

Jens Morten Hansen

GEOLOGI FOR ENHVER

Danmarks Undergrund og Råstofferne

DGU

Danmarks Geologiske Undersøgelse
Miljøministeriet

GEOLOGI FOR ENHVER

© Jens Morten Hansen og DGU

Udgivet af Danmarks Geologiske Undersøgelse, Miljøministeriet, 1984

Redaktion: Bent Aaby

Tilrettelæggelse, omslag og flere illustrationer: Steen Allin

Illustrationer: Kirsten Andersen, DGU's grafiske sektion

Reproduktion: Carlos Torres, DGU's grafiske sektion og Repro-Tryk, Skive

Sats: STIBO-sats, Århus

Tryk: Bogtrykkeriet, Skive

ISBN 87 88640 02 7

I kommission hos C. A. Reitzels Forlag

Jens Morten Hansen

GEOLOGI FOR ENHVER

Danmarks Undergrund og Råstofferne

DGU

Danmarks Geologiske Undersøgelse
Miljøministeriet

Indhold

Forord	5
Hvad er råstoffer?	7
1. Kapitel Hvordan finder man råstofferne?	9
Geofysiske metoder	11
Boringer	18
Undersøgelser af boringer	27
2. Kapitel Hvordan er Danmarks undergrund opbygget?	35
Lagene fra Jordens nyere tid	38
Lagene fra Jordens middelalder	45
Jordens oldtid	52
Undergrundens vigtigste strukturtyper	53
3. Kapitel Råstofferne i Danmarks undergrund	59
Grundvandet	59
Fremstillingsråstoffer	63
Olie og gas	67
Olie- og gasforekomster	70
Fremtidige anvendelser af undergrunden	75
4. Kapitel Råstoffernes samspil med de øvrige naturressourcer .	79
Indeks	85
Billedkilder	88

Forord

I løbet af de sidste få år har vi fået et nyt Danmarks-kort. Oftere og oftere vil vi se Danmarks-kortet afbildet med sokkelgrænsen og ikke kystlinien som den egentlige grænse. Denne udvikling afspejler, at Danmark stykke for stykke fastlægger grænselinien i samråd med gamle og nye naboer. Men det nye Danmarks-kort afspejler også, at ny geologisk viden om undergrundens ressourcer har gjort det nødvendigt at skabe større overensstemmelse mellem den territoriale og den økonomiske grænse.

Det danske territorium er således udvidet fra de velkendte 43.000 kvadratkilometer til ca. 100.000 kvadratkilometer, og nationens interesser i mere end halvdelen heraf er hovedsagelig af geologisk karakter.

Dertil kommer, at faget geologi i den samme periode har udviklet sig fra at være en »skærvelære« til at være et forståelsesfag. Det er ikke længer så væsentligt at kunne huske en mængde stenarter udenad. Adskillige betydningsfulde forskningsresultater gør det i dag muligt at forstå og forklare de naturlige processer i og på jordkloden, som er det håndgribelige grundlag for alle vore aktiviteter.

Jeg har derfor gerne villet skrive en bog om Danmarks undergrund og råstoffer, så den kunne forstås af »enhver« på 15 år og derover. Hvis man starter forfra, vil man opdage, at sværhedsgraden tiltager, idet bogens første halvdel lægger op til den sidste. For at lette forståelsen for dem, der hellere vil »pluklæse«, er der et index med ca. 300 stikord

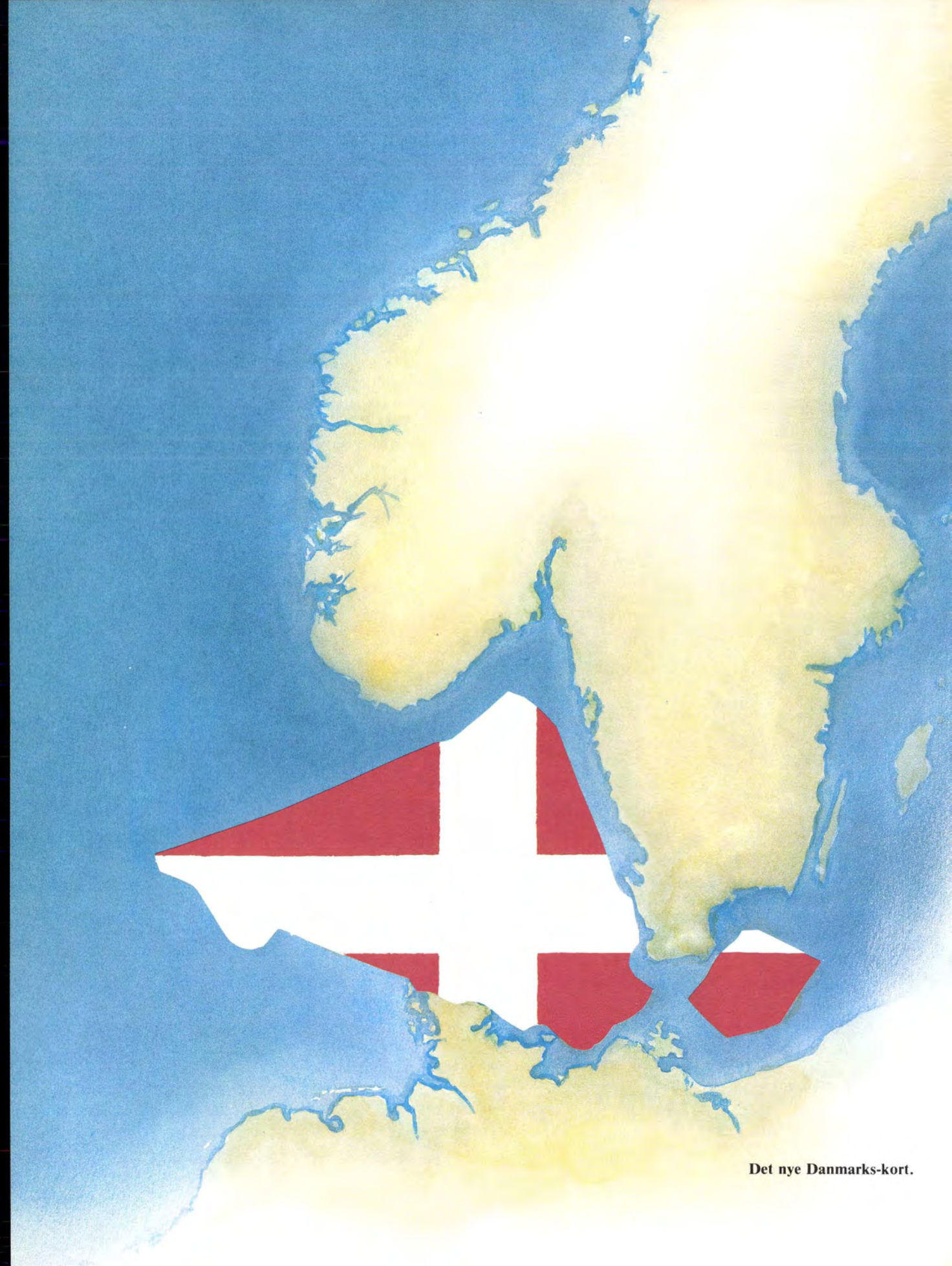
bagest i bogen. Stikordene vil typisk være forklaret på den første sidehenvisning.

