

# GEOLOGI

NYT FRA GEUS

RÅSTOFPRODUKTION  
-EN EKSPORTSUCCESS

KUL, KOKS OG GEOLOGI

"JURASSIC PARK" I NORDSØEN

PESTICIDER OG GRUNDVAND

NR. 4 NOVEMBER 1996

# Råstofproduktion - en eksportsucces



Christian Knudsen

**GEUS efterforsker mineralske råstoffer i Danmark, som et led i den nationale bestræbelse på at skabe overblik over hvad der findes på vores fælles områder, også på søterritoriet. Bestæbelserne går bl.a. ud på at lokalisere nye typer råstoffer og redegøre for forekomsten af råstoffer i områder, hvor en omhyggelig arealplanlægning er nødvendig.**

For at være i stand til at gennemføre denne efterforskning og for at kunne rådgive myndigheder og råstofferhvervet, følger GEUS med i råstofproduktion og marked i Danmark, samt til en vis grad på det internationale marked.

I den danske selvbevidsthed er vi et råstoffattigt land. En opfattelse der måske kan dateres tilbage til Grundtvigs vers:

*"Langt mere af malmen så hvid og så rød  
fik andre i bjerg og i bytte;  
hos dansken dog findes det daglige brød  
ej mindre i fattigmandshytte;  
og da har i rigdom vi drevet det vidt,  
når få har for meget, og færre for lidt."*

De senere års olie- og gasfund i Nordsøen har måske pillet lidt ved denne selvforsførelse.

Det er nok de færreste, der tænker over, at der i Danmark finder en væsentlig produktion sted, også af "hårde" råstoffer, således at vi er selvforsynende med langt den største mængde af de råstoffer, som bliver brugt i Danmark. Der er fortrinsvis tale om byggeråstoffer som ler, sand, grus

og sten samt cement. Men der er også en væsentlig fremstilling af "forædlede" eller "bearbejdede" produkter med udgangspunkt i de danske råstoffer! I løbet af de sidste 10 år, er der sket en tredobling af eksporten af disse forædlede produkter fra de virksomheder, der anvender indenlandske råstoffer i produktionen, således at værdien heraf var ca. 1.5 milliarder kr. i 1995.

## Sand, grus og sten

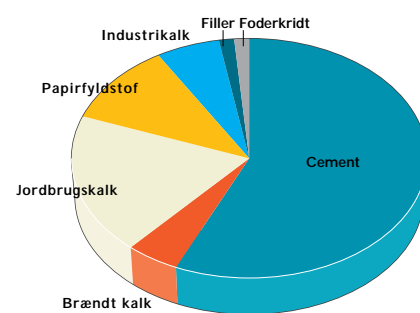
Størstedelen af denne produktion sker fra "grusgrave" fordelt ud over landet. Denne produktion må nødvendigvis, fortrinsvis ske lokalt, da der er tale om produkter med en forholdsvis lav pris, og som derfor ikke kan bære en lang transport. Produktionen er for en stor del kendetegnet ved anvendelse af traditionelle metoder - gravning med "gummiged", sigtning, pakning og så ud til kunden. Der er ikke nogen væsentlig vækst i produktionen, men der er dog hen over de senere år sket en koncentration af produktionen på de færre producenter, der har været i stand til at rationalisere produktionen og møde den skærpede priskonkurrence på markedet, og som har været i stand til at møde de stigende krav til kvalitet og dokumentation af kvalitetsstyring. Foruden produktionen fra grusgravene suppleres den med en produktion af knuste granitskærver fra Bornholm.

Udover denne landbaserede produktion, sker en del af indvindingen (ca. 20%) til havs, hvor en mindre flåde af "sandsugere" henter såvel sand som sten. Der er sket en markant vækst i denne produktion, og der er sket en koncentration på færre og

større skibe. Drivkraften bag den øgede produktion er dels de store broprojekter og dels den øgede eksport til opbygning af bl.a. det tidligere Østtyskland.

## Kalkbaserede produkter

Efter sand, grus og sten er den kalkbaserede produktion mængdemæssigt den største i Danmark. Heraf går den største mængde til produktion af cement (figur 2) på "Aalborg Portland".



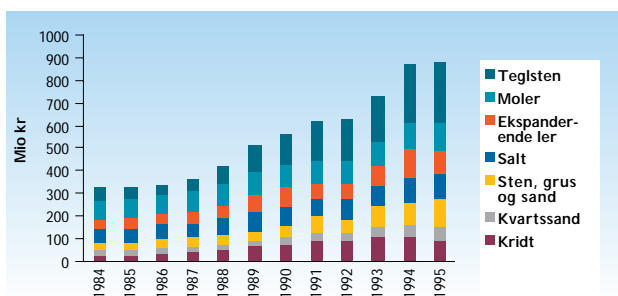
Figur 2. Anvendelse af kalkråvarer i Danmark.

Kilde: Skov og Naturstyrelsen.

På samme måde som produktionen af sand, grus og sten er denne produktion konjunkturfølsom, men har fået et løft på eksportmarkedet bl.a. hjulpet af den alliance, der blev skabt, da det engelske cementselskab "Blue Circle" i 1989 købte halvdel af cementselskabet under "Aalborg Portland Holding" (100% ejet af FL Smidt gruppen). Som det ses af figur 3 udgøres en stor del af eksporten af hvid cement, hvor Aalborg Portland står stærkt på verdensmarkedet bl.a. på grund af den meget rene råvare: Skrivekridt.

Jordbrugskalk - dvs. kalk anvendt til at justere jordbundens surhedsgrad - udgør også en stor del af de råstoffer der bearbejdes i Danmark. I Jylland graves kalken i skrivekridt af "Dankalk" samt en række mindre producenter, hvorimod Sjælland og øerne forsynes af "Faxe Kalk", der graver og knuser bryozokalk i Fakse til dette formål.

Faxe Kalk, der er landets største producent af kalk, har udover jordbrugskalk et bredt spektrum af kalkmaterialer til en



Figur 1. Værdien af eksporten af råstofbaserede "forædlede" produkter (undtagen cement).

Kilde: Danmarks Statistik.

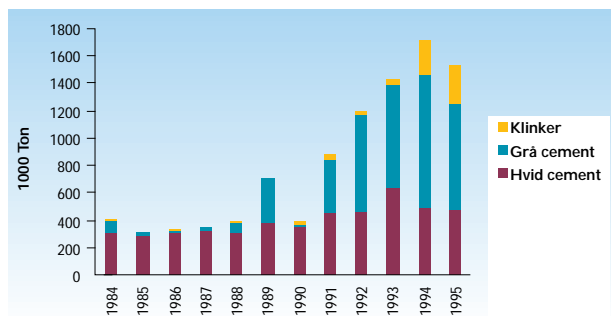
lang række formål - fra brændt kalk til f.eks. mørtel, kalk til glasfremstilling, føderkalk osv. Der er også sket en nærmest eksplosiv udvikling indenfor produktionen af kalk til røggas-rensning. Denne kalk bringes til at reagere med svovlsyren i røgen fra kraftværkerne, således at der dannes gips, der medgår ved fremstilling af gipsplader. Herudover har virksomheden i løbet af de sidste 15 år opbygget en betydelig eksport (ca. 400.000 t. pr. år) af en lang række kridtprodukter der indgår som fyldstof i finpapir. Kridtet har en række egenskaber, der gør det muligt dels at fremstille hvidere papir, øge papirets kvalitet og spare på cellulosemasse.

Faxe Kalk har benyttet sit kendskab til og position på papirmarkedet, til at udvikle en proces til produktion af kunstigt udfældet kalk (PCC) på basis af brændt kalk. Når kalken udfældes, kan man styre form og korntørrelse af partiklerne, således at man kan producere det optimale fyldstof til papir. Produktionen af PCC er lagt ved papirfabrikkerne, hvor den brændte kalk læses, slemmes op, CO<sub>2</sub> (fra fabrikkens røggas) bobles igennem og nye kalkkrystaller dannes og udfældes. Faxe Kalk har idag en produktion af PCC i størrelsesordenen 400.000 ton pr. år fordelt i Sverige, Finland, Frankrig, USA og Portugal. Faxe kalk køber idag mere brændt kalk til dette formål end der produceres totalt.

