONG har således gode erfaringer med

**Danmarks udslip af CO<sub>2</sub> i perioden 1980-99 i millioner tons CO<sub>2</sub>**

(Kilde: Energistyrelsen 1999 og egne beregninger)

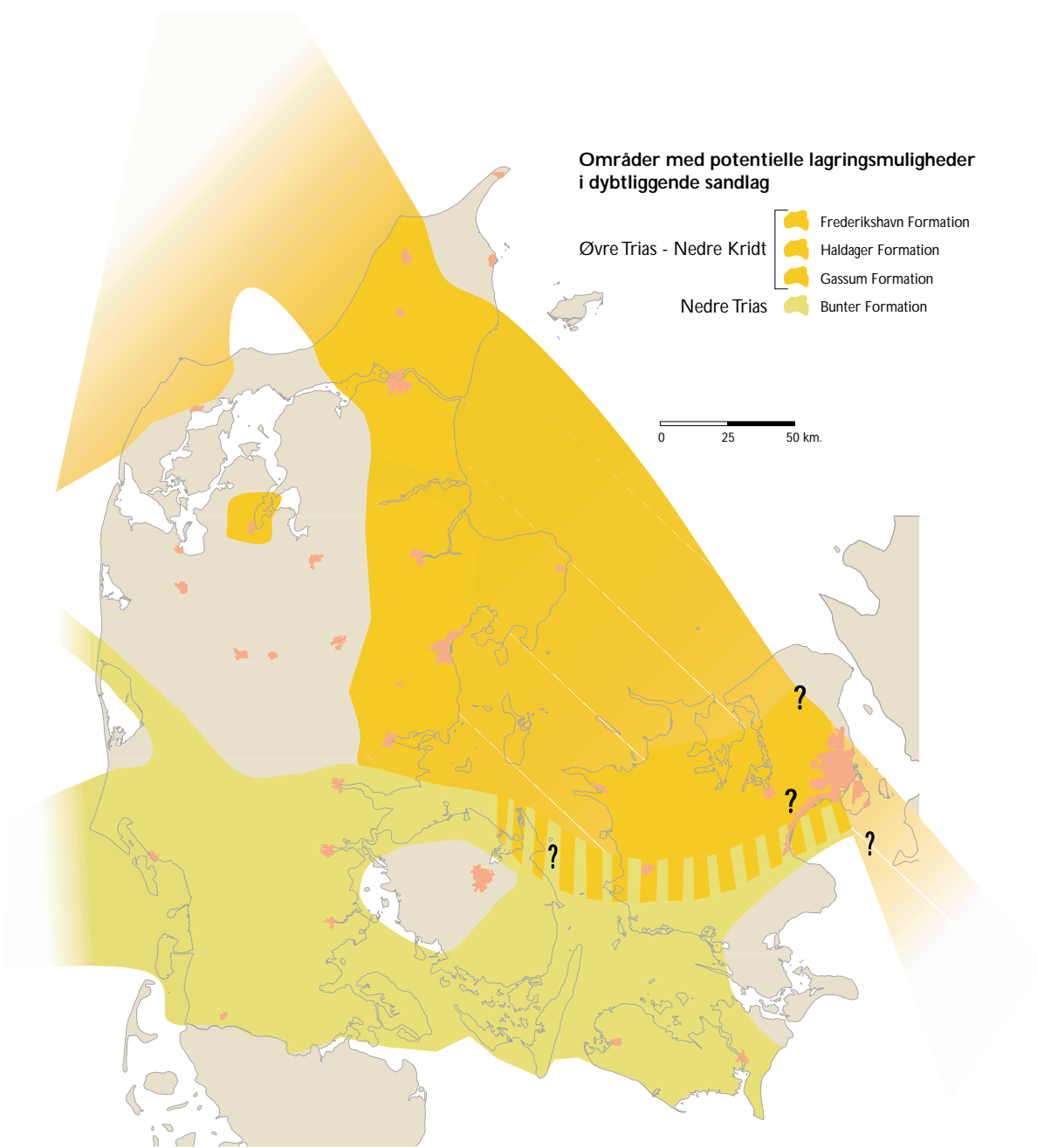


Danmarks CO<sub>2</sub> udslip pr år siden 1980'erne. På trods af indsatsen for at reducere CO<sub>2</sub> udslippet til atmosfæren kan Danmark få svært ved at opfylde Kyoto-målet på 21% reduktion i 2008-2012.

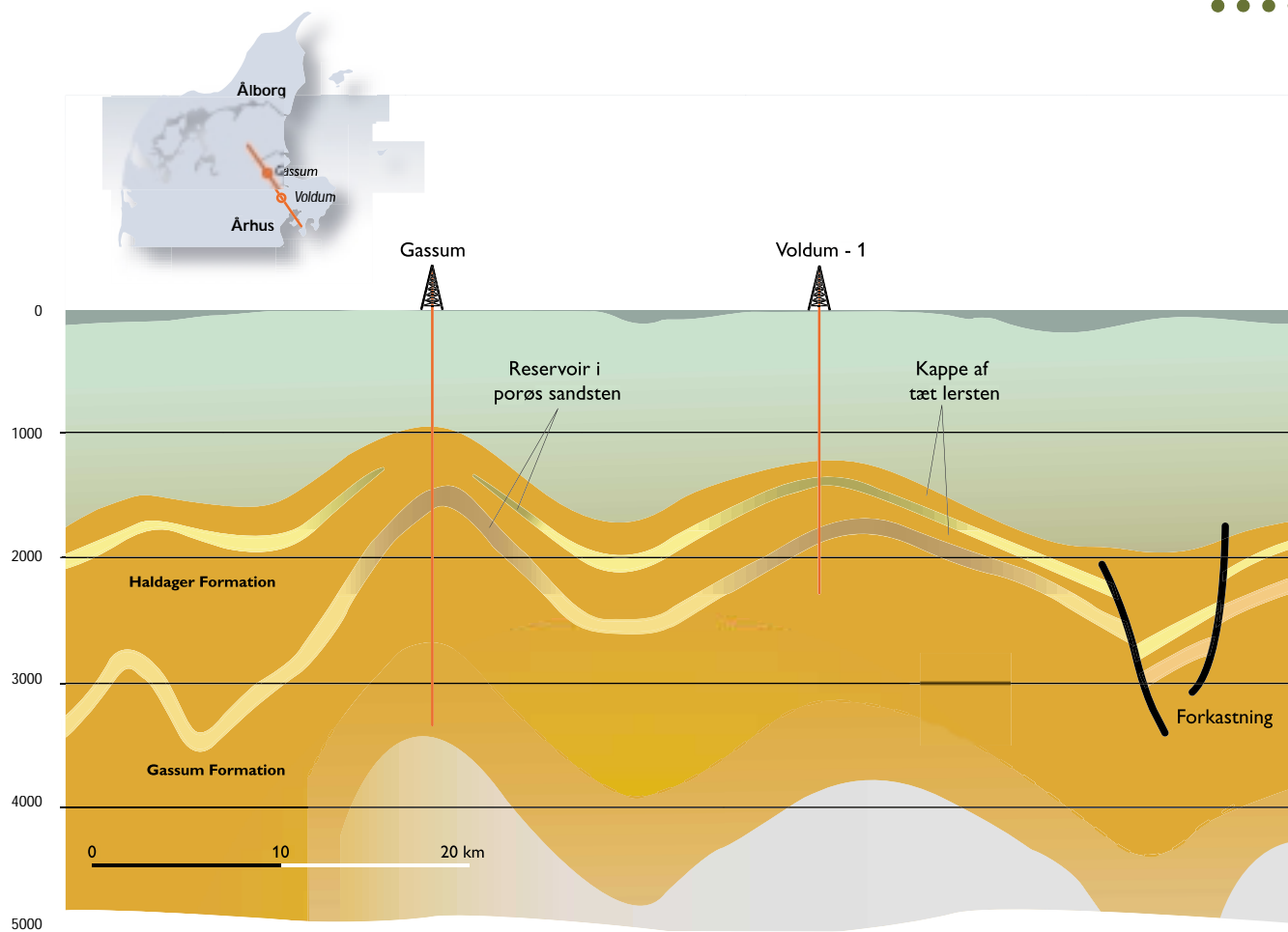
### Områder med potentielle lagringsmuligheder i dybtliggende sandlag