Bogen er inddelt i fire kapitler. I første kapitel forklares de vigtigste undersøgelsesmetoder, som anvendes i udforskningen af Danmarks undergrund. I andet kapitel forklares hovedtrækkene af Danmarks geologi. Her er hovedvægten lagt på de lag, som vi oftest kommer i berøring med, d.v.s. de øverste lag, og på de lag, som har særlig stor økonomisk betydning. I tredje kapitel gennemgås de vigtigste råstoffer: grundvandet, fremstillingsråstofferne (f.eks. grus, ler og kalk) og endelig energiråstofferne. Dernæst omtales nogle fremtidige anvendelsesmuligheder for undergrunden, f.eks. geotermisk energi.


I sidste kapitel omtales råstofforbrugets påvirkning af miljøet. Den kendsgerning, at enhver form for udnyttelse af de geologiske råstoffer fører til forurening, er et forhold, som i stigende grad må indgå i de politiske overvejelser. Geologien er således fra en næsten ubemærket tilværelse blevet ført ind i begivenhedernes centrum, når talen er om energi- og miljøpolitiske spørgsmål. Man kommer derfor næppe udenom, at hvis vi skal tage os seriøst af energi- og miljøspørgsmålene, må hele befolkningen vide mere om, hvad der skjuler sig af muligheder og begrænsninger under det nye Danmarks-kort.

Danmarks Geologiske Undersøgelse,
den 5. juni 1984

Jens Morten Hansen



Det nye Danmarks-kort.



Den 3. juni 1981 vedtog folkettingen en ny lov om Danmarks undergrund. Denne lov er blevet mest kendt for bestemmelserne om, hvordan Nordsøens olie og gas skal kortlægges, produceres og fordeles. Lignende love er vedtaget i de fleste industrialiserede samfund, og det er sket i en voksende forståelse for, at de muligheder og begrænsninger, som de

forskellige landes undergrund byder på, i stadig stigende omfang må indgå i de politiske overvejelser.

Et moderne industriland stiller store krav til naturbundne ressourcer såsom byggeråstoffer, metalmalm og energiråstoffer, men også til undergrundens egnethed som lagerplads for energireserver og affald. Især de to

sidste anvendelsesmuligheder kalder på en fremsynet anvendelse af undergrunden, idet mange af anvendelsesmulighederne er uforenelige.

Det første skridt, for at undergrundens anvendelse bliver tilstrækkeligt fremsynet, er at øge kendskabet til geologi- og i Danmark specielt til Danmarks geologi.

Hvad er råstoffer?

Overalt hvor man graver eller borer i jorden vil man opdage, at de fleste materialer, man støder på, kan bruges til et eller andet. Nogle af materialerne er hårde og sammenhængende, nogle er løse eller porøse, andre flydende eller luftformige, nogle er kolde, andre er varme - og nogle er mere værdifulde end andre. Og de materialer, der kan bruges til noget, er naturligvis de mest værdifulde. Et råstof er derfor et materiale, som vi kan bruge, og som er så tilpas ualmindeligt eller vanskeligt at få fat i, at det koster noget.

Til næsten alt, hvad vi foretager os, skal vi bruge råstoffer. Blandt de naturbundne råstoffer skelner man mellem tre typer. Den første er de råstoffer, som vi bruger til fremstilling af huse, veje, skibe, biler og alle mulige brugsgenstande. Det er råstoffer som sand, grus, ler, kalk, mineraler og metaller, og fælles for dem alle er, at vi bruger dem til at fremstille ting af. Vi kunne derfor kalde dem fremstillingsråstoffer. Fælles for fremstillingsråstofferne er, at de ikke mister de egenskaber, vi er interesseret i, ved at blive brugt. Fremstillingsråstofferne kan altså genanvendes.

Den anden type er de råstoffer, som vi bruger til fremstilling af elektricitet, varme og mekanisk kraft. Altså de råstoffer, vi fremstiller energi af. Det er f.eks. olie, gas, kul, uran og varme kilder. Vi kalder dem energiråstoffer. Fælles for energiråstofferne er, at de ved anvendelsen (f.eks. forbrændingen) mister den egenskab, vi er interesseret i. Derfor indtager vort forbrug af energiråstoffer en nøglestilling i fremtidens industrisamfund. Denne nøglestilling bliver ikke mindre af, at genanvendelse af fremstillingsråstofferne er særlig energi-krævende.

Det tredje og vigtigste råstof er almindeligt vand, som vi dels bruger til at drikke, men som også bruges i næsten alle fremstillingsprocesser. Det vand, vi kan bruge, forekommer som grundvand eller i vandløb og søer.

De naturbundne fremstillingsråstoffer, energiråstoffer og vand udgør den største del af verdens forbrug af råstoffer, og overalt i verden er menneskehedens velfærd eller fattigdom stærkt afhængig af, hvordan disse råstoffer er fordelt i jorden, og hvem der har retten eller evnen til at udnytte dem.



Hvordan finder man råstofferne?

For at finde råstofferne skal man vide, hvordan Jorden er opbygget, og hvad den består af. De fleste råstoffer ligger i bestemte lag i større eller mindre dybde, og man må derfor på mange forskellige måder forsøge at få et indtryk af, hvordan lagene er placeret i Jordens øverste 10 kilometer. Fra større dybde end 10 kilometer er det i praksis umuligt at hente råstoffer op til overfladen.

I stort set alle lande i verden fremstiller man geologiske kort, som viser hvilke jord- og stenlag, man har lige under overfladen. Disse kort fremstilles af geologer, som forsøger at finde blotninger, d.v.s steder hvor undergrunden ikke er dækket af vegetation, muld eller forvittringsprodukter (d.v.s. de nedbrydningsprodukter, som vind og vejr har omdannet de øverste undergrundslag til). De forskellige jord- og stenlag indtegnes på landkort med højdekurver, og til sidst, når det geologiske kort er færdigt, kan man se, hvor højt eller lavt lagene ligger de forskellige steder. Derved bliver man i stand til at få et 3-dimensionalt billede af, hvordan lagene er placeret i den allerøverste del af Jordens skorpe.

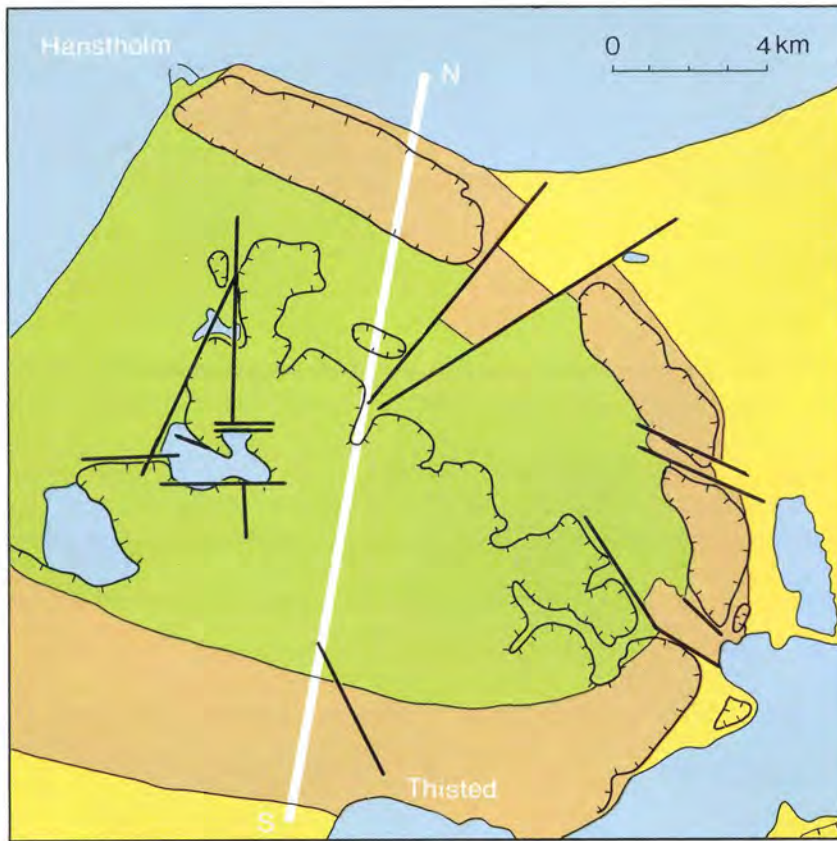
Men det er meget forskelligt, hvor mange blotninger der findes i Jordens forskellige egne. I arktiske egne, f.eks. i Grønland, er det meste af undergrunden blottet i overfladen, fordi vegetationstæppet er tyndt eller helt mangler. I tropiske egne derimod er der få blotninger, fordi man har en kraftig vegetation, som tilmed holder sammen på forvittringsprodukterne. På samme måde er der