Den stærke position som leverandør af kalk til det kraftigt voksende marked indenfor papirindustrien, er nok den væsentligste årsag til at Faxe Kalk i år (1996) er blevet købt af det belgiske selskab "Lhoist", der er verdens største producent af brændt kalk.

### Moler

Danmark er den eneste producent af moler. Moler består af en naturlig blanding af diatoméer (siliciumskallede plantep plankton) og bentonit-ler. Denne usædvanlige kombination giver moleret en lang række anvendelsesmuligheder. Leret virker som et naturligt bindestof, og strukturen af diatomeerne giver materialet en høj porøsitet, der giver materialet isolerings-, absorberende-, høj overflade- og reaktivitetse-



Figur 3. Cementeksporten fra Danmark.

Kilde: Danmarks Statistik.

genskaber samt lav vægtfylde. Moleret tilhører den ca. 60 m tykke og ca. 50 mio. år gamle "Fur Formation" fra Eocæntiden. Molerlagene er forstyrret bl.a. som følge af glacial deformation under istiden, og kan ses som smukke, foldede lag f.eks. i Hantklit på Mors.

Der er to producenter af moler i Danmark: "Skamol" og "Damolin".

Skamol har, på værket på Fur, koncentreret sig om produktion af isolerende sten: ca. 30.000 m<sup>3</sup> pr. år. 95 % eksporteres fortrinsvis til virksomheder, der anvender stærkt varmekrævende smelte- eller brændingsovne i fabrikationen! F.eks. aluminium-, glas-, cement- og stålindustrien. Skamol har sin produktion af granulater og pulver fra værket ved Skarrehage på Mors. Damolin har koncentreret sig om produktion af granulater og pulver på sin fabrik på Fur, hvor der produceres ca. 40.000 ton pr. år. Moler granulater anvendes til f.eks. kattegrus og som olieabsorbent. Molerpulver anvendes i dyrefoder, filtre, cement, bremsebelægninger og som gødnings- og pesticidbærestof.

### Plastisk ler

I Danmark er der to producenter af plastisk ler: "Leca" og "Fibo", der producerer fra hver sin ende af den samme forekomst ved Ølst/Hinge syd for Randers. Der graves i glacialt forstyrret Øvre Paleocænt ler, bl.a. tilhørende "Ølst-" og "Holmehus Formationerne". Leret bringes til at ekspandere og brændes i en ovn til letklinker. Produktet anvendes overvejende i byggeindustrien og der eksporteres ca. 110.000 ton om året.

Udover forekomsten ved Ølst/Hinge, er der lokaliseret en række lignende fore-

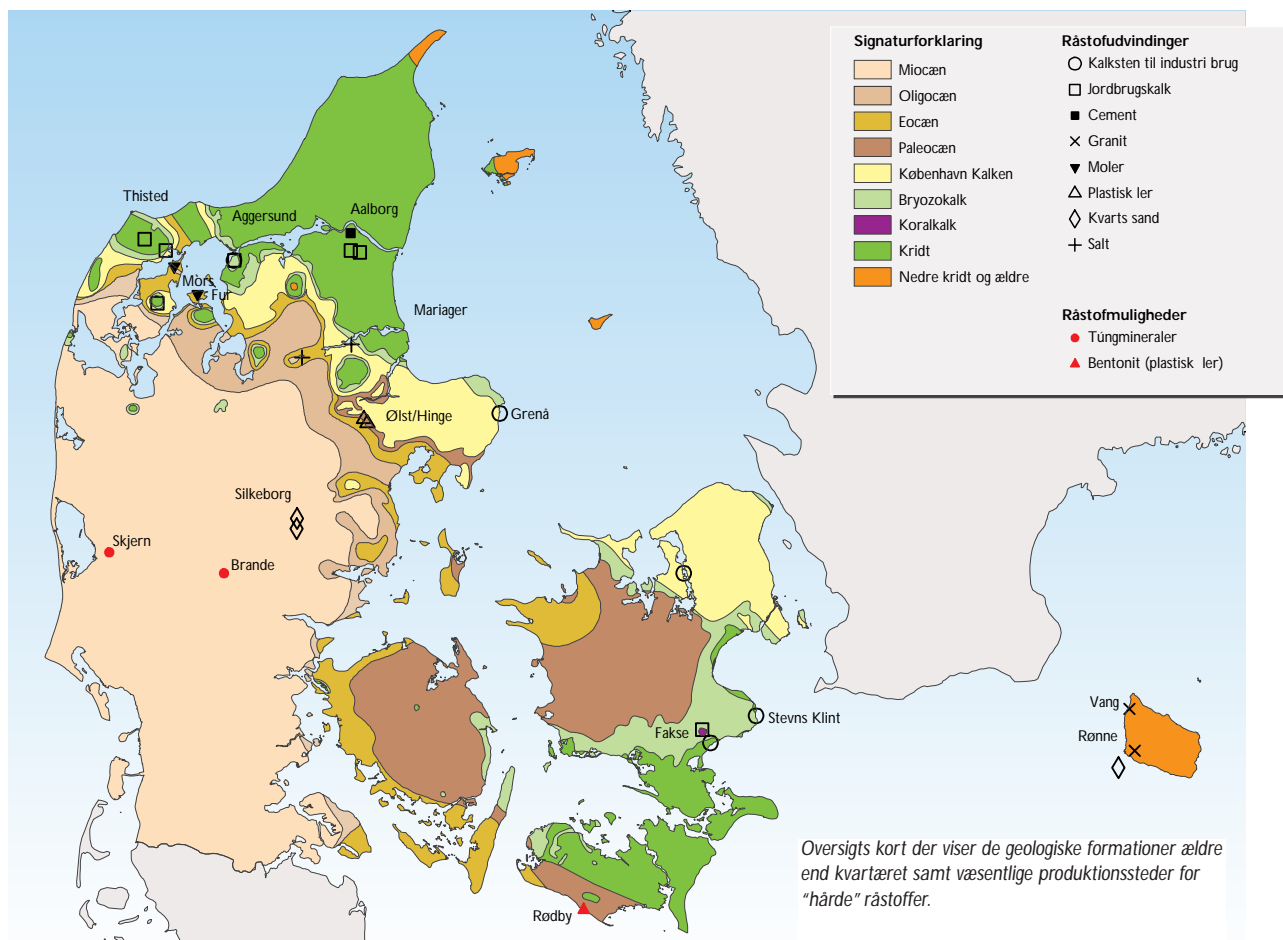
komster af ler fra "Holmehus Formationen" i Danmark. Ved Rødby planlægger firmaet "Dansk Bentonit" at starte produktion af ler bl.a. til anvendelse i olieindustrien som tilsætning i boremudder, (Maersk A/S har købt 50 % af selskabet).

### Salt

Der er en række stensaltforekomster i Danmarks undergrund. Saltet kommer ikke frem til overfladen, derfor må indvinding af salt ske underjordisk. Dansk Salt (ejet af Akso Nobel) udvinder salt fra en række boringer til en dybde af 700-1.500 m. Saltet opløses i vand, der pumpes ned i saltstrukturen, hvorefter den koncentrede "brine" (saltlage) pumpes gennem en rørledning, 26 km til fabriken ved Mariager. Her renses og inddampes saltet, hvorefter det pakkes i sække eller sendes i "bulk" form, dvs. i lastbiler eller med skib. Der produceres ca. 600.000 ton pr. år, hvoraf halvdelen sælges til den kemiske industri og ca. 100.000 ton til andre industrielle formål. 130.000 ton pr. år bruges til vejsaltning og 70.000 ton til spisesalt. Danmark er således i princippet selvforsynende med salt, men på grund af den meget høje kvalitet (renhedsgrad) af saltet til industrielle formål eksporteres en stor del (57%), hvilket balanceres af import af almindeligt salt og inddampet havsalt.