- Øvre Trias - Nedre Kridt
- Frederikshavn Formation
  - Haldager Formation
  - Gassum Formation
- Nedre Trias
- Bunter Formation

0 25 50 km.

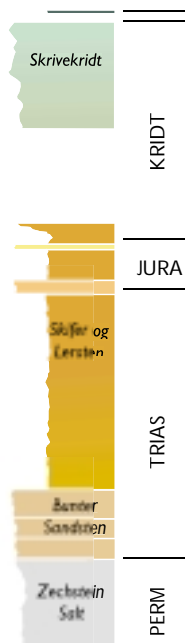


GEUS deltager i et EU finansieret forskningsprojekt GESTCO, som har til formål at kortlægge potentielle lagringsmuligheder i en række europæiske lande. I Danmark er interessen koncentreret omkring saltvandsholdige sandlag fra Trias og Jura og tidlig Kridt tid. Baseret på lagernes begravningsdybde, tykkelse og porøsitet kan der konstrueres et kort over de områder af Danmark, hvor lagringsmulighederne er størst.



*Geologisk snit gennem undergrunden nordøst for Århus. Seismisk kortlægning og ældre borerer efter olie og geotermisk energi viser tilstedeværelsen af sandlag af Sen Trias–Tidlig Jura, og Mellem Jura alder. De saltvandsholdige sandlag er deformeret af dybtliggende saltpuder ved Gassum og Voldum, hvor lagene er skubbet op i kuppelformede strukturer. Erfaringer fra gaslagring viser, at sådanne geologiske strukturer er velegnede som underjordiske lagre.*





De mest interessante sandlag findes i aflejringer fra Trias og Jura tiden. Kalkaflejringer fra Kridt tiden bliver også undersøgt.

Gassum Formationens sandsten som reservoir i naturgaslageret ved Stenlille på Sjælland. Her lagres naturgassen i 1100 meters dybde i en geologisk struktur, som forhindrer at gassen spredes til siderne. Observationer siden gaslagringens start har vist, at reservoiret er stabilt, og at naturgassen ikke kan undslippe til overfladen.

Det er muligt, at produktion af geotermisk energi og lagring af CO<sub>2</sub> kan kombineres ved at opløse CO<sub>2</sub> i det afkølede returvand på et geotermisk anlæg. I Thisted produceres geotermisk varme med succes, og anlægget er sidst i år 2000 blevet udvidet med en ny varmeveksler. Anlægget anvender varmt vand fra Gassum Formationen i 1250 meters dybde. Thisted Varmeværk arbejder for tiden sammen med DONG og GEUS på en ny ide, nemlig at lagre overskudsvarme fra sommerens affaldsforbrænding i det geotermiske reservoir, så varmen kan anvendes om vinteren og dermed reducere forbruget af naturgas. En sådan løsning vil gøre de geotermiske anlæg langt mere rentable. Konceptet vil også kunne anvendes andre steder, fx i København og i Østeuropa, hvor der foregår en, delvis med dansk støtte, udbygning af geotermien. Hvis de

geotermiske anlæg for alvor vinder frem, vil de måske blive centre for CO<sub>2</sub> lagring, idet de ekstra anlægsudgifter for CO<sub>2</sub>-delen vil være meget små. GEUS deltager via GESTCO aktivt i forskning og udvikling af dette område. Hertil kommer muligheden for at anvende CO<sub>2</sub> som indvindingsforbedrende metode på de danske olieletter i Nordsøen (200-250 km fra land) og muligheden for at bruge udtømte olie- og gasletter som geologiske lagre for CO<sub>2</sub> fra kraftværkerne. Den største del af den danske olie- og gasproduktion stammer fra kalkreservoirer af Øvre Kridt og Danien alder, og det er ikke umuligt, at CO<sub>2</sub> vil kunne være en velegnet metode til at forbedre olieindvindingen, blandt andet fordi kulsyre vil kunne forbedre kalkreservoirernes strømningsegenskaber. Hvis det antages, at ét ton CO<sub>2</sub> kan lagres for hvert ton olie eller gas, som kan indvindes, vil lagerkapaciteten svare til de danske kulbrintereserver samt de producerede mængder til nu. Det svarer med de nuværende forhold til, at omkring 20-25 års produktion af CO<sub>2</sub> fra kraftværkerne ville kunne lagres i felterne.

### **Politik, planlægning og økonomi**

Den danske energipolitik omfatter for tiden ikke anvendelsen af geologisk lagring af CO<sub>2</sub>. Der satses i stedet på mere effektiv anvendelse af energien og på skift til vedvarende energiformer, især vindmøller. Geologisk lagring af CO<sub>2</sub> kunne imidlertid være en supplerende mulighed i tilfælde af, at de iværksatte foranstaltninger ikke er tilstrækkelige eller ikke kan nå målene hurtigt nok, samt hvis det bliver nødvendigt med større reduktioner end aftalt i Kyoto.