stor forskel på mængden af blotninger i bjerglandskaber og i lavlande. I et bjerglandskab som Alperne er der mange store blotninger, hvor man uhindret kan undersøge undergrundens opbygning. Bjergsiderne er ofte nøgne - og derfor så at sige dybe snit i Jordens skorpe.

I et lavland som Danmark er der kun få naturlige blotninger, fordi praktisk taget hele jordoverfladen er dækket af et tykt muldlag og af istidsaflejringer. Derfor kan man i Danmark kun undersøge undergrunden direkte i de højeste kystklinter, f.eks. Møns Klint, eller i dybe råstofgrave. De fleste blotninger viser snit i istidsaflejringerne, der ligger hen over den egentlige undergrund som et op til flere hundrede meter tykt tæppe.

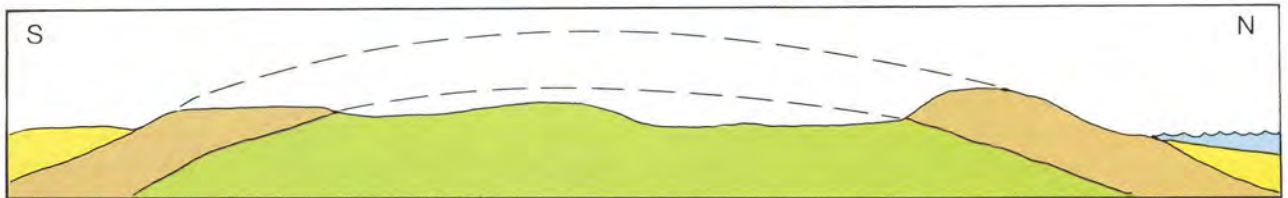


I bjergområder, hvor kløfter og vandløb skærer sig ned i undergrunden, kan man i bjergsidernes nøgne vægge se, hvordan undergrunden er opbygget. I lavlande som Danmark må de geologiske oplysninger skaffes ved boring eller andre bekvemmelige undersøgelser. (Nügssuaq, Vestgrønland).



Geologisk kort over området mellem Thisted og Hanstholm.

-  Ler fra tertiærtidens ældre del. Disse lag ligger de fleste steder under tykke istidsaflejringer.
-  Kalk fra tertiærtidens ældste del. Kalken er hård og danner kernen i områdets største bakker.
-  Skrivekridt fra kridttidens slutning. Skrivekridtet har mange steder været havbund i stenalderen.
-  Grænse mellem stenalderhavbund og istidslandskab (på tak-siden af linien).
-  Forkastninger, d.v.s. revner i jorden, hvor lagene har bevæget sig i forhold til hinanden.



Det geologiske kort over området mellem Thisted og Hanstholm viser, hvilke lag der ligger umiddelbart under istidslagene. Området er opbygget som en omvendt skål med de ældste lag i midten og de yngste lag yderst. Nederst er vist et snit fra Thisted til området øst for Hanstholm. Snittet viser,

hvordan jordoverfladen skærer gennem de geologiske lag, som er vist på kortet med de samme farver. Formålet med geologiske kort er bl.a., at man som vist i snittet kan få indtryk af lagenes rumlige placering.

I Danmark som i alle andre lavlande må man derfor benytte helt andre metoder for at få et billede af den egentlige undergrunds opbygning, selv af de allerøverste lag. Disse metoder, som også kan bruges til undersøgelser af den dybtliggende del af undergrunden, kan opdeles i to helt forskellige typer. Den ene type er de *geofysiske* metoder, hvor man fra jordoverfladen måler forskellige egenskaber hos jordlagene ved f.eks. at sende elektricitet eller lydbølger gennem dem. Den anden undersøgelsestype er borer, hvor man fra de gennemborede lag simpelthen henter prøver op til jordoverfladen eller sænker forskellige måleapparater ned i borehullerne.

Der er meget stor forskel på, hvad de to undersøgelsesmetoder koster. Og der er også meget stor forskel på de informationer, som de to metoder giver. Geofysiske undersøgelser er normalt langt billigere end borer, og derfor starter man næsten altid med geofysiske undersøgelser. Til gengæld er geofysiske undersøgelser meget usikre og de kan ofte give modstridende resultater. Men det er nødvendigt at bygge det meste af vor viden om den dybere del af undergrunden på geofysiske undersøgelser, fordi borer, som skal mere end 1 km ned, koster flercifrede millionbeløb og først udføres, når de geofysiske undersøgelser tyder på, at der er noget råstof at bore efter.

Geofysiske metoder

De geofysiske metoder kan opdeles i to forskellige typer.

Den første type består i, at man fra jord- eller havoverfladen, luften eller verdensrummet måler styrken af de kræfter som undergrunden påvirker omgivelserne med. Det er f.eks. tyngdekraften og jordens magnetiske kræfter, som virker over lange afstande, der giver denne mulighed for at undersøge materialer, som man hverken kan se eller komme i berøring med. Jordoverfladens udstråling

af varme eller naturlig radioaktivitet kan også give vigtige geologiske informationer.

Den anden type af geofysiske metoder består i, at man fra jord- eller havoverfladen eller fra luften sender energi ned i undergrunden. Derpå måler man undergrundens evne til at videresende eller til at reflektere den afsendte energi. Man kan benytte energiformer som elektrisk strøm, lyd- eller chockbølger, radio- eller radarbølger eller magnetiske kraftfelter.

Tyngdekraften

Det, at en ting vejer noget, skyldes, at Jorden trækker i tingen med en kraft, der svarer til tingens masse. Men tyngdekraftens størrelse er også afhængig af jordskorpens massefylde på det sted, hvor man befinder sig. Hvis Jorden på et bestemt sted er opbygget af mange tunge materialer, vil tyngdekraften på det pågældende sted være forholdsvis stor. Og hvis undergrundens materialer på et bestemt sted er lette, vil tyngdekraften være forholdsvis lille. Men forskellen i tyngdekraftens størrelse forskellige steder på Jorden er ganske lille, og man må derfor bruge meget fintmækkende fjedervægte for at måle forskellen.

På den måde har man over det meste af Jorden fremstillet kort, der viser tyngdekraftens størrelse. Disse kort viser en række områder, hvor tyngdekraften er enten større eller mindre end omgivelsernes tyngdekraft.