### Kvartssand

Produktion af kvartssand er koncentreret i to områder, dels i området syd for Silkeborg og dels i havet syd for Bornholm. Ved Silkeborg graves der i sandaflejringer tilhørende den Miocæne Odderup Formation. I havbunden ved Bornholm pumpes sand op fra Nedre Kridt aflejringer tilhørende Robbedale og Jydegård Formatio-



nerne. Ved Silkeborg er det fortrinsvis firmaerne Dansand og Dansk Kvarts Industri (DKI), der indvinder sand til en lang række formål: Filtersand, støbesand, sandblæsning, syntetiske tennisbaner, mørtel, filler osv. Produktionen ved Bornholm forestås af Silversand, ejet af svenske Ahlsel, til stort set de samme formål som sandet fra Jylland.

### Calcineret flint

I det nordvestlige hjørne af Jylland, ved Kløv Kær, har Superfos Construction en fabrik til fremstilling af brændt flint. Flinten hentes i hævede strandvolde, og granit samt kalkrig flint separeres fra. Flint (over 30 mm) blandes med koks og brændes ved 1200°C. Under brændingen skifter flinten farve fra sort til hvid. Dog er der også en special produktion af rød flint, ud fra flint med et højt naturligt jernindhold. Den hvide, brændte flint knuses og sigtes primært til anvendelse som tilslag til asfalt for at give denne en lysere farve. En del af produktionen farves og bruges bl.a. som overfladebelægning på betonelementer.

### GEUS' rolle

Som nævnt indledningsvis deltager GEUS i efterforskning af råstoffer i Danmark. Det gælder f.eks., hvor der er problemer med sammenstød mellem forskellige arealanvendelsesinteresser, f.eks. i Ringebakkerne ved Vang på Bornholm (granit) eller molerindvinding på Mors og Fur.

GEUS assisterer lokalt Amterne med råstofefterforskning, men GEUS kan også selv tage initiativ til efterforskning af mineraler, som i dag ikke indvindes i Danmark. Det gælder f.eks. de titanholdige mineraler ilmenit og rutil, som muligvis findes i indvindingsmæssigt interessante mængder i Midt- og Vestjylland.

Herudover rådgiver GEUS Skov- og Naturstyrelsen med udredninger om råstofrelaterede problemer.

### Fremtiden ?

De aflejringer, der i dag udnyttes til råstofbaseret produktion i Danmark, er dannet over en periode på 250 millioner år! Og råstofferne graves i et højt tempo - om-

trent 28 millioner kubikmeter pr. år. Det svarer til ca. en lastbil fuld pr. familie pr. år. Det er de bedste kvaliteter i nærheden af jordoverfladen, der tages, og det kan forudses, at der om en eller to generationer vil blive problemer med at fremskaffe råstoffer af samme høje kvalitet, som i dag.

Der er derfor behov for at arbejde for en mere "bæredygtig" anvendelse af råstofferne. Det vil f.eks. sige:

- Formindske spild under produktionen
- Øge graden af forædling af råstofferne
- Øge graden af genbrug af råstoffer
- Øge andelen af alternative råstoffer.

For at støtte en sådan udvikling har GEUS iværksat et projekt, sammen med Skov- og Naturstyrelsen og råstofindustrien, med det mål at gennemgå de forskellige dele af råstofindustrien - et segment ad gangen, og bidrage til en udredning af råstofrelaterede problemer og lokalisere nye eller alternative råvarer.

# Kul, koks og geologi



Per Rosenberg

*I årene efter den første "oliekrise" i begyndelsen af halvfjerdserne blev det besluttet at omlægge elproduktionen fra overvejende at være baseret på olie til næsten udelukkende at være baseret på kul. Det danske samfund blev på den måde mindre afhængig af de "ustabile" olieleverancer, ligesom man satte på en energikilde, der måtte opfattes som en rigelig ressource i alt fald et par århundreder frem.*

Overgangen til kul foregik ved ombygning af eksisterende oliefyrede kraftværker, og efterhånden også ved nybygning af højteknologiske værker, der var særlig indrettet til kulforbrænding (se fig. 1). I dag er 98 % af elproduktionen på de centrale kraftværker baseret på kul.

Som følge af denne omlægning blev Danmark i løbet af 1980'erne verdens største importør af kul pr. indbygger, og kullene blev importeret stort set fra hele verden. Som bekendt var Sydafrika dog udelukket i en længere periode. I Danmark kan vi desuden bryste os af at have en kulkraftproduktion, der

både med hensyn til udnyttelse af energien og med hensyn til udledninger (emission), og dermed forurening, er blandt de allerbedste i verden. Ved en kombination af elproduktion og fjernvarme, sådan som det foregår mange steder, kan der opnås virkningsgrader over 90%.

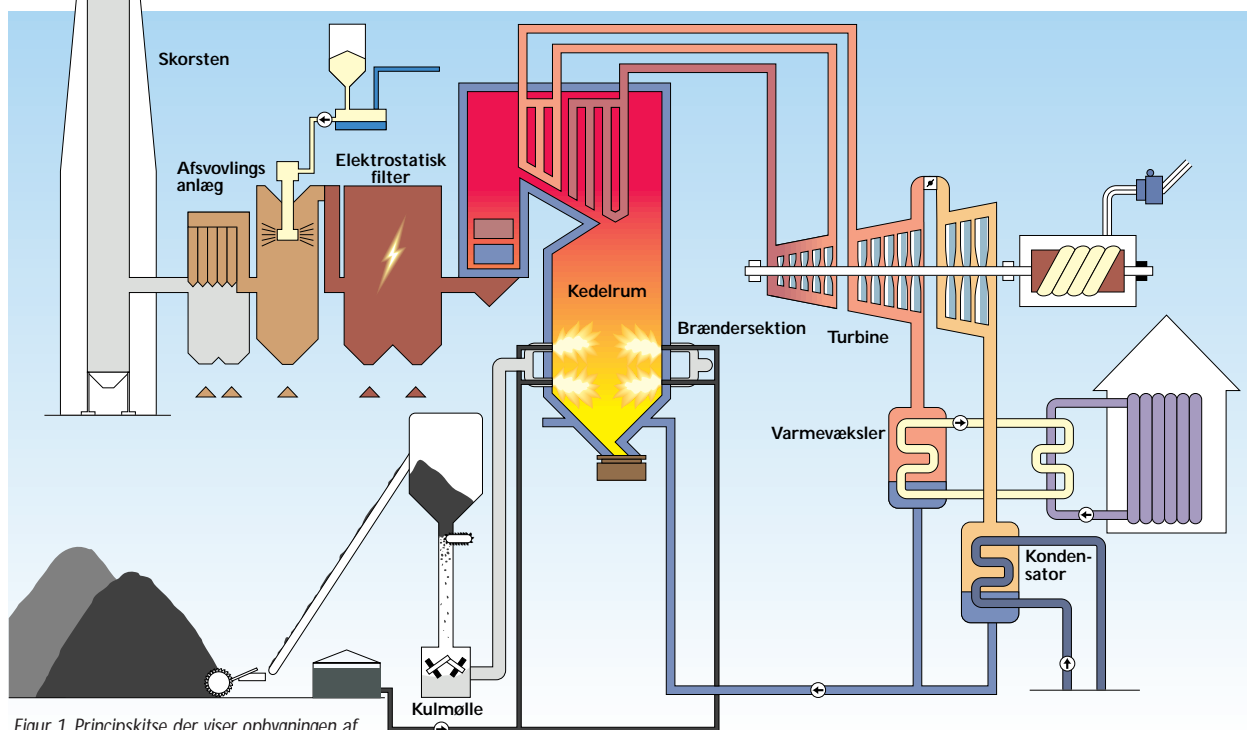
## Problemer ved anvendelse af kul

Ved indførelsen af kul dukker der imidlertid en række problemer op. Olie er i forhold til kul et forholdsvis ensartet materiale, hvor man nemt kan beskrive de egenskaber, der sikrer nogenlunde ensartet forbrænding. Kul er derimod særdeles uensartet, både indenfor den enkelte forekomst og mellem kul fra forskellige egne i verden, hvilket resulterer i at kullene har forskellige forbrændings- og udbændingsegenskaber. Man var i Danmark tidligt opmærksom på disse problemer, da man som tidligere nævnt anvender kul fra stort set hele verden (se fig. 6). De fleste andre lande med kulkraftproduktion anvender hovedsageligt egne (lokale) forekomster, der giver mere ensartede leverancer, og man kunne derfor konstruere kedlerne til lige netop disse forekomster. I Danmark begyndte man derfor, op igennem firserne, at interessere sig for, hvilke geologiske og kemiske egenska-

ber, der var bestemmende for forbrændingsegenskaberne for de forskellige anvendte kul. I dag har forholdene ændret sig, f.eks. i Tyskland og England, idet kulproduktionen i disse lande er reduceret betydeligt, og man er i stigende grad også her opmærksom på problemer med varierende kulkvalitet.