Det Internationale Energiagentur (IEA) i Paris har beregnet omkostningerne ved at opsamle og lagre CO<sub>2</sub> fra forskellige kilder. De samlede omkostninger varierer fra positive, hvis CO<sub>2</sub> lagres i forbindelse med indvindingsforbedrende foranstaltninger (den øgede olieproduktion betaler for lagringen) til en udgift på 40-60 US \$ per ton CO<sub>2</sub>-udslip som undgås. Langt den største del af omkostningerne er bundet i koncentration og opsamling af

CO<sub>2</sub> fra røggasser, mens udgifterne til transport og geologisk lagring er små 5-15 US \$ per ton CO<sub>2</sub>. De øgede omkostninger ved opsamling og geologisk lagring er således af samme størrelsesorden som reduktion af CO<sub>2</sub> udledning til atmosfæren ved at erstatte konventionelle kraftværker med vedvarende energikilder som vindmøller og solenergi.

IEA er begyndt at behandle geologisk lagring af CO<sub>2</sub> som en seriøs mulighed, der kan være med til at nedbringe CO<sub>2</sub>-udslippet. En særlig IEA organisation, The Greenhouse Gas R&D Programme (GHG), er blevet dannet, og Danmark er medlem af denne. Geologisk lagring af CO<sub>2</sub> betragtes af GHG som et vigtigt supplement til arbejdet med en omlægning af den nuværende energistruktur baseret på fossile brændstoffer. GHG afholdt i samarbejde med bl.a. GEUS en konference i København i juni 2001 for at belyse perspektiver og interessekonflikter i fremtidens CO<sub>2</sub> lagring.

Læs mere om the Greenhouse Gas Programme på:

[www.ieagreen.org.uk](http://www.ieagreen.org.uk)

Læs mere om SACS projektets Sleipnerfeltprojekt på:

[www.ieagreen.org.uk/sacshome.htm](http://www.ieagreen.org.uk/sacshome.htm)

Læs mere om GESTCO på:

[www.eurogeosurveys.org/projects/GestcoWeb](http://www.eurogeosurveys.org/projects/GestcoWeb)



*Landskab omkring lille Torup som huser et af Danmarks to underjordiske gaslagre.*

*Den gule stolpe ved vejen midt i billedets baggrund markerer en nedgravet naturgasledning. CO<sub>2</sub> transporteres i samme slags rørledninger.*





# GEUS' INTERNATIONALE ARBEJDE

Leif Thorning

*Det er naturligt for en forskningsinstitution som GEUS at arbejde internationalt, ja, på mange områder ville det slet ikke gå uden. Forskning og udvikling inden for de områder som GEUS beskæftiger sig med er internationalt anlagt, og uden et godt kendskab til hvad der foregår i lignende miljøer rundt om i verden, ville GEUS' egne aktiviteter og resultater ikke have den fornødne kvalitet. Derfor er mange internationale netværk oprettet og vedligeholdt af de deltagende forskere selv, og derfor er det et krav, at der skal publiceres internationalt. Det forstår forskerne, og det indretter de sig efter.*

*Også som institution er GEUS involveret i mange internationale aktiviteter og har dertil svarende forpligtigelser, f.eks. omkring EU, sammenslutninger af Geologiske Undersøgelser på nordisk, europæisk og globalt plan. Gennem disse kanaler foregår der en livlig udveksling af erfaringer og viden, og der har været rig lejlighed til at vurdere og sammenligne den udvikling som geologiske undersøgelseorganisationer i alle verdensdele har gennemgået i løbet af de sidste år. GEUS' ledende rolle i arbejdet i Grønland og involvering på Færøerne har yderligere styrket det internationale islæt i organisationen.*

## **GEUS' aktive medvirken i udviklingshjælpen**

Danmark er internationalt kendt for at yde et stort og vigtigt bidrag til udviklingslandene og er det eneste land, hvor hjælpen er godt over én procent af bruttonationalproduktet. Da der for et par år siden kom signaler fra ministeriet om at institutioner som GEUS, med deres store ekspertise på mange områder, burde/-

skulle involvere sig mere direkte i udviklingsprojekter, blev det modtaget med interesse i huset. Det føles helt naturligt at lade den erfaring og ekspertise, som er samlet i GEUS, deltage i de vigtige og politisk højt prioriterede opgaver bl.a. i ulandene. GEUS havde tidligere erfaringer fra udenlandske projekter af denne type, fx i Vietnam, i de baltiske og østeuropæiske lande,

og også under fjernere himmelstrøg i Afrika. Mange af GEUS' medarbejdere havde også personlige erfaringer på området. Det stod imidlertid klart, at hvis omfanget af denne type aktiviteter i udviklingslande og Østeuropa skulle øges betydeligt, måtte der en meget målrettet indsats til. GEUS udarbejdede derfor en strategi for øget deltagelse i udviklingsprojekter, som blev indar-



*Tinmine i Bolivia. Den gråbrune bunke midt i billedet er affald fra oparbejdningen af malmen. Affaldet er miljøgiftigt, fordi det indeholder tungmetaller. Minen er lukket, men lokalbefolkningen fortsætter brydningen med håndkraft, ofte under usle forhold. GEUS har bl.a. bidraget med miljøundersøgelse, hvor faren vurderes for tungmetallforurening af landbrugsområder neden for brydningsområdet.*

bejdet i resultatkontrakten 2000 – 2003. Målet er her, at aktiviteter i udviklingslande og Østeuropa i løbet af resultatkontraktens løbetid skal nå op på 5-10 % af omsætningen. Ved udgangen af 2000 er processen godt i gang. GEUS har allerede gennemført de første projekter med succes og er nu langt inde i flere opsøgende og forberedende aktiviteter. GEUS må siges stadig at befinde sig i en åben fase, hvor mulighederne opsøges og undersøges, men i løbet af 2001 bliver det nødvendigt at fokusere og koncentrere indsatsen. Selvom der stadig er et stykke vej til målet, tegner 2001 til at blive et meget aktivt år på området.