I Danmark er der en række områder, hvor tyngdekraften afviger fra det normale. Især findes der i Nord- og Vestjylland nogle steder, hvor tyngdekraften er unormalt lille indenfor cirkulære områder med en diameter på 2-10 km. Man har ved boringer fundet ud af, at der under disse områder ligger nogle meget store saltforekomster, som kaldes salthorste. Salt er lettere end de materialer, som undergrunden ellers er opbygget af. Derfor er tyngdekraften over en salthorst forholdsvis lille. Andre steder i Danmark, f.eks. på Fyn, er tyngdekraften forholdsvis stor. Her har man ved boringer fundet ud af, at dette skyldes, at der ikke særlig



Gravimetrisk kort over danske landområder. Kortet viser afvigelser fra den gennemsnitlige tyngdekraft. I området omkring den vestlige del af Limfjorden er mønsteret særlig uregelmæssigt, fordi der her ligger mange salthorste. Over salthorste er tyngdekraften lav, fordi salts massefylde er lav. Bemærk, at den geologiske struktur, som ses på kortet side 10 tydeligt afspejles på det gravimetriske kort.

dybt under Fyn findes granit og gnejs, som er forholdsvis tunge bjergarter sammenlignet med de aflejringer, der ligger både syd og nord for Fyn.

Det er forholdsvis billigt at undersøge Jordens opbygning ved at måle tyngdekraftens styrke. Til gengæld kan man ved denne undersøgelsesmetode

kun få oplysninger om de allerstørste strukturers eller forekomsters beliggenhed. Skal man vide noget om de forskellige lags tykkelse, sammensætning og dybden til dem, må man bruge andre metoder.

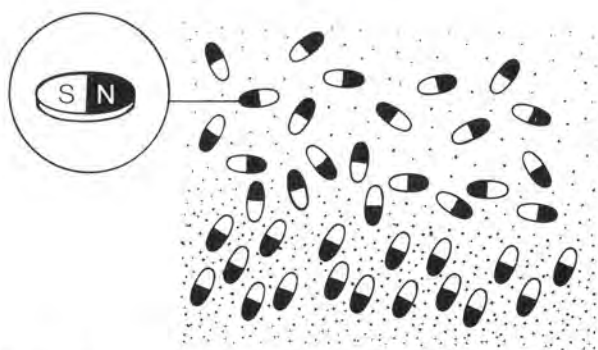
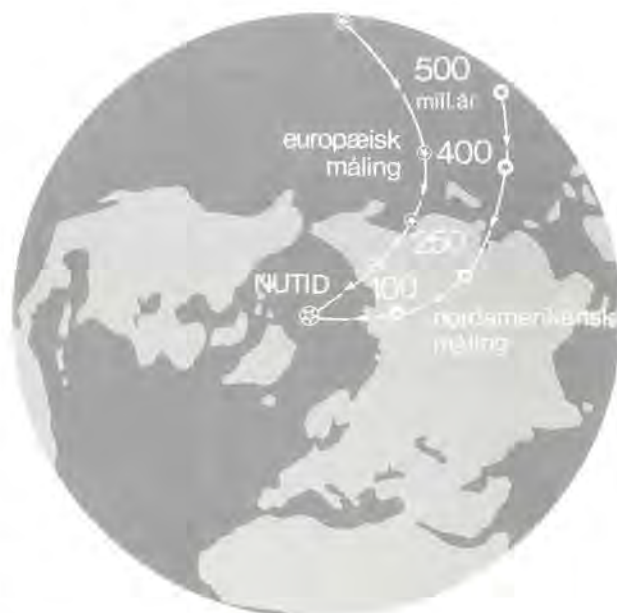
Jordens magnetfelt

På samme måde som Jordens tyngdekraft varierer fra sted til sted, varierer også styrken af Jordens magnetfelt. Hertil kommer, at magnetfeltets retning kan variere meget fra sted til sted. Ligesom forskellene i tyngdekraften skyldes disse forskelle i magnetfeltets styrke og retning, at undergrundens materialer er forskellige fra sted til sted. Nogle materialer i undergrunden er nemlig mere magnetiske end andre. Det skyldes, at der er stor forskel på hvor meget jern, der er i de forskellige jord- og stenlag. Især er det forskellen på, hvor meget der er af jernmineralet *magnetit*, der bevirker, at der er uregelmæssigheder i Jordens magnetfelt. Der findes små mængder af magnetit i næsten alle jord- og stenarter. De bjergarter – for eksempel de vulkanske bjergarter – som kommer fra jordens indre, hvor der er særligt meget jern, er rige på magnetit. Derfor vil især de bjergarter, som er opstået i stor dybde, være særlig magnetiske. Og hvis disse bjergarter – for eksempel på grund af vulkaner eller store lodrette forskydninger i Jordens skorpe – er bragt op i nærheden af jordoverfladen, vil de påvirke Jordens magnetfelt forholdsvis meget.

Disse forskelle har været kendt af søfolk i hundredvis af år. Når de kom i nærheden af bestemte områder, vidste de, at kompassets misvisning, d.v.s forskellen mellem Nord og kompasnålels retning, blev særlig stor. Og på principielt samme måde måler man i dag uregelmæssighederne i Jordens magnetfelt.

Jordens magnetiske nord- og sydpol har ikke altid ligget, hvor de ligger i dag. Går man tilbage i Jordens historie, kan man vise, at de magnetiske poler har vandret rundt i en rute over det meste af kloden. Og foruden denne vandring af polerne, er der af og til sket det, at den magnetiske nordpol ganske pludseligt og af endnu ukendte årsager har skiftet plads med den magnetiske sydpol.

Når et nyt jordlag dannes, for eksempel som en



Øverst: Forenklet billede af den magnetiske nordpols vandring i de sidste 500 mill. år. Den ene kurve viser polens placering i forhold til Europa – den anden i forhold til Nordamerika. Afstanden mellem de to kurver viser, hvor meget de to kontinenter p.gr.a. kontinentaldriften har fjernet sig fra hinanden i den samme periode.

Nederst: Mange sedimentkorn er svagt magnetiske. Når de falder til bunds i havet, vil de derfor som kompasnåle pege mod de magnetiske poler. Ved at måle magnetfeltets retning i gamle aflejringer kan man derfor beregne, hvor polerne lå, da laget blev aflejret. Målinger af denne type har bl.a. vist, at de magnetiske nord- og sydpoler af endnu ukendte årsager har byttet plads adskillige gange i løbet af Jordens historie.

aflejring på havbunden, vil alle magnetitkornene, som ligger i bundslammet, blive påvirket af Jordens magnetfelt og dreje sig sådan, at magnetitkornenes magnetiske længdeakse bliver parallel med jordens magnetfelt. Når jordlaget efterhånden bliver fastere for til sidst helt at forstene, ligger alle disse småmagneter fast og kan ikke dreje sig mere. Ved at undersøge gamle jord- og stenlags magnetisme med meget følsomme instrumenter kan man derfor finde ud af, hvor de magnetiske poler lå på det tidspunkt, hvor det pågældende lag blev dannet.