Kul indeholder typisk 5-15% uorganisk materiale, der ender som aske i røggassen (flyveaske) eller som aske, der opsamles i bunden af kedlerne (slagge). Det var derfor nødvendigt at indføre elektrostatiske filtre til opsamling af flyveasken og finde egnede lokaliteter til deponering af asken. Senere har man fundet anvendelse for flyveasken som tilsætningsmateriale til beton, eller som fyld ved anlæggelse af veje og dæmnin-ger. Dette har medført, at stort set alt flyveaske kan afsættes i dag.

Et andet problem som følge af det høje indhold af uorganisk materiale er slaggedannelse på kedlernes rørsystemer (fig. 2). Slaggedannelse resulterer i en dårligere varmeoverførsel til dampsystemet og dermed en dårligere udnyttelse af kullene, samt under visse forhold korrosionsskader. I ekstreme tilfælde kan det medføre at



Figur 1. Principskitse der viser ombygningen af et kulfyret kraftvarmewærk (Studstrup Værket ved Århus).

kedler må lukkes i utide, hvilket er forbundet med høje omkostninger for værkerne. Det var naturligt at GEUS blev involveret i forskningen omkring karakterisering af kul. GEUS havde den nødvendige geologiske indsigt, og havde desuden indarbejdet kulpetrografiske karakteriseringsteknikker. Disse metoder var ganske vist indført i forbindelse med olieeffterforsknings-aktiviteterne i Nordsøen, men er oprindeligt udviklet til karakterisering af kul.

### Lidt om kul

Kul er organisk materiale, der oprindeligt blev aflejret som plantemateriale i sump. Kullagene er af vidt forskellig alder, lige fra kultiden over kridttiden til tertiærtiden. De er således dannet ud fra plantesamfund med vidt forskellig alder og sammensætning. Gennem aflejring og indsynkning ændrer det organiske materiale sig. Som følge af varmpåvirkningen ændres tørv, der består af kun delvist omdannede planterester, til brunkul, videre over stenkul til antracit, der er et forstadium til grafit, som er fuldkommen omdannet plantemateriale. Det kul der anvendes til kraftproduktion ligger omdannelsesmæssigt (rangmæssigt) i området fra det sene brunkul til det tidlige stenkul.

Kul består af tre hovedkomponenter, de såkaldte maceralgrupper: En meget brintrig gruppe der hedder Liptinit! En mindre brintrig gruppe kaldet Vitritnit! Og en brinfattig gruppe kaldet Inertinit. Liptinit stammer hovedsageligt fra sporer, pollen, harpiks og voks. Vitritnit stammer fra véd og andre cellulose- og ligninholdige komponenter. Inertiniten er dannet ved oxidation af det organiske materiale, f.eks. ved udtørring af tørvesumpen eller ved skovbrande.

Maceralerne kendes ved deres forskellige refleksionsevne når man iagttager dem som polerede kulprøver under mikroskop. Refleksionsevnen for maceralerne ændrer sig som følge af kullenes omdannelse, bortset fra inertinitgruppens maceraler. Man anvender refleksionsevnen hos et bestemt af vitritnitgruppens maceraler for at måle kullenes omdannelse eller rang, den såkaldte vitritnitreflektans: Ro (se fig. 4).



Figur 2. Billede af slagge (kedelbelægning) fra kulfyret kraftværk.

Maceralgrupperne kan underopdeles i en lang række maceraler hovedsageligt karakteriseret ved deres refleksion og morfologi (form). Ved en geologisk tolkning af en kulforekomst er desuden maceralernes indbyrdes forbindelse, de såkaldte microlithotyper, af betydning.

De fleste kulforekomster er kendetegnet ved en ringe andel liptinit, stor andel vitritnit og en ringe til middel andel inertinit. Imidlertid er de såkaldte "Gondwana kul" (se fig. 6), der hovedsageligt kommer fra Sydafrika og fra Australien, overordentlige rige på inertinitgruppens maceraler. Disse kul er derfor blevet opfattet som dårligere kul, da inertinit traditionelt opfattes som mindre reaktivt. Det viser sig imidlertid at Gondwana kullene for de flestes vedkommende brænder aldeles udmærket. En del forskning er udført for at klarlægge årsagen til at Gondwana kullenes inertinit er mere reaktivt end inertinit stammende fra andre kul. Det menes at hænge sammen med vegetationen og det kølige, sæson-

prægede klima, som Gondwana kullene blev aflejret under! Et klima der måske kan sammenlignes med det klima der herskede i Nordeuropa i Stenalderen. De fleste andre kul typer er aflejret under tropiske-subtropiske klimaforhold, hvilket betyder, at inertiniten i disse kul kan have en anden kemisk sammensætning end inertiniten i Gondwana kullene.

Indholdet af uorganiske bestanddele er uhyre kompleks, idet dette varierer betydeligt, ikke kun med hensyn til mineralklasser, men også med hensyn til hvorledes mineralerne er placeret i den organiske grundsubstans (kul) og i forhold til hinanden. De mineraler man hyppigst finder i kul er lermineraller, kvarts, karbonater (f.eks. kalk) og pyrit (svovlkis). Oftest er de alle til stede, men i stærkt varierende mængde og partikelstørrelse.

### Kvalitetsparametre for kul

Klassiske kvalitetsparametre, der anvendes ved indkøb af kul, omfatter en række temmeligt grove fysisk/kemiske karakterer, f.eks. brændværdi, vandindhold, aske og kemisk "bulk-analyse" af de uorganiske elementer på laboratorieforskede kulprøver. Disse analyser er kendetegnet ved, at de er hurtige at udføre, således at de kan anvendes i en egentlig kvalitetskontrol. Problemet er, at disse analyser ikke fyldestgørende beskriver de variationer, der er mellem kullene, og de har da heller ikke kunnet belyse de problemer man fra tid til anden oplever på værkerne.

Der er flere ting der komplicerer forholdene, f.eks. kan kul, der brænder udmærket på ét værk, være meget vanskelig at udbrænde på et andet værk, hvilket kan bero på forskelle i knusemøller, brændere etc. Desuden blander man ofte kullene for at få



Figur 3. Billede af prøveudtagning af kokspartikler i brændzonen på Fynsværket. Partiklerne suges ud gennem en vandkølet sonde.

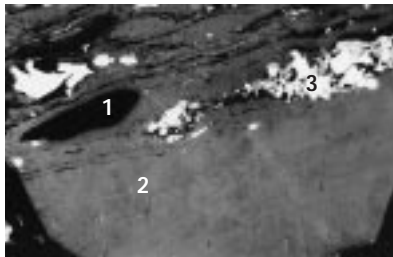
blandinger, der erfaringsmæssigt ikke giver anledning til problemer. Endeligt har selve den praktiske drift på værkerne, så som belastning, luftoverskud etc., væsentlig indflydelse på forbrændingen, NO<sub>x</sub>-dannelse (kvælstofilter) o.s.v. De egenskaber man på værkerne oplever ved brug af kullene er således en blanding af kullenes sammensætning og driftbetingelserne på det enkelte værk.

Uorganisk kemisk "bulk-analyse" på kullene er helt utilstrækkelig, til at kunne beskrive de meget komplicerede faseomdannelser og reaktioner der foregår! Det er nok på det område, der har været størst forståelse hos kraftværkerne for, at mere forskning og udvikling er nødvendig. Det har desuden været et område, hvor GEUS har kunnet give forklaringer og anvisninger til afhjælpning af konkrete problemer opstået på værkerne.