### Hvad kan GEUS tilbyde?

GEUS er en forskningsinstitution og i udgangspunktet temmelig forskellig fra rene konsulentfirmaer, på godt og ondt. GEUS kan måske siges at være mere velegnet til lange seje træk, som i 'twining arrangementer', og har allerede gode erfaringer i forbindelse med institutionel kapacitetsopbygning. Denne type opgaver ligger godt for en faglig bred organisation, som kan kombinere bistandsopgaven med nationale opgaver. På samme måde som når det drejer sig om rådgivning af danske og

grønlandske myndigheder, må det også i forhold til ulande gælde, at indsatsen bør hvile på et solidt grundlag af faglige udviklings- og forskningsaktiviteter – om end de ikke behøver at udgøre hovedparten i ethvert projekt. På mange områder har GEUS et fordelagtigt udgangspunkt i den rådgivende virksomhed, vi udfører over for myndigheder i Danmark og Grønland. GEUS har i en lang periode deltaget aktivt i præcis den form for ansvarlig myndighedsbehandling, som mange ulande har så stort et behov for, og som de gerne vil have opbygget.

Under de strategiovervejelser der blev gennemført op mod indgåelsen af den nuværende resultatkontrakt, udkrystalliserede der sig fem vigtige områder, hvor GEUS uden tvivl har meget at tilbyde ulandene, hvad angår både faglig ekspertise og langsigtet institutionsopbygning:



Tanzania



Tanzania



Uganda

# hovedområder

## Databanker og arkiver

Såvel den fysiske opbevaring af prøver og data, som håndtering af de elektronisk baserede databaser er af betydning for de fire andre hovedområder

## Mineralske ressourcer

Faglig viden om mineraliseringer, tolkning af relevante data; deres udnyttelse og påvirkning af miljøet; systemer til håndtering af myndigheders regulering af mineralsektoren

## Olie og gas

Faglig viden om forekomster af olie og gas, samt metoderne til tolkning af især seismiske data; myndighedsvurderinger af prospekter

## Vand

Forekomster af vand, på overfladen og især som grundvand; modeller; kvalitet og monitorering; organisering af brugen og fordeling af vand

## Kyster

Beskrivelser og tolkninger; stabilitet over for menneskeskabt påvirkning, som anlægsarbejder og resourceudnyttelse

Gennem disse fem hovedområder har GEUS mulighed for at yde ulandene assistance, der har stor betydning for en fornuftig og bæredygtig udnyttelse af landenes naturgivne ressourcer.

## Opbygning af nye færdigheder

GEUS er selvfølgelig ikke uvant med deltagelse i projekter på kommerciel basis. Men det er nødvendigt at have en detaljeret forståelse af de helt særlige regler, der gælder for forberedelse, undersøgelse og implementering af ulandsprojekter. Der er derfor startet en målrettet, op-søgende virksomhed over for internationale sponsorer af ulandsarbejde, såsom Verdensbanken, den Nordiske Udviklingsbank, den Inter-amerikanske Udviklingsbank, den Afrikanske Udviklingsbank og den Asiatiske Udviklingsbank, for at nævne nogle af de væsentligste. Samtidig er GEUS meget opmærksom på de projekter som udbydes af de danske organisationer som Danida, Dancee, Dancea og Danced. GEUS er indstillet på at deltage i konkurrencen om opgaver på basis af internationale udbud og vil foretage en betydelig intensive- ring af indsatsen i 2001. Ligeledes vil GEUS være interesseret i kortere varende konsulentop-



Indien



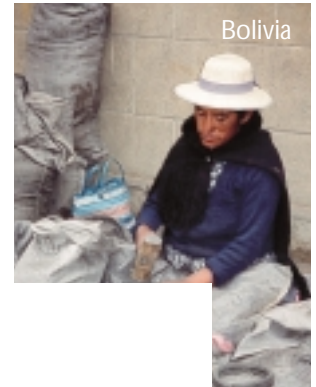
Litauen

gaver, f.eks. i forbindelse med tidlige faser i undersøgelse af nye projektmuligheder. En forstærket indsats på ulandsområdet kan dog kun gennemføres, hvis GEUS også udvikler de nødvendige interne procedurer og aftaler for institutionen selv og for personalet.

### Bevarelse af ekspertise

For GEUS er det væsentligt løbende at bevare og udvikle det solide forskningsbaserede faglige grundlag for de aktiviteter som GEUS deltager i. Det gælder som sagt også, når opgaverne ligger i udviklingslande. I den udstrækning det er muligt, fokuserer GEUS derfor på opgaver, som ligger i naturlig forlængelse af allerede velkendte faglige og praktiske temaer. Det kan give sig udtryk i de metoder, som GEUS involverer i projekterne, eller ved at projekterne placeres i lande, hvor f.eks. den geologiske opbygning ligner, hvad der for mange geologer er velkendte forhold i Grønland eller andre velkendte dele af Rigsfællesskabet. Derved kan der også opstå en synergi, hvor erfaringer og viden, som opstår i ulandsprojekterne, kan medføre en positiv påvirkning af aktiviteterne i de mere hjemlige områder. I den forbindelse er det også typisk, at der i flere af de projekter som

allerede er gennemført eller i gang er indeholdt væsentlige elementer af egentligt forsknings samarbejde om problemstillinger med udspring i udviklingslandene.





### **Alliancer og partnere**

Der er en tendens til, at de projekter der udbydes i udviklingslandene, er komplekse og har mange aspekter. Det drejer sig kun sjældent om ét fagligt specifikt emne, oftere er det hele programmer med elementer af undersøgelse, generering af ny viden gennem forskning, myndighedsaspekter inklusiv lovgivning eller vurdering af eksisterende love og regler, uddannelse af mennesker i ulandene samt opbygning af organisationer. Det er derfor naturligt, at GEUS i lighed med andre aktører på området har behov for at alliere sig med partnere, så det er muligt i fællesskab at dække de mange aspekter af typiske ulandsprojekter. GEUS vil, som det er sket indtil nu, også i fremtiden indgå de nødvendige partnerskaber med danske eller udenlandske firmaer og med andre institutioner i Danmark eller i udlandet. Ikke mindst ser GEUS det som meget væsentligt at inddrage lokale institutioner og medarbejdere i de udviklingslande, som projekterne berører. GEUS er her helt i overensstemmelse med det som f.eks. Verdensbanken kalder 'the Participation Principle'.

### **Status ved udgangen af 2000**

I løbet af 2000 er GEUS kommet godt i gang med den nye type af aktiviteter og har indvundet flere værdifulde erfaringer. Projekter startet i 1999 er afsluttet som planlagt og danner grundlag for nye ansøgninger. Nye projekter er startet i 2000 og er stadig aktive, mens forarbejdet til nye projekter i 2001 er blevet intensiveret betydeligt.