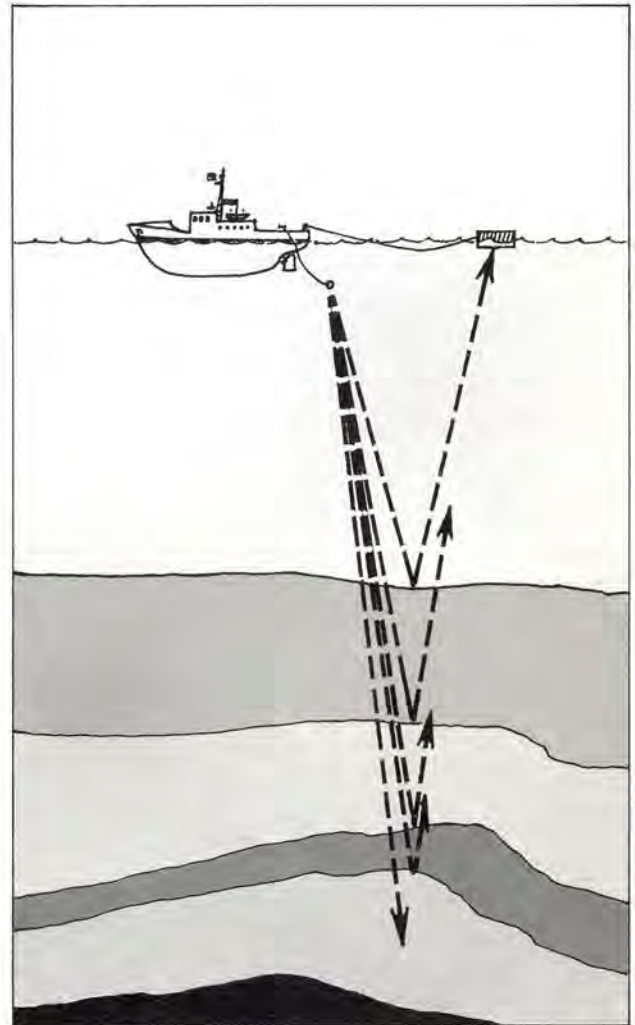
Når man måler styrken og retningen af Jordens magnetfelt på jordoverfladen, vil målingen være påvirket af, hvor meget magnetit der er i undergrunden, men også af hvordan disse magnetitkorn ligger i forhold til nord og syd. Derved opstår en række uregelmæssigheder i Jordens magnetfelt. Størrelsen af og måden, disse uregelmæssigheder ligger på, kan derpå fortælle geofysikeren og geologen noget om undergrundens struktur og sammensætning.

Seismiske undersøgelser

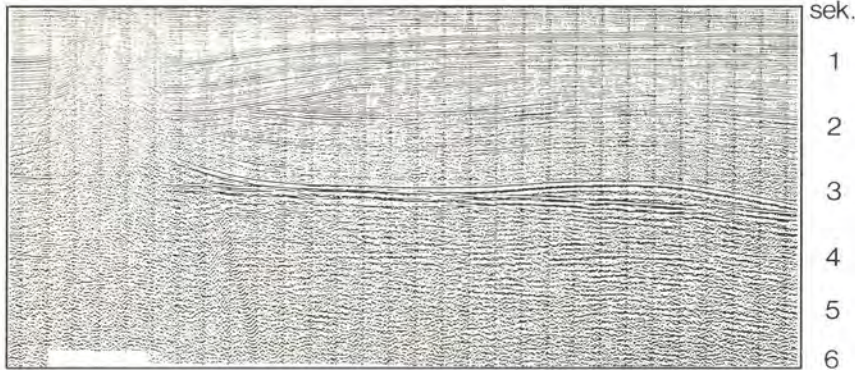
Undergrundens forskellige lag er ikke lige hårde og ikke lige tunge. Det betyder, at hvis man sender en chock- eller lydbølge igennem jorden, vil den løbe hurtigere i de hårde eller lette materialer og langsommere gennem de bløde eller tunge materialer. Når en chock- eller lydbølge går igennem et blødt materiale, som ligger ovenpå et hårdt materiale, vil en del af chockbølgen blive reflekteret fra overfladen af det hårde lag. Resten af chockbølgen fortsætter ned i det hårde lag. Det foregår på fuldstændig samme måde, som når lyset rammer et stykke glas.

Man kan iagttage fænomenet ved at betragte en rambuk, som bruges til at banke pæle ned i jorden med. Står man nogle hundrede meter fra en rambuk, kan man se, når loddet falder ned på pælen. Et ganske kort øjeblik derefter kan man mærke en svag rystelse i jorden, og et par sekunder derefter hører man smældet fra loddets sammenstød med pælen. Lyden forplanter sig altså meget hurtigere gennem jorden end gennem luften. Er man nu meget opmærksom ved de næste slag, kan man måske mærke, at jordrystelsen består af to eller flere rystelser, som falder næsten på samme tidspunkt. Den første af disse rystelser stammer fra den del af chockbølgen, som forplanter sig direkte fra rambukken og langs jordoverfladen. Den næste af rystelserne stammer fra den del af chockbølgen, som er blevet reflekteret fra overfladen af den faste undergrund.

Hvis man er i stand til at måle den tid, det tager for de to rystelser at komme frem, vil man kunne regne ud, hvor langt der er til den faste undergrund. Jo dybere den faste undergrund ligger,



Principskitse af en seismisk undersøgelse til søs. Et skib slæber en støjkilde efter sig. Støjkilden sender lydbølger mod havbunden. En del af lydenergien fortsætter ned i undergrunden, hvorfra noget af lydenergien bliver kastet tilbage mod havoverfladen. Her modtages signalerne af mikrofoner, der ligeledes slæbes efter skibet.



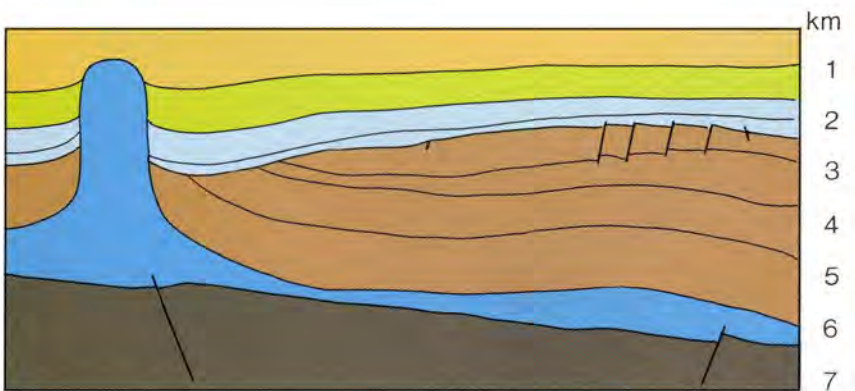
En seismisk undersøgelse resulterer i et seismogram. De seismiske målinger (se fig. side 13) er i en computer omsat til et lydbillede af undergrunden (seismogram). En særlig kraftig sværtning af seismogrammet er udtryk for lag i undergrunden, som har tilbagekastet særlig meget lydenergi. På denne måde viser seismogrammet »dybden« til de forskellige lag målt i sekunder (lydens løbetid ned og op). Jo længere løbetid, desto dybere ligger laget.

36 km



Seismogrammet bliver tolket af geologer, hvis opgave det er at »gætte« på, hvilke geologiske lag ekkoerne (reflektionerne) stammer fra. Denne tolkning resulterer i farvelagte lag, som viser beliggenheden af lagene fra de forskellige jordperioder. Tolkningen giver et førstehåndsindtryk af den strukturelle opbygning af lagene ned til 4-5 kilometers dybde svarende til den dybde lyden når på ca. 3 sekunder. Figuren viser tolkningsresultatet af seismogrammet overfor.

36 km



Det tolkede seismogram, der viser »dybderne« målt i sekunder, kan omregnes til virkelige dybder (figuren). Dette er muligt, hvis der i nærheden findes borer, hvori lydens hastighed er målt i de forskellige lag. Lydens hastighed kan variere meget fra bjergartstype til bjergartstype, og det dybdeomregnede seismogram er derfor et nødvendigt led i kortlægningen af undergrundens strukturer. På basis af dybdeomregningerne kan man udarbejde kort, der danner grundlag for nye borer.

desto længere tid er der mellem de to chockbølgers ankomst. Men jo dybere den faste undergrund ligger, desto svagere vil også den reflekterede chockbølge være.