Det har på denne baggrund været ønsket at få en bedre forståelse for kullenes forskellige egenskaber, evt. ved udvikling af mere anvendelige kvalitetskriterier, hvilket har båret GEUS finansieringsmuligheder for forskning på området.

### Kulstøvsforbrænding

Ved kulstøvs- eller Pf-forbrænding (Pf = "pulverized fuel") føres kullet fra kullagrenerne ind i knusemøllerne, hvor kullet knuses til en partikelstørrelse der helst skal være mindre end 90 µm (0,09 mm). Herfra blæses kulstøvet med luft til brænderne og videre ind i forbrændingszonen. I forbrændingszonen blandes kulstøvet yderligere med luft. For at minimere dannelsen af kvælstofilter (NO<sub>x</sub>) bliver luftmængden i de moderne brændere der anvendes i dag, styret meget præcist. Man tilstræber at der i brændzonen er underskud af luft i forhold til omsætningen af det organiske materiale. De temperaturpåvirkninger en kulpartikel kommer ud for er ganske voldsomme! Opvarmningshastigheden er mellem 100.000 og 1.000.000 grader pr. sekund og temperaturen i forbrændingszonens gasser er ca. 1500°C, og man regner med at den enkelte kulpartikels overfladetemperatur kan være flere hundrede grader højere.



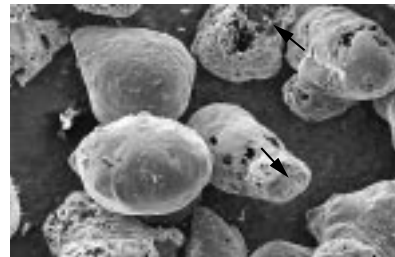
Figur 4. Billede af polerprøve af kul med kul-maceraltypene: 1) Inertinit; 2) Vitrinit og 3) Liptinit. Billedet viser maceraltypenes forskellige reflektionssevne (gråtoneværdi).

### Kulpartiklens forbrænding

Man kan groft opdele forbrændingen af en partikel i tre faser: I den første fase sker en opvarmning og en tørring. I den anden fase afgives let omsættelige organiske stoffer i form af gasser. Disse gasser forbrænder udenfor partiklens overflade. Gasserne dannes ved "pyrolyse" (sønderdeling ved ophedning) samtidigt med at partiklen er så varm at matricen (grundsubstansen) er plastisk. Dette medfører at partiklen blæser op, og der dannes et internt netværk af afgasningsporer (se fig. 5). Efter afgivelse af de såkaldte flygtige bestanddele, bliver matricen fast, og der afgives ikke længere nævneværdige mængder gasser fra partiklen. I tredje fase har man nu fået dannet det man forstår ved en kokspartikel. Forbrændingszonen rykker længere og længere ind i partiklen og omsætningshastigheden falder sammen med temperaturen. Det er en fremherskende opfattelse at morfologien (formen) af kokspartiklerne er bestemmende for udbændingshastigheden i den sidste del af forbrændingen og dermed også mængden af restkulstof i flyveasken. En høj andel restkulstof i flyveasken betyder at flyveasken bliver ubrugelig til en række formål og dermed vanskelig at sælge, men er også tegn på en dårlig udnyttelse af energien i kullene. På den baggrund har en del af kulforskningen ved GEUS været fokuseret på sammenhænge mellem udgangskullenes sammensætning, de respektive restkoks morfologi og endelig koksens reaktivitet eller udbændingsevne.

### Slaggdannelse

Reaktionen af de uorganiske bestanddele i



Figur 5. Mikrofotografi taget i et Scanning Elektron Mikroskop (SEM-foto) af kokspartikler fra et kulfyret kraftværk. Bemærk partiklernes indvendige porerstruktur. Partikkelstørrelse: ca. 0,1 mm.

forbrændingszonen er uhyre kompliceret. Dels foregår der fase omdannelser, og dels foregår der reaktioner gas/fast fase, gas/gas fase og fast/fast fase. I den koldere del af kedlen kan der forekomme kondenseringer på andre uorganiske partikler og på kedelvægge og dampprør. En del af afsætningerne på kedel og dampprør vil falde af og ende som bundaske, der ikke er til nogen gene, men under visse omstændigheder vil afsætningerne være så stabile at de bliver siddende på fladerne, hvor de som nævnt kan give anledning til meget store problemer i form af dårlig varmeoverføring og korrosion.

Forskningen på GEUS er koncentreret om en kortlægning af de uorganiske bestanddeles placering og form i kullene og deres omsætning i forbrændingszonen, for derved at klarlægge de enkelte kuls tendens til at skabe problemer i form af slaggedannelse i kedlerne. På længere sigt er det også hensigten, at kunne anviser måder, evt. i form af blanding mellem specifikke kultyper, for at kunne minimere eller eliminere et givet kuls uheldige slaggeegenskaber. Det har i dette arbejde været nødvendigt at udvikle højt specialiserede og særdeles avancerede analysemetoder ved skanning elektron mikroskopi og røntgen analyse.

### GEUS' rolle

Ti års kulforskning i relation til forbrænding er det blevet til. Projekterne har alle haft det formål, at vi gennem en forståelse af kullenes geologi, petrografi og kemi, skal blive i stand til at forudsige kullenes forbrændingstekniske egenskaber eller i det mindste kunne opstille sammenlignende

rangfølger af kultyper. Projekterne har været velfinancerede dels gennem EFP og EU og altid med Elsam og Elkraft som medfinansierende partnere. Samarbejdet med Elkraft og Elsam har været særdeles frugtbar, idet dette har betydet at forbrændingstekniske og ingeniørvidenskabelige elementer har kunnet drages ind i projekterne, hvorved projekterne er blevet anvendelsesorienterede. Imidlertid har resultaterne fra det seneste projekt i rækken vist, at hvis vi skal videre, er vi nødt til at beskæftige os med mere fundamentale aspekter af problemerne, der måske kun på langt sigt kan finde direkte anvendelse i kraftværksmæssig sammenhæng.

#### Hvilke resultater er der så kommet ud af projekterne?

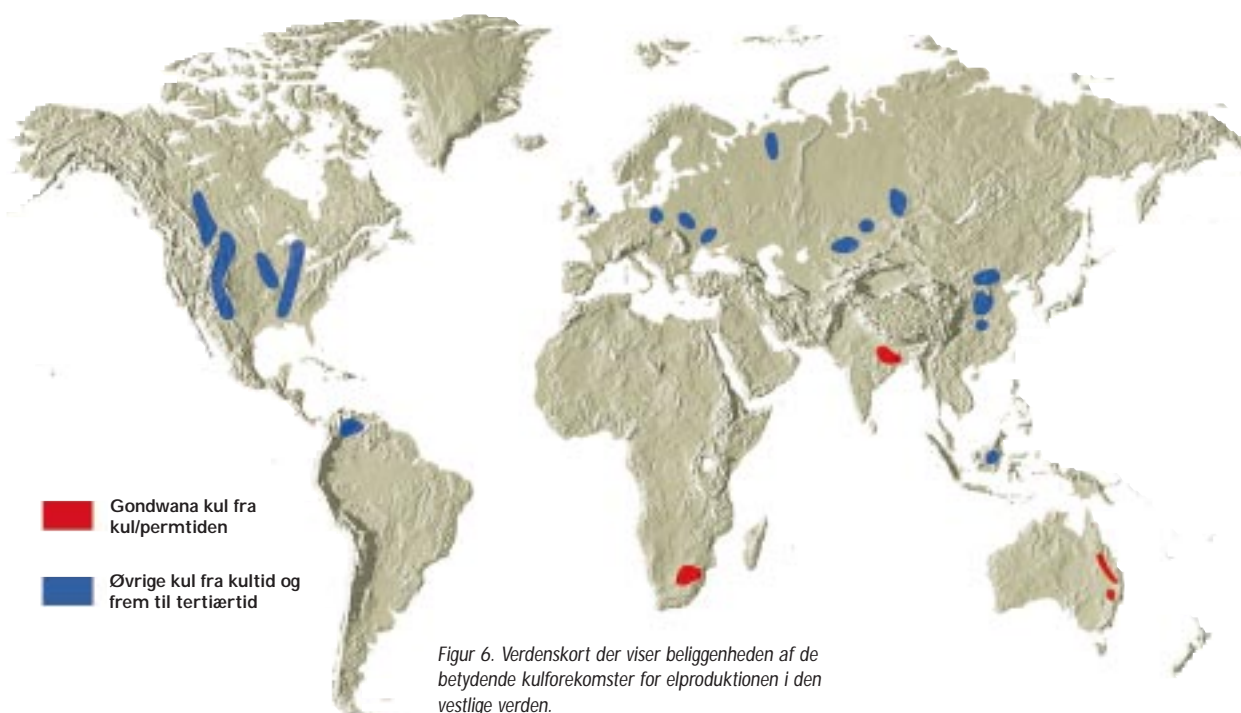
Gennem de første projekter fik vi opstillet korrelationsmodeller mellem kullenes petrografiske sammensætning og deres forbrændingstekniske reaktivitet. Det blev ved denne korrelering bekræftet, at ikke alle inertinitiske bestanddele har negativ betydning for reaktiviteten. Disse modeller arbejdes der videre med i international sammenhæng, sammen med National Power (UK), Kema (NL) og Elsam. Her er målet gennem inddragelse af flere kultyper, at for-