Den mangeårige indsats i Vietnam, omkring kapacitets- og institutionsopbygning på olie og gasområdet ved Vietnam Petroleum Institute, har dannet grundlag for udarbejdelsen af en ansøgning til Danida/ENRECA om støtte til et fortsat uddannelsesprojekt; foreløbig over tre år. Projektet beskæftiger sig med integreret analyse og modellering af geologiske bassiner i Vietnam og en vurdering af deres olie/gas potentiale. Der forventes svar på ansøgningen i løbet af første halvår 2001. Sammen med mange andre danske og thailandske deltagere og bidragsydere er GEUS også involveret i oprettelsen af et forskningscenter vedrørende skove og mennesker i Thailand, samt i et andet projekt i Malaysia vedrørende bevarelse og bæredygtig udnyttelse af skove, det sidstnævnte finansieret af Danida.

I 2000 blev et et forskningsprojekt i Tanzania afsluttet, der var finansieret af Danida/RUF. I et samarbejde med Universitetet i Dar es Salaam og Geological Survey of Tanzania i Dodema gennemførte GEUS og DMU et pilot projekt med kombineret mineralefterforskning og miljømæssig vurdering. Baseret på erfaringer fra dette projekt er der nu udarbejdet planer for et fortsat samarbejde omkring uddannelse på M.Sc. og Ph.D. niveau i malmgeologi og miljøvurdering. Projektet tænkes foreløbigt at løbe over fire år, og der er indsendt ansøgning til Danida/ENRECA om finansiering med forventet svar i løbet af første halvår 2001.

Et andet pilot projekt i Uganda, der startede i 2000 er også finansieret af Danida/RUF. Projektet, der blandt andet gennemføres i samarbejde med Makerere Universitetet i Kampala og London School of Hygiene and Tropical Medicine, forsøger at vurdere muligheden for at rekonstruere farlige sygdommes historie og klimasvingningers påvirkning heraf ved at studere søsedimenter i det østlige Afrika.

I Østeuropa har der i 2000 især været aktiviteter i Ukraine og Rumænien. Projektet i Ukraine

er finansieret af Dancee og er rettet mod en undersøgelse og gerne afværgelse af de uheldige følger på grundvandet af minedrift og industriel produktion. Projektet i Rumænien er et led i et større, Verdensbank finansieret program med det formål at oprette og modernisere mineralsektoren i Rumænien. GEUS arbejder her sammen med to internationale firmaer Landmark EAME, England, og Intergraph Inc, Rumænien, om at udvikle et matrikelsystem for miner og til-

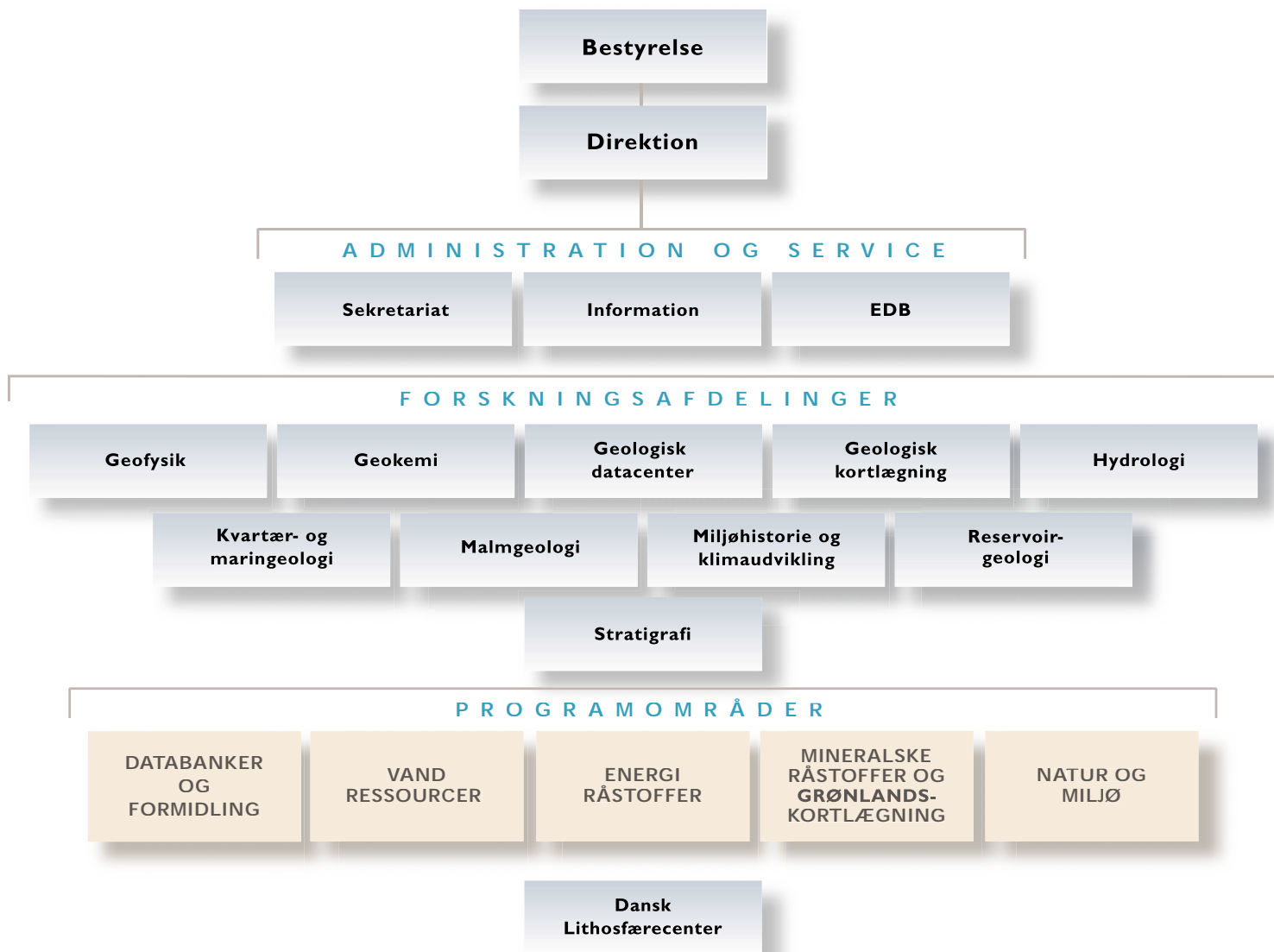
hørende databaser og procedurer i overensstemmelse med den Rumænske minelov, som administreres af National Agency for Mineral Resources i Bucharest. GEUS er således godt i gang med at nyttiggøre sin viden og ekspertise i udviklingslandene på mange og vigtige områder. Det har sin effekt på det daglige liv i GEUS, men frem for alt er det forventningen, at det vil have en positiv effekt i modtagerlandene.