Det er denne evne hos jord- og stenlagene til at videresende og til at reflektere chockbølger, man udnytter ved seismiske undersøgelser. Skal man kun undersøge de øverste jordlag, kan man nøjes med en rambuk som støjkilde. Men skal man undersøge lag, som ligger flere kilometer nede i

undergrunden, må man frembringe jordrystelserne med for eksempel dynamit.

Det er især olieselskaberne, som foretager seismiske undersøgelser, fordi disse undersøgelser er særlig velegnede til at vise formen på lagene i undergrunden. Olieselskaberne er interesseret i at kende undergrundens strukturer, fordi olie og gas kun findes, hvor porøse lag er kippet eller buler opad, og hvor der oven på dem findes lag, som olien ikke kan trænge igennem.

I praksis foregår de seismiske undersøgelser som regel på den måde, at man borer et hul til nogle få meters dybde. På bunden af hullet anbringer man en sprængladning, og hullet tildækkes. I bestemte afstande fra borehullet med sprængladningen («shothole») anbringer man en række mikrofoner («geofoner») på jordoverfladen. Sprængladning og geofoner forbindes til en elektronisk tidtager. Når sprængladningen bringes til eksplosion, skaber den en lyd- eller chockbølge, som forplanter sig i alle retninger. Derpå vil geofonerne registrere, hvornår chockbølgen fra eksplosionen ankommer. Dels hvornår den direkte bølge ankommer fra eksplosionsstedet, dels hvornår »ekkoet« ankommer fra undergrunden. Er der mange forskellige lag i undergrunden kommer der mange ekkoer; er der få lag, kommer der få ekkoer. Ved at måle tidsforskellen mellem de forskellige chockbølgers ankomst kan man regne ud, hvor langt nede de forskellige lag ligger. For at foretage denne udregning er det nødvendigt at vide, hvor hurtigt bølgen forplanter sig gennem de forskellige lag. Det kan man kun måle, hvis der er en boring i nærheden, som har gennemboret de lag, man er interesseret i. I de dybe og kostbare boringer er der som regel foretaget sådanne målinger, ved at man har sænket måleudstyr ned i borehullet.

For at en seismisk undersøgelse skal kunne bruges til at kortlægge formen på de forskellige lag, er det nødvendigt, at man placerer mange sprængladninger (flere hundrede) på en lang og helst lige linie. Denne linie skal helst ikke være mindre end 10 km lang. Derfor skal hele arbejdet foregå som på samlebånd. I praksis foregår det på den måde, at man har en karavane af terrængående køretøjer. I hvert køretøj er der et teknikerhold. Et hold borer hullerne til sprængstoffet, et andet fylder sprængstof i hullerne, et tredje dækker hullerne til, et fjerde lægger geofoner ud o.s.v. For at foretage disse undersøgelser skal man have grundejernes og regeringens tilladelse, og man har pligt til at betale erstatning til de grundejere, som er blevet generet af undersøgelserne.

På havet foretages også mange seismiske undersøgelser. Men på en nemmere måde, idet man på havet kan slæbe både støjkilden og geofonerne efter et skib uden at skulle rulle ledninger ud og ind hele tiden, og uden at man nødvendigvis behøver at bruge sprængstoffer. Som »støjkilde« bruger man ofte blot at slippe trykluft ud i vandet med f.eks. to

sekunders mellemrum. Eller man kan have en plade (membran), som man aktiverer med et kraftigt hammerslag med ganske bestemte mellemrum. Denne metode svarer i princippet fuldstændig til det, der foregår i et ekkolod i et skib. Blot er den energi, man sender afsted mod havbunden, meget større end i et almindeligt ekkolod.

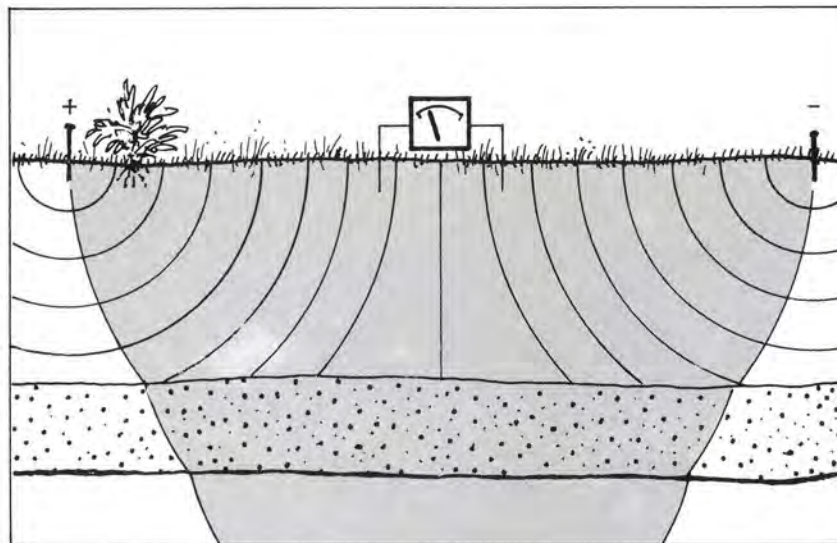
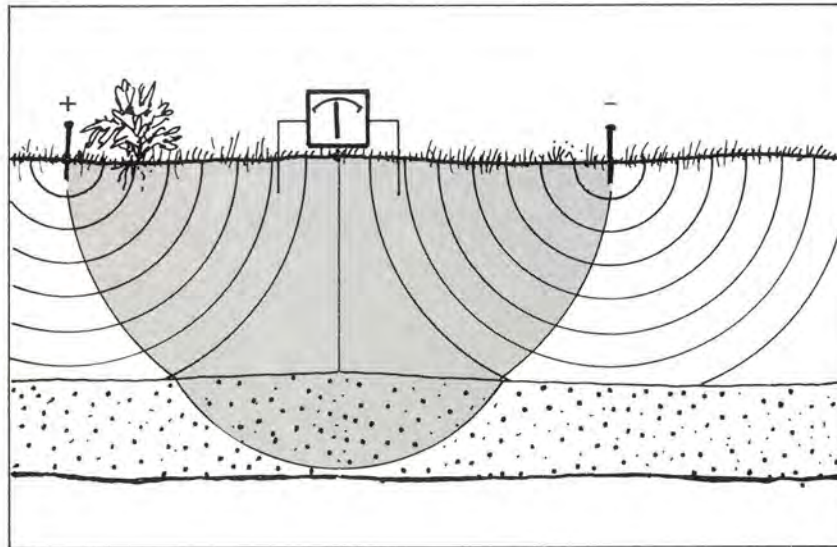
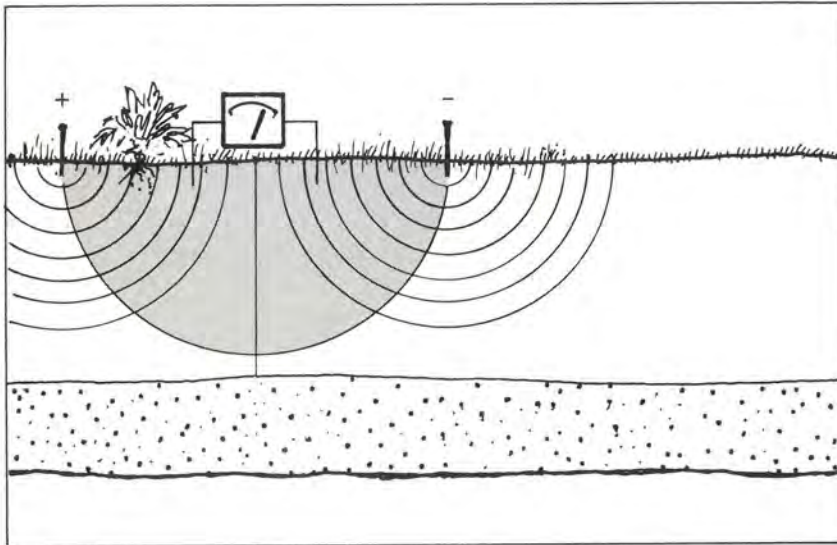
Når den seismiske undersøgelse er færdig, hvad enten den er foregået på havet eller på land, indlæses alle måleresultaterne i en computer. Computeren udregner så, hvor kraftigt chockbølgerne er blevet reflekteret fra de forskellige lag langs den linie, som undersøgelsen er lagt på. Disse beregninger tegnes ud på et kort, der kommer til at ligne et dybt tværsnit af jorden på den linie, hvor man har foretaget undersøgelsen.