bedre korrelationsmodellens brugbarhed til forudsigelse af kullenes egenskaber samt at gøre den mere simpel. I de senere projekter har vi bevæget os over til at karakterisere koksens morfologi, hvilket har givet en række overraskende resultater. Det er lykkedes os at opstille nogle foreløbige modeller for sammenhængen mellem kullenes sammensætning og de resulterende restkoks morfologi. Mere kontroversiel er opdagelsen af temperaturens indflydelse på koksdannelse, hvilket har vist, at en lang række af de reaktivitetsbedømmelser, der er opnået med modelforsøg i laboratorier rundt om i verden, ikke kan omsættes til forhold i kraftværkskedler. Gennem studier i skanning elektron mikroskop har vi muligvis fået en idé om de mekanismer, der styrer udbrændingen af de forskellige koks morfotyper. Vi har opdaget en sekundær poredannelse, der finder sted i det mellemste udbrændingsområde. Det er vores ønske at kunne arbejde videre med denne problemstilling, og vi har i år søgt EFP og Elkraft om finansiering af et sådan projekt. På det uorganiske område har vi gennem et Ph.D. projekt fået etableret egnede analysemetoder samt fået udviklet de nødvendige matematiske værktøjer til beregning af mineralklassernes andel, størrelsesforde-

ling og partiklernes indbyrdes placering, dels i den organiske matrice og dels i forhold til hinanden. Arbejdet i dette projekt har desuden kastet lys over, hvilke mineraler og mekanismer, der styrer slaggedannelsen. Resultaterne fra projektet er nyttiggjort i et igangværende projekt, der handler om karakterisering af halms slaggedannende egenskaber.

#### Fremtiden ?

Kul er ikke et populært brændsel i øjeblikket. Årsagen er naturligvis at vi på energiområdet ikke længere er fokuseret på forsyningsikkerhed og pris, men er optaget af målene omkring CO<sub>2</sub> nedbringelse og forurening generelt. Sådan som vi har indrettet os i Danmark, ligger det dog fast, at vi i mange år endnu vil være helt afhængige af kul som energikilde til elfremstilling. Men man må se i øjnene, at det i fremtiden vil være vanskeligere at opnå støtte til kulforskning gennem Energistyrelsen og elværkerne. Vi vil derfor satse på det internationale miljø og EU, hvor situationen stadig er gunstig for kulforskning, og hvor den opbyggede kompetence og vore resultater har mulighed for at bidrage til en bedre og mere bæredygtig udnyttelse af kul til elfremstilling. 



Figur 6. Verdenskort der viser beliggenheden af de betydende kulforekomster for elproduktionen i den vestlige verden.



# “Jurassic Park” i Nordsøen



Jon R. Ineson

For første gang er der påvist forekomsten af fortidsøgler, populært kaldet “Dinosaurer”, i aflejringer fra det danske område i Nordsøen.

I en boring fra Nordsøen (Jeppe-1) er der fundet skeletdele (figur 1) fra enten en “Fiskeøgler” (Ichtyosauer) eller måske en “Svaneøgler” (Plesiosauer). Øglen eller øglerne levede, for omtrent 150 millioner år siden, i juratidens havområder.

Svaneøglerne (figur 2) havde skildpaddeagtig krop med en lang, antagelig meget bevægelig svane- eller slangelignede hals, og har kunnet “padle” sig frem omtrent som nutidens havskildpadder. Fiskeøglerne (figur 3) derimod mindede om delfiner eller sværdfisk, og svømmede sandsynligvis rundt på samme måde som nutidens fisk.

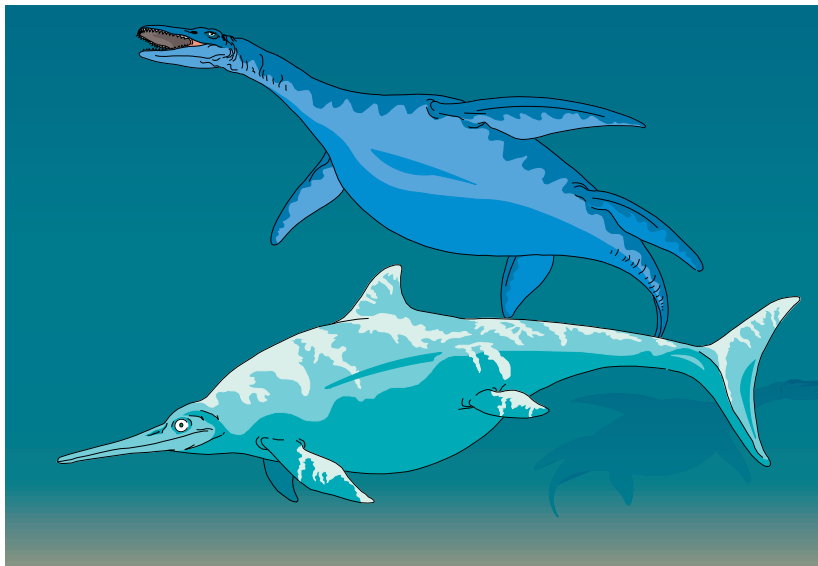
## Stinkende sort mudder og Plesiosaurer

*“Det oppustede kadaver bevægede sig dovent op og ned i den svage dønning. En årelignende svømmefod viste sig nu og da, når en større bølge vippede kadaveret frem og tilbage.*

*Skønt fredsommelig fra oven var undersiden af det rådne reptil under angreb af myriader af små bitte fisk og en enlig haj, som flåede i kadaveret. Knogler og sener, løsnet ved ådselsædernes ivrige virksomhed, sank langsomt ned fra den varme og solbeskinnede, bølgeomtumlede havoverflade, ned til det stagnerende bundvand i det stille, mørke dyb. På bunden lagde reptilresterne sig til hvile i det stinkende sorte svovlholdige mudder, og blev efterhånden begravet på bunden af det jurasiske hav”.*

Selv om det ovenstående kan minde om en stump fra filmen “Jurassic Park”, der blev kasseret og havnede i papirkurven da filmen blev klippet sammen, er “scenariet” eller forestillingen blevet aktuel.

I en boring er der fundet rester af marine reptilknogler i bjergarter fra adskillige kilo-



meters dybde, under bunden af den nuværende Nordsø (se kort figur 4).

## En borekerne fra Nordsøen

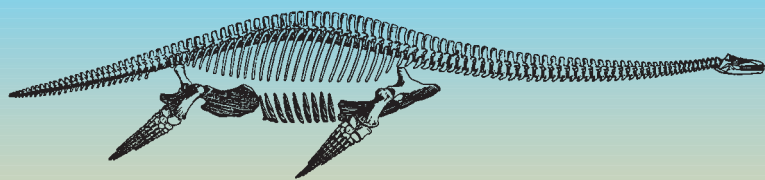
Jeppe-1 boringen blev udført af Norsk Hydro i 1988. Man ville undersøge muligheden for at finde olie i aflejringer af sen-jurassisk

alder (ca. 150 millioner år gamle). En cylinderformet bjergartsprøve, ca. 12 cm i diameter og 45 m lang, også kaldet en borekerne, blev taget på en dybde af næsten 4.5 km under Nordsøens bund.