Småskala minedrift i Afrika. Åben guldmine i Tanzania. Malmen udgraves, knuses og formales med håndkraft. Den formalede malm bliver blandet med metallisk kviksølv. Blandingen bliver ristet i en jernpande over åben ild; kviksølvet fordampes og guldet ligger tilbage. Man kan tænke sig til kviksølvforurening af arbejderne og miljøet. GEUS har bidraget til at indføre en miljøvenlig metode til gulddudvindingen, hvor størstedelen af kviksølvet kan genindvindes.





En snedækket gade uden for National Agency for Mineral Resources i Bucharest. Rumænien er rig på mineralske ressourcer, men både industrien og myndighederne har et stærkt behov for at omstille sig til moderne vestlige metoder og normer.



# ORGANISATION



GEUS var i 2000 organiseret med ti forskningsafdelinger og tre administrative/serviceafdelinger. Derudover er Dansk Lithosfærecenter (DLC) administrativt tilknyttet GEUS.

Det faglige arbejde foregår på 5 programområder, hvor opgaverne løses i større eller mindre projektgrupper, som ofte bemannes på tværs af afdelingsstrukturen.

Projektstrukturen betyder at medarbejdere fra flere forskningsafdelinger normalt deltager i samme projekter og er således medvirkende til at udvikle såvel det faglige som det sociale miljø. Ved årsskiftet 1999-2000 blev det faglige direktionssekretariat nedlagt og midlertidigt lagt under det administrative sekretariat, men blev pr. 1. 12. 2000 endeligt placeret i den ny Informationsafdeling, hvor også "Foto og Grafisk Enhed" blev placeret.

Der kan læses mere om organisationen på GEUS' internetsted ([www.geus.dk](http://www.geus.dk)) og i beskrivelsen af afdelingernes arbejdsopgaver på side 106 - 111 i denne årsberetning.



# BESTYRELSE

**Per Buch Andreassen**, bestyrelsesformand, adm. overlæge, dr.med., Københavns Amts Sygehus i Gentofte

**Jørgen Bojsen-Koefoed**, seniorforsker, ph.d., Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS), fra 1/1- 2001

**Anders Bækgård**, direktør, civilingeniør, Danske Vandværkers Forening.

**Ole Christiansen**, vicedirektør, cand.jur., Skov- og Naturstyrelsen, til 31/12-2000

**Else Marie Friis**, professor, lic.scient., Naturhistoriska Riksmuseet, Stockholm, til 31/12-2000

**Kirsten Friis**, laboratoriefuldmægtig, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS), til 31/12-2000

**Roy Gabrielsen**, professor, Geologisk Institut, Universitetet i Bergen, fra 1/1-2001

**Lasse Gudmundsson**, Laboratoriefuldmægtig, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS), fra 1/1-2001

**Martin Heinesen**, afdelingsleder, cand.scient., Naturhistorisk Museum, Tórshavn; fratrædt pr. 25/10-2000.

**Jesper Hermansen**, underdirektør, cand.jur., Miljøstyrelsen, til 31/12-2000

**Jørgen Høy**, direktør, Dansk Olie og Naturgas A/S, til 31/12-2000

**John Korstgaard**, professor, lic.scient., Geologisk Institut, Aarhus Universitet, fra 1/1-2001

**Aase Lynæs**, kontorchef, cand. jur., Miljøstyrelsen, fra 1/1-2001

**Anne-Marie Rasmussen**, kontorchef, cand. jur., Skov-og Naturstyrelsen, fra 1/1-2001

**Anette Reenberg**, professor, dr. scient. Geografisk Institut, Københavns Universitet, fra 1/1-2001

**Hans Kristian Schönwandt**, direktør, mag.scient., Råstofdirektoratet, Nuuk, Grønland

**Peter Helmer Steen**, vicedirektør, akademiingeniør, Energi styrelsen

**Lars Stemmerik**, seniorforsker, ph.d., Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS), til 31/12-2000

**Merete Styczen**, Sektionsleder, lic. agro. Institut for Vand og Miljø, DHI Hørsholm, fra 1/1-2001

**Finn Surlyk**, professor, dr.scient., Københavns Universitet, til 31/12-2000

Suppleanter:

**Árni Ólafson**, konsulent, cand.polit., (suppleant for Martin Heinesen) Fratrædt pr. 25/10-2000.

**Hans Kristian Olsen**, chefgeolog, cand.scient., (suppleant for Hans Kr. Schönwandt)









# LEDELSE

## DIREKTION:

**Martin Ghisler**, administrerende direktør

**Johnny Fredericia**, vicedirektør

**Kai Sørensen**, vicedirektør

## ADMINISTRATION OG SERVICE:

**Erik Stenestad**, chefgeolog, direktionskonsulent til 31/10-2000

**Niels Peter Christensen**, chefkonsulent

**Ole Bjørn Hansen**, kontorchef, Sekretariatet til 30/11-2000

**Poul Danstrup Andersen**, sekretariatchef fra 1/12-2000

**Arne Dinesen**, chefgeolog og informationsansvarlig chef til 30/6-2000

**Henrik Højmark Thomsen**, informationschef fra 1/9-2000

**Marianne Thorsen**, chefkonsulent

**Sten Troelstrup**, EDB-chef

**John Tychsen**, chefkonsulent

## FORSKNINGSAFDELINGER:

**Richard Bradshaw**, statsgeolog, Miljøhistorie og Klima

**Flemming Getreuer Christiansen**, statsgeolog, Stratigrafi

**Peter Gravesen**, statsgeolog, Kvartær- og Marin-geologi

**Niels Henriksen**, statsgeolog, Geologisk Kortlægning til 30/9-2000

**Christian Knudsen**, statsgeolog, Geologisk Kortlægning fra 1/10-2000

**Finn Nyhuus Kristoffersen**, databankchef, Geologisk Datacenter

**Bo Lindhardt**, statsgeolog, Geokemi fra 1/3-2000

**Bjarne Madsen**, statsgeolog, Hydrologi til 30/11-2000

**Jens Jørgen Møller**, statsgeolog, Geofysik

**Per Rosenberg** konstitueret statsgeolog, Geokemi til 29/2-2000

**Alex Sonnenborg**, statsgeolog, Hydrologi fra 1/12-2000

**Erik Thomsen**, statsgeolog, Reservoirgeologi

**Leif Thorning**, statsgeolog, Malmgeologi

Billedet er fra Sletten Strand nord for København med udsigt til Ven og Skåne på den anden side af Øresund. På Stranden gror et par gamle piletræer; træerne ligner oliventræer og billedet kan minde om en strand ved Middelhavet.