Derpå kan geologerne og geofysikerne forholdsvist let finde ud af, hvad det er for lag og strukturer, man har i det undersøgte område. Og olieselskaberne kan begynde at gætte på, hvor der kan være olie eller gas.

I forhold til de andre geofysiske undersøgelsesmetoder er seismiske undersøgelser ret dyre. Til gengæld giver de de mest detaljerede oplysninger næst efter boringer. Olieselskaberne har ret til at hemmeligholde resultaterne overfor andre private virksomheder, fordi resultaterne kan sælges og i vid udstrækning bliver solgt til firmaer, som er interesseret i at vide noget om undergrunden det pågældende sted. I Danmark hemmeligholdes seismiske undersøgelsesresultater normalt i 5 år. Denne hemmelighedsklausul gælder også de myndigheder, som har adgang til resultaterne.

Geoelektriske undersøgelser

En særdeles billig undersøgelse af de øverste lag i undergrunden kan foretages ved at sende strøm igennem lagene. Det er sådan, at de forskellige jordlag ikke leder elektrisk strøm lige godt. Det hænger sammen med, hvilke mineraler jordlagene er opbygget af, men det hænger også sammen med, hvor meget vand der er i jorden, og hvor salt dette vand er. De mest almindelige mineraler som kvarts, feldspat og kalkspat (kalk) er meget dårlige elektriske ledere, hvorimod de også meget almindelige lermineraler leder strømmen meget bedre. Helt ferskt vand er også en dårlig leder, men er der bare en lille smule opløst salt i vandet, bliver vand



Geoelektrisk undersøgelse. To elektroder er banket ned i jorden med en kendt afstand. Når der tændes for strømmen vil den gå gennem jorden på en måde, som bestemmes af jordlagenes elektriske ledningsevne. Det mørkrastede område viser det område, som ca. halvdelen af strømmen passer igennem. Når afstanden mellem elektroderne forøges vil den samme mængde strøm nå dybere ned. Hvis der på dette niveau befinder sig et lag med lavere eller højere elektrisk modstand end det øverste lag, vil strømfeltet i jorden blive deformeret. På jordoverfladen er man i stand til at måle strømfeltets deformation ved at måle spændingsfaldet i et område mellem de to strømelektroder. Dette gøres ved at banke elektroder ned i jorden og forbinde dem til et voltmeter. I de viste tilfælde vil man være i stand til at måle dybden til de to nederste lag, hvis ledningsevne er forskellig fra det øverste lag. I det øverste tilfælde vil målingen praktisk taget kun være påvirket af det øverste lag.

en god leder. Det er disse egenskaber ved mineralerne og grundvandet man udnytter ved geoelektriske undersøgelser.

Selve undersøgelsen foregår på denne måde: Man banker to jernstænger (elektroder) ned i jorden med en bestemt afstand. Derpå sender man i et kort øjeblik strøm igennem jorden. Langt den største del af strømmen vil da passere fra den ene elektrode til den anden gennem et halvkugleformet område i jorden, hvor de to elektroder er placeret i hver sin side af halvkuglen. Når elektroderne står med en afstand på f.eks. 10 meter, vil hovedparten af strømmen passere gennem jorden i indtil 5 meters dybde. Derpå vil man kunne måle jordens ledningsevne i de øverste 5 meter. Hvis man nu forøger afstanden mellem elektroderne til 20 meter, kan man måle ledningsevnen ned til 10 meters

dybde. Fortsætter man med at forøge afstanden mellem elektroderne, vil man opdage, at ledningsevnen på et eller andet tidspunkt ændrer sig. Når det sker, betyder det, at strømmen nu når ned i et lag, som har en anden ledningsevne end det øverste lag. Alt efter hvor god eller dårlig ledningsevnen er, kan man gætte sig frem til, hvilke materialer man har sendt strømmen igennem.

Geoelektriske undersøgelser bruges mest, når man ønsker at finde vand eller grus. Men metoden er meget usikker, især fordi måleresultaterne er meget vanskelige at tolke, hvis lagene ikke ligger vandret. Imidlertid er metoden så nem og så billig, at det næsten altid er en god ide at prøve den, inden man bruger penge på at bore efter vand eller grave efter grus.

Elektromagnetiske undersøgelser

Ligesom jordens forskellige lag har forskellig evne til at lede lydølger og elektrisk strøm, er lagenes evne til at lede elektromagnetiske bølger (f.eks. radiobølger) også forskellig. Denne evne udnyttes ved elektromagnetiske undersøgelser, hvor man fra jordoverfladen eller fra et borehul måler jordlagenes evne til enten at videresende eller reflektere elektromagnetiske bølger.

Enhver, der har prøvet at høre radio på en færges bildæk, ved, at det ikke kan lade sig gøre, fordi færgens jernskrog ikke tillader radiosignalerne at passere. Det indebærer, at man heller ikke kan anvende elektromagnetiske bølger til at undersøge jordlag, som er elektrisk ledende. Elektrisk ledende jordlag er næsten udelukkende saltvandsholdige lag eller lerlag. Derfor kan man kun anvende elektromagnetiske bølger til undersøgelse af »tørre« lag – dvs. lag som ligger over grundvandszonen eller lag, som er uporøse og derfor »tørre«.

Georadar-undersøgelser er en elektromagnetisk metode, hvor man slæber en radarsender hen over jordoverfladen efter en terrængående bil med måleudstyr. Ved sådanne undersøgelser kan man på en nem og billig måde undersøge især lagene mellem grundvandet og overfladen. Metoden er derfor særlig egnet til grusefterforskning og til lokalisering af kabler, gasledninger og vandrør forud for anlægsarbejder.



Eksempel på elektromagnetisk undersøgelse. Fra en slæde sendes elektromagnetiske bølger (radarbølger) ned i undergrunden. Når radarbølgerne rammer lag med højere eller lavere elektrisk ledningsevne, vil en del af radarbølgerne blive tilbagekastet. Tidsforskellen mellem radarbølgernes afsendelse og modtagelse i slæden er da et mål for dybden til de lag, hvorfra de er tilbagekastet. Måleresultaterne udtegnes principielt på samme måde som seismogrammer (se side 14).



Boringer

Der kan være mange grunde til at bore huller i jorden, og der er mange måder at gøre det på. Menneskene har også forsøgt sig med det i flere hundrede, ja måske tusinder af år. I virkeligheden er en boring blot en speciel brønd, og på mange sprog hedder en boring simpelthen en brønd. Det viser os også, hvad formålet med boringer (brønde) har været og stadig er, nemlig at hente væsker (eller gasser) op fra undergrunden. Efterhånden

som brøndene skulle være dybere, blev det for upraktisk og farligt at grave med en skovl nede på bunden. Derfor begyndte man at udvikle lange graveredskaber, som skridt for skridt har udviklet sig til vore dages avancerede boretårne og boreplatforme. Med hensyn til teknologi lader de ikke meget tilbage at ønske, men i virkeligheden er de ikke andet end specialiserede graveredskaber og boremaskiner.

Hvorfor borer man i jorden?

Et moderne boretårn eller en boreplatform kan koste flere milliarder kroner. Det er derfor indlysende, at man kun borer huller, hvis man har chance for at finde noget værdifuldt på bunden af hullet. Dette værdifulde kan f.eks. være olie eller drikkevand. Men lige så ofte er det noget helt andet, som også kan sælges for store beløb, nemlig viden. Faktisk er hele boreindustrien et levende eksempel på, at viden og penge er ét og det samme. Derfor udføres de fleste dybe borerer som *undersøgelsesboringer* (eksplorationsboringer), hvis eneste formål er at skaffe viden om undergrunden. Kun en mindre del af alle de dybe borerer udføres som *produktionsboringer*, der skal fungere som brønde for olie, gas, vand eller andre materialer, som kan hentes op gennem et borehul.

Formålet med at bore et hul i jorden er derfor først og fremmest at undersøge, hvad undergrunden består af det pågældende sted, dernæst at bruge den opnåede viden til planlægning af f.eks. en produktionsboring. I en del tilfælde er det muligt at kombinere de to formål, sådan at undersøgelsesboringen kan bruges som produktionsboring, hvis det viser sig, at undergrunden indeholder det, man leder efter. Det gælder især *vandforsyningsboringer*.

En del borerer udføres uden noget ønske om at finde råstoffer. Det gælder f.eks. *geotekniske borerer*, som udføres for at undersøge jordens bæreevne, hvis man f.eks. ønsker at opføre en stor bygning det pågældende sted. Men det gælder også *videnskabelige borerer*, som udføres på steder man skønner vil give særlig megen ny viden.

Ud over disse typer af borerer udføres der mange andre typer, hvoraf de fleste hverken har til hensigt at undersøge noget eller at hente noget op fra undergrunden. Tværtimod vil man komme noget ned i jorden. Det kan være *deponeringsboringer* for radioaktivt affald. Eller det kan være *injiceringsboringer* (indsprøjtningboringer) for f.eks. olie, gas eller varmt vand, som man ønsker at lagre i undergrunden, fordi der måske ikke er brug for det på det tidspunkt, eller sted, hvor det er blevet produceret. Men det kan også være injiceringsboringer for kemikalieaffald (ulovligt i Danmark) – eller for kemikalier, som kan gøre en tyktflydende olieforekomst mere tyndtflydende.

En særlig type boring er de såkaldte *aflast-*

ningsboringer, som udføres, hvis man ikke kan standse en »blow out« (løbske olieboring). Her kan man ved at bore ned til det sted, hvor olien strømmer ind i den løbske boring, få olien eller en del af den til at strømme op gennem aflastningsboringen. Derefter vil det være lettere at få lukket den løbske boring.

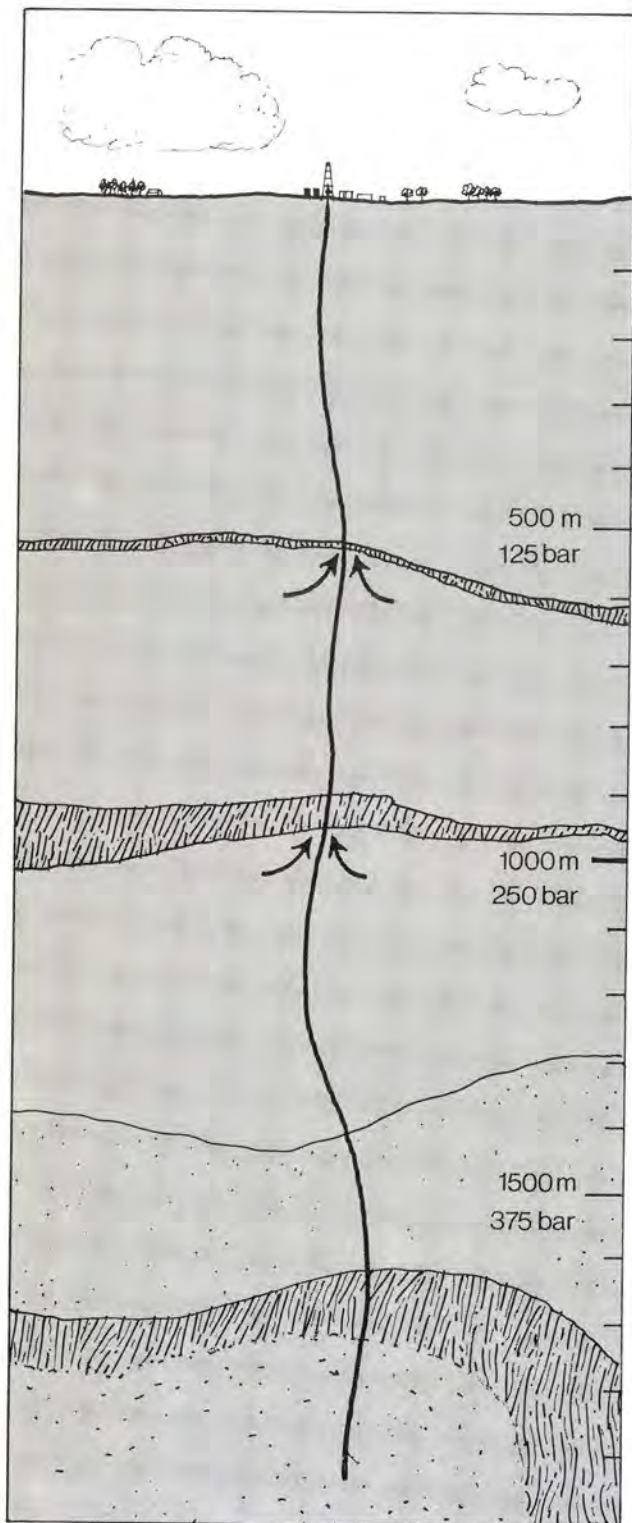
Hvad sker der, når man borer et hul?

At bore et hul i jorden kan være en vanskelig og ofte også farlig sag. Det hænger sammen med, at trykket i jorden stiger med ca. 2.5 atmosfærer (kilogram pr. kvadratcentimeter) for hver 10 meter, man bevæger sig nedad. Trykforskellen mellem jorden og det tomme borehul er derfor ca. 2.5 atmosfærer på 10 meters dybde, 25 atmosfærer på 100 meters dybde og 250 atmosfærer på 1 kilometers dybde. Og på 4 kilometers dybde, hvorfra man ofte henter olie, er trykforskellen ca. 1000 atmosfærer, svarende til 1000 kilogram pr. kvadratcentimeter.

Man skelner mellem to former for tryk. For det første er der det *geostatiske tryk*, som simpelt hen er vægten af de overliggende (overlejrende) lag. For det andet er der *væsketrykket*, som er trykket af de væsker (olie- eller vand), som ligger i porerummene mellem de korn, som lagene er opbygget af. Hvis der er forbindelse (permeabilitet) mellem porerummene fra jordoverfladen og nedefter, stiger væsketrykket med 1 atmosfære pr. 10 meter. Men findes der på vejen ned et lag, som væsken ikke kan trænge igennem (impermeabelt), vil det geostatiske tryk eller en del af det blive overført fra de overlejrende jordmasser til væsken i lagene under det tætte lag.

Når man borer igennem sådan et vandtæt lag kan trykforskellen mellem væsken i jordlagene og væsken i borehullet pludselig blive meget stor. Hvis man da ikke har sørget for, at væsken