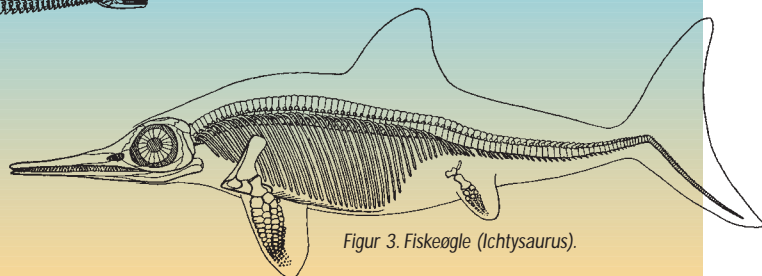
Denne borekerne består af sorte lersten-



Figur 1. Tværsnit gennem borekerne fra Jeppe-1 i Nordsøen som viser fossiler af skeletdele fra en Svaneøgler eller en Fiskeøgler.



Figur 2. Svaneøgale (Plesiosaurus).



Figur 3. Fiskeøgale (Ichtyosaurus).

Kilde: A. S. Romer - Vertebrate Paleontology.

slag ("mudstones"), regelmæssigt afvekslende med lysere sandstenslag, der giver bjergarten et karakteristisk båndet udseende (figur 1).

Disse bjergarter bestod oprindeligt af mudder og sand, som blev aflejret på bunden af en dyb grav. Denne grav, bedre kendt som "Centralgraven" i Nordsøen, lå som den centrale del af et havområde, der i store træk kan sammenlignes med den nuværende Nordsø.

Danmark, og en del af England på den modsatte kyst, var dækket af hav i det meste af

juratiden. Kystlinien, nærmest det nuværende Danmark, forløb fra NNW til SØ gennem Skåne, flankeret af det svenske højland (figur 4).

I det dybe, stillestående vand i Centralgraven, langt fra kysterne, var iltindholdet i vandet ved bunden lille. Så lille, at organisk materiale, især fra marine planktonalger, ikke blev nedbrudt nævneværdigt ved forrådnelse.

I dag indeholder disse sorte lag i Centralgraven op til 15% organisk kulstof. Ved de rette temperatur og trykforhold, f.eks. som

følge af begravelse under flere tusind meter yngre sedimenter, kan dette organiske materiale omdannes til olie og gas. Faktisk anser man de lag, som reptilknoglerne blev begravet i for at være en af de vigtigste kildebjergarter for olie- og gasdannelse i Nordsøområdet.

#### Plesiosauer eller Ichtyosauer ?

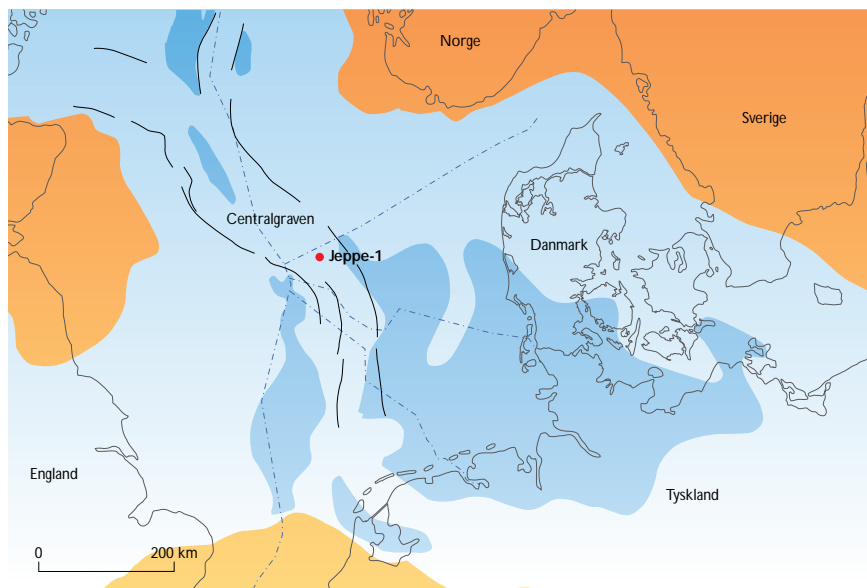
Ved boringen af Jeppe-1 skar borchovedet sig igennem 5-6 knogler, der kan ses i forskellige snit (figur 1).

S. E. Bendix-Almgreen fra Geologisk Museum ved Københavns Universitet er netop i færd med at undersøge knogleresterne. Foreløbig ser det ud til at de stammer fra marine reptiler, muligvis af plesiosaur eller ichtyosaur type. Knoglerne udgøres tilsyneladende af ribbenstumper og rygsøjlerester.

En nærmere artsbestemmelse af sådanne reptiler på grundlag af fossile skeletrester kræver tilstedeværelsen af hovedskallen, så identifikation er formodentlig kun mulig på slægtsniveau.

Selvom der er muligt at boringen er gået igennem et komplet øgleskelet, anses det dog for mest sandsynligt at knoglerne er isolerede rester af et dyr, revet løs fra det flydende kadaver, efterhånden som ådselsæderne fik løsnet kødet fra skelettet.

Skeletresterne er sandsynligvis derved blevet spredt over et større område på jurahavets bund, efter at ådselsæderne havde fortæret deres del af kadaveret.



Figur 4. Kort over Nordsøen fra jura tiden ca. 150 millioner år siden som viser land og havområder fra denne tidsperiode, samt beliggenheden af Jeppe-1 boringen.

# Pesticider og grundvand



Jens Aamand

*Der har i løbet af de seneste år været et stigende antal fund af pesticider i dansk grundvand. Stofferne bevæger sig med regnvandet gennem jorden for til sidst at nå grundvandet, en transport der i mange tilfælde kan tage adskillige år. Det er derfor sandsynligt, at de pesticider vi i dag ser i grundvandet, afspejler pesticidforbruget for måske 30-40 år siden, og dermed kun er toppen af et "isbjerg".*

På denne baggrund opstod der politisk vilje til at etablere et nyt programområde under det Strategiske Miljøforskningsprogram (SMP) med titlen "Pesticider og Grundvand". Programmet har en samlet beløbsramme på 52 mill. kr., og vil komme til at løbe over 4 år med opstart i 1996.

Grundvandsgruppen har de sidste 5 år varetaget en række grundvandsrelaterede forskningsprojekter finansieret af SMP, og gruppen fandt det derfor naturligt at fortsætte sine aktiviteter ved at søge midler fra programområdet "Pesticider og Grundvand". Grundvandsgruppen vurderede imidlertid, at det ikke var muligt at opnå en dybere indsigt i dette programområde uden at arbejde på tværs af fag- og institutionsgrænser og med det formål at udarbejde en ansøgning, der dækkede hele programområdet, blev gruppen udvidet, således at den i dag består af følgende institutioner: Danmark og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS), Institut for Miljøteknologi (IMT/DTU), Institut for Strømningsmekanik og Vandressourcer (ISVA/DTU), Institut for Geologi og Geoteknik (IGG/DTU), Statens Planteavlsvforsøg (SP), Geologisk Institut (GI/KU), Institut for Jordbrugsvidenskab (IJV/KVL), Danmarks Miljøundersøgelse (DMU), Vandkvalitetsinstituttet (VKI) og Dansk

Hydraulisk Institut (DHI). Vicedirektør Jens Morten Hansen (GEUS) er centerleder for gruppen.

## Programmets organisering

Grundvandsgruppen fik denne sommer bevilget hele den afsatte beløbsramme, og er nu i fuld gang med at organisere den planlagte forskning. Forskningen vil fagligt blive opdelt i tre temaer:

Tema 1: Præferentiel transport af pesticider mod grundvandet.

Tema 2: Pesticiders skæbne i grundvandet.

Tema 3: Regional modellering af pesticidtransport.

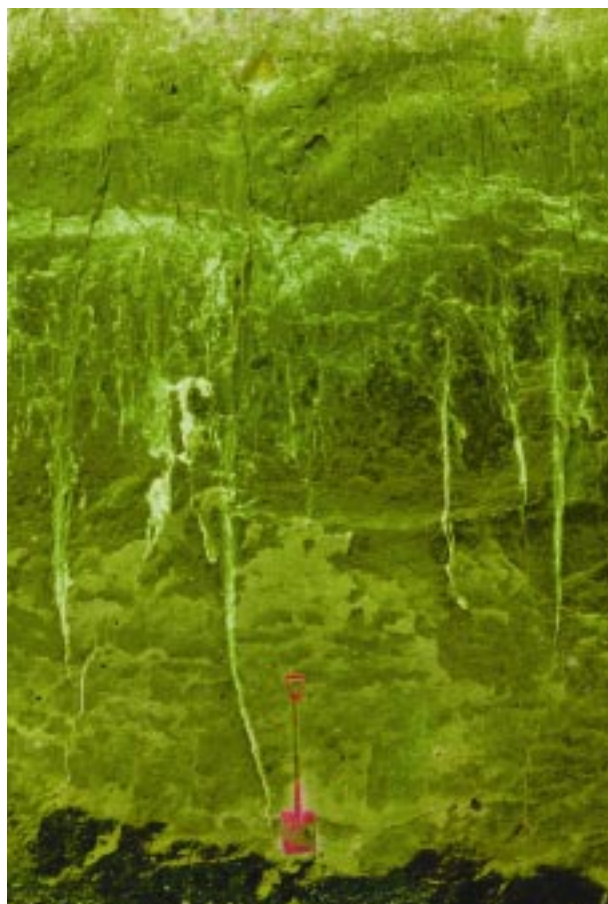
Tidligere var man af den opfattelse, at jordlag over grundvandet, især hvis disse bestod af ler, effektivt beskyttede grundvandet mod indtrængen af pesticider idet man

formodede, at opholdstiden i ler simpelt hen ville være så lang, at pesticiderne enten ville adsorbere til jorden eller blive nedbrudt af jordens mikroorganismer. I dag er det erkendt, at der i jorden kan være sprækker, hvorigennem der kan foregå en meget hurtig transport af pesticider, og at mange pesticidfund i grundvand skyldes en sådan præferentiel transport.

Indenfor Tema 1 vil sådanne transportmekanismer blive studeret med vægt på bl.a. at opnå en større forståelse for de geologiske, geokemiske og mikrobiologiske forholdes betydning for pesticiders bevægelse mod grundvandet.

Forskningen indenfor Tema 2 vil specifikt fokusere på at få en større viden om, hvad der sker med pesticider, når de først er kommet ned i grundvandet. Vil de blive omsat af grundvandets mikroorganismer, vil de adsorbere til sedimentet, eller vil de følge grundvandsstrømmen og dermed forurene større områder? Vi ved i dag meget lidt om, hvad man kunne kalde "grundvandets selvrensende potentiale" som hovedsageligt skyldes mikrobiel aktivitet, og der vil derfor blive lagt vægt på at forstå, hvad der er begrænsende for de mikrobielle processer. Endelig infiltrerer grundvand ofte vådområder, og der vil derfor også blive forsket i sådanne områders potentiale for omsætning af pesticider.

Indenfor Tema 3 vil der blive opstillet en regional model for pesticidtransport fra overjorden mod grundvandet, og videre i grundvandet mod f.eks. et vådområde. Denne forskning vil således forsøge at integrere den viden, der opnås indenfor Tema 1 og 2, i en større skala. Der vil blive lagt særlig vægt på at forstå betydningen af forskelligheder indenfor den regionale skala for pesticidernes transport.



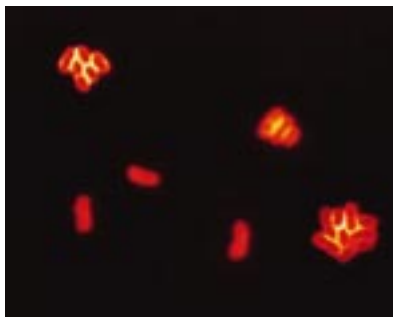
Figur 1. Der kan forekomme sprækker i ler, hvori der kan foregå en meget hurtig transport af bl.a. pesticider.

**Forventede mål**

Et af de fundamentale problemer, som dette program står overfor er, at pesticider ikke udgør en afgrænset stofgruppe. Indenfor de seneste 40 år er der i Danmark blevet anvendt mere en 400 forskellige pesticider - stoffer med vidt forskellige kemiske strukturer og egenskaber.

Det er ikke muligt at få et samlet overblik over en så stor og heterogen stofgruppes transport og nedbrydning i forskellige miljøer, som samtidig er karakteriseret ved varierende geologi, geokemi og mikrobiologi. Fokus vil derfor blive lagt på i højere grad at forstå overordnede mekanismer, af betydning for pesticiders transport og nedbrydning, fremfor på enkelte pesticiders skæbne i miljøet.

Det forventes, at den igangsatte forskning vil give svar på, hvilke faktorer, der er betydende for transport af pesticider til grund-



Figur 2. Phenoxysyrer er en gruppe pesticider, der har været hyppigt anvendt i Danmark, og som er fundet i grundvandet. Der findes mikroorganismer, der kan nedbryde phenoxysyrer. Her ses en laser-mikroskop forstørrelse af *Alcaligenes eutrophus*, en bakterie med potentiale for nedbrydning af phenoxysyren "2,4-D".

vandet, og med hvilke hastigheder en sådan transport af modelpesticider vil foregå under forskellige geologiske og geokemiske

forhold. Desuden vil der blive skabt større viden om transport af pesticider i grundvandet samt om faktorer af betydning for mikrobiel omsætning af stofferne. Ved brug af de opnåede resultater samt forskellige modelværktøjer vil grundlaget for at vurdere, hvilke områder der er særligt sårbare, og hvilke effekter et ændret pesticidforbrug vil have på grundvandets kvalitet, være væsentligt forbedret.

Udover de mere end 50 personer der er direkte involveret i projektet, vil der til løsning af programmets mål blive ansat 9 Ph.D. studerende. Programmet er nu igangsat, og fremtiden vil vise, om gruppen kan leve op til Det Strategiske Miljøforskningsprogramms overordnede strategi:

Anvendt forskning på et højt videnskabeligt og internationalt niveau.



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

Institutionens hovedformål er at udføre videnskabelige og praktiske undersøgelser på miljø- og energiområdet samt at foretage geologisk kortlægning af Danmark, Grønland og Færøerne. GEUS udfører tillige rekvirerede opgaver på forretningsmæssige vilkår.

Interesserede kan bestille et gratis abonnement på **GEOLOGI - NYT FRA GEUS**. Bladet udkommer 4 gange om året.

GEUS giver i øvrigt gerne yderligere oplysninger om de behandlede emner eller andre emner af geologisk karakter.

Henvendelser bedes rettet til Knud Binzer

Eftertryk er tilladt med kildeangivelse.

**GEOLOGI - NYT FRA GEUS** er redigeret af geolog Knud Binzer (ansvarshavende) i samarbejde med en redaktionsgruppe på institutionen.

**Skriv, ring eller mail:**

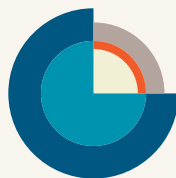
GEUS

Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse  
Thoravej 8, 2400 København NV.

Tlf.: 38 14 20 00

Fax.: 38 14 20 50

E-mail: geus@geus.dk



**GEUS**

**GEUS publikationer:**

Hos Geografforlaget kan alle GEUS' udgivelser købes.

Henvendelse kan ske enten på tlf.:

64 44 16 83 eller telefaks: 64 44 16 97.



Adressen er:

GEOGRAFFORLAGET 5464 Brenderup

ISSN 1396-2353

Produktion: GEUS Grafisk

Tryk: From & Co.

Forsidebillede: Peter Moors

Billedet viser en tørresprækket leroverflade.

Illustrationer: Carsten Thuesen