I forbindelse med bygningen af den faste forbindelse over Øresund udførte GEUS et omfattende overvågningsarbejde for at følge om aktiviteterne påvirkede havbundsmiljøet og kysterne på begge sider af Sundet.

# AFDELINGER

I dette afsnit bringes en kort karakteristik af GEUS' organisatoriske enheder og arbejdsopgaverne i de enkelte enheder. Beskrivelsen er opdelt i to dele; først omtales administration og serviceenhederne, og derefter forskningsafdelingerne. Bortset fra Direktionen der nævnes først, er enhederne omtalt i alfabetisk rækkefølge. Organisationsdiagrammet findes på side 100.

## ADMINISTRATION OG SERVICE:

### DIREKTION

*Martin Ghisler,  
Administrerende Direktør  
Kai Sørensen,  
Vicedirektør  
Johnny Fredericia,  
Vicedirektør  
Maj-Britt Liljensøe,  
Kontorfuldmægtig  
Helle Dybdal Pedersen,  
Kontorfuldmægtig  
Gitte Linder Rasmussen til 31/12-2000  
Kontorfuldmægtig*

### ADMINISTRATIVT SEKRETARIAT

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

### EDB

*IT-chef Sten Troelstrup  
Arbejdsområder:  
Afdelingen har ansvaret for opbygning, drift og videreudvikling af de centrale servere, netværket og udbuddet af fælles services og faciliteter som printere og plottere, for DBA-funkere og for anskaffelse og opsætning af pc'er, i nettet og som hjemmearbejdspladser. Afdelingen yder brugerstøtte og afholder interne brugerkurser inden for dette område.  
Det overordnede formål er at sikre en sammenhængende, tidssvarende og brugervenlig IT-installation, der er så robust som muligt både i drift og i relation til kapacitetudvidelser og muligheden for at tilføje nye systemer og anvendelser, hvadenten det drejer sig om geologiske databaser, GIS-værktøjer, analyse- og tolkningsprogrammer, administrative løsninger og andet.  
Afdelingen varetager GEUS' interesser i udformningen og realiseringen af Miljø- og Energiministeriets fælles IT-strategi, herunder PEA-projektet.*

### INFORMATIONSAFDELINGEN

*Informationschef Henrik Højmark Thomsen  
Arbejdsområder:  
Informationsafdelingen blev oprettet 1/12-2000, og rummer, foruden det tidligere faglige direktionssekretariat (der fra 1/1-2000 midlertidigt var placeret under det administrative sekretariat) også den tidligere Foto og Grafisk Enhed; denne*



*Ordrup Næs. Havet og kysten er vigtige områder for GEUS' arbejde.*



enheds arbejdsområde med grafisk tjeneste, herunder tegnestuefunktioner med DTP, video, multimedie og fotolaboratorium fortsætter uændret i den nye afdeling. Informationsafdelingen varetager institutionens formidlingsaktiviteter, herunder bistand og redaktionelt arbejde ved udarbejdelse af arbejdsprogram, årsberetning, publikationskatalog, projektkatalog og informationsblad. Koordinering af kvalitetsstyring af GEUS' produkter, herunder varetagelse og koordinering af GEUS' internet aktiviteter.

## FORSKNINGSAFDELINGER

### GEOFYSIK

Statsgeolog Jens Jørgen Møller

Arbejdsområder:

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

### GEOKEMI

Statsgeolog Bo Lindhardt

Arbejdsområder:

Afdelingens arbejde omfatter undersøgelse af materialer og kemiske processer mellem jord- og vandfase i den umættede zone og i grundvandszonen, såvel naturlige processer som processer forårsaget af menneskelig aktivitet (forurening

m.v.). Endvidere organokemiske undersøgelser af kulbrinter og kildebjergarter for olie og gas samt forbrændingsteknologiske undersøgelser.

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

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

### GEOLOGISK DATACENTER

Databankchef Finn Nyhuus Kristoffersen

Arbejdsområder:

Afdelingen er ansvarlig for institutionens databankvirksomhed vedrørende geologiske basisdata og har derigennem et tæt samarbejde med institutionens øvrige videnskabelige afdelinger som datamodtager, dataorganisator og dataleverandør. De centrale arkiver og prøvemagasiner rummer alle gængse datatyper fra olie/gas aktiviteter inden for rigsfællesskabet mellem Danmark og Grønland, maringeologiske data, samt oplysninger indsendt i henhold til råstof- og vandforsyningsloven. Endvidere varetages udstillingsvirksomhed og bibliotekstjeneste (søgning, udlån, udsendelse), og afdelingen er ansvarlig for feltudrustning til GEUS' ekspeditioner på Grønland. Afdelingen formidler oplysninger og data til såvel interne brugere som olieselskaber, universiteter, amter m.v. Afdelingen har i den sammenhæng specialiseret sig i reproduktion af data, senest i effektiv overførsel af digitale data imellem forskellige medier. Afdelingen hed indtil 1/12-2000 "Geologisk informations- og datacenter", men skiftede til "Geologisk datacenter" efter oprettelsen af Informationsafdelingen.

## **GEOLOGISK KORTLÆGNING**

Statsgeolog Christian Knudsen

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 råstofferforskning eller har specifik forskningsmæssig relevans, og 3) geologiske specialundersøgelser med bl.a. kort i varierende skala fra 1:250.000 til 1:20.000. Emnemæssigt spænder afdelingens arbejde vidt, idet der foretages undersøgelser i prækambriske grundfjeldsområder, i proterozoiske til palæozoiske bassinområder, i palæozoiske foldebælter og i mesozoiske til tertiære sediment- og basaltområder. En væsentlig del af arbejdet er baseret på et videnskabeligt samarbejde med en række danske og udenlandske geologiske institutioner, hvis medarbejdere deltager i feltarbejdet og oparbejder materiale indsamlet i forbindelse hermed.

GEUS' tyndslibslaboratorium samt laboratoriet for bjergarts-kemiske 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.

## **HYDROLOGI**

Statsgeolog Alex Sonnenborg

Arbejdsområder:

Afdelingen arbejder med videnopbygning og rådgivning indenfor de dele af det hydrologiske kredsløb, der vedrører forvaltning af vandressourcerne. Hovedvægten er lagt på grundvandet og dets samspil med overfladevandssystemerne. En væsentlig del af arbejdet vedrører beskyttelse og udnyttelse af ferskvandsressourcerne, herunder undersøgelse og beskrivelse af de mekanismer og processer, der er af betydning for grundvandets strømningsforhold. Det gælder forekomst og mængde samt transport og spredning af

opløste stoffer. Mere specifikt arbejder afdelingen med opgaver inden for områderne grundvandsindvinding og ressourcenvurdering, grundvandsbeskyttelse og grundvandsrestaurering samt overvågning. Dette omfatter bl.a. analyser af grundvandsressourcens størrelse og kvalitet på regionalt niveau gennem systematiske målinger og modellering. I forbindelse hermed varetager afdelingen GEUS' fagdatacenter funktion vedrørende det nationale overvågningsprogram på grundvand. Desuden driver afdelingen en vandressource-model for hele landet, hvis formål primært er at beregne variation og udvikling i vandressourcens fordeling på regionalt og nationalt niveau som følge af ændringer i arealanvendelse, nedbør og vandindvinding.

Opgaverne løses med anvendelse af en række værktøjer, der til stadighed vedligeholdes og udvikles og omfatter følgende: Modelleringsteknikker, aldersbestemmelse og sporstofmålinger, geofysiske målemetoder (borehulsslogs), hydrauliske testmetoder, samt remote sensing teknikker.

## **KVARTÆR- OG MARINGEOLOGI**

Statsgeolog Peter Gravesen

Arbejdsområder:

Afdelingen arbejder med videnskabelige undersøgelser inden for kvartærgeologi, herunder kvartær stratigrafi og jordbundsforhold. Afdelingen udfører geologisk, hydrogeologisk og råstofgeologisk kortlægning, herunder undersøgelse af specielle råstoffer f.eks. moler, tungsand og ler, samt praktisk geologiske undersøgelser bl.a. for private. Arbejdet omfatter desuden ingeniørgeologiske undersøgelser i forbindelse med større anlægsarbejder, og geologisk rådgivning over for råstof erhvervet og offentlige myndigheder i råstof- og fredningsspørgsmål. Afdelingen driver Vandressourcearkivet og Drikkevandsregisteret med bl.a. drikkevandsanalyser. Oplysningerne i afdelingens arkiver og registre indgår i Fagdatacenteret for Boring- og Grundvandsdata – et af de fagdatacentre, som bl.a. står til rådighed for Miljøstyrelsens overordnede administration af vandhusholdningen. Arkiver og

registre udgør samtidig det Nationale Referencecenter for Grundvand, der er en del af det danske netværk under Det Europæiske Miljøagentur. Konsulenttjenesten, som er offentlighedens indgang til geologisk rådgivning på GEUS, sorterer også under afdelingen. Afdelingen varetager den overordnede koordinering af institutionens anvendelse af Geografiske Informations Systemer (GIS) og rummer et "GIS laboratorium", der virker i samarbejde med ministeriets øvrige styrelser.

Afdelingen varetager det Nationale Referencecenter for Jord og deltager i det Europæiske Temacenter 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.

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

## **MALMGEOLOGI**

Statsgeolog Leif Thorning

Arbejdsområder:

Afdelingens hovedopgave er at varetage institutionens indsats vedrørende mineraliske råstoffer i Grønland. Denne indsats har de senere år været præget af et klart politisk ønske om igen at gøre minedrift til et væsentligt fundament for samfundsøkonomien og velfærdsudviklingen i Grønland. Strategien for forskning og udvikling inden for mineralområdet i Grønland er tostrengt, idet den dels skal fremme indsamling og bearbejdning af geodata med henblik på at opbygge viden af væsentlig betydning for vurderingen af et områdes mineralpotentiale, og dels skal muliggøre anvendelse af denne viden til at afgrænse og karakterisere Grøn-

lands mineralprovinser. Det er målet at indsamle og sammenstille tidssvarende geologiske, geofysiske, geokemiske data samt flere andre typer observationer over udvalgte områder med henblik på samtidigt at forbedre grundlaget for mineindustriens efterforskning i disse områder.

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

Afdelingen yder bistand til Råstofdirektoratet, Grønlands Hjemmestyre i forbindelse med efterforskning og udnyttelse af mineralforekomster, herunder bl.a. behandling af ansøgninger samt myndighedsbehandling af selskabernes aktiviteter, og er involveret i forskellige informationsaktiviteter rettet mod den internationale mineindustri. Afdelingen driver en række databaser og arkiver af interesse for mineindustrien, herunder en malmdatabase samt en database for LANDSAT billeder.

## **MILJØHISTORIE OG KLIMAUDVIKLING**

Statsgeolog Richard Bradshaw

Arbejdsområder:

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

Isdækkede områder og deres betydning for smeltvandsafstrømningen og klimaets udvikling indgår også i afdelingens arbejde.

På det glaciologiske område udfører afdelingen forskning inden for masse- og energibalance for gletschere samt gletscherdynamik og hydrologi. Arbejdet omfatter tillige palæoklimatiske undersøgelser og kortlægning af gletscherændringer med henblik på en bestemmelse af havspejlsniveauet under ændrede klimatiske forhold. Afdelingen driver og udvikler en national database for Indlandsisen i Grønland. Databasen anvendes til udvikling af regionale modelberegninger, bl.a. til brug i globale atmosfæremodeller. En væsentlig side af de glaciologiske aktiviteter er knyttet til vandkraftplanlægning og -udnyttelse.

På grundlag af den opbyggede viden yder afdelingen rådgivning til offentlige og private rekvirenter i både ind- og udland. Det gælder bl.a. danske og internationale bistandsopgaver i Østeuropa og Den Tredje Verden samt Grønlands Hjemmestyre i vandkraftspørgsmål.

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

## **RESERVOIRGEOLOGI**

Statsgeolog Erik Thomsen

Arbejdsområder:

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

vikling. Desuden forskes der i mulighederne for, at lagre store mængder CO<sub>2</sub> fra naturgasproduktion og kraftværker i porøse dybtliggende sandlag. Under afdelingen sorterer et Kerneanalyaselaboratorium, som udfører konventionelle og specielle analyser for såvel institutionen som eksterne kunder.

## **STRATIGRAFI**

Statsgeolog Flemming Getreuer Christiansen

Arbejdsområder:

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

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

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

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

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

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

Tilsvarende bistår institutionen myndighederne i administrationen af lovgivningen om udnyttelse af forekomster i Danmarks og Grønlands undergrund, herunder i varetagelsen af statens tilsyn med efterforskning og indvinding af olie og naturgas m.m.

Desuden udfører institutionen i vidt omfang opgaver på kontraktvilkår.

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

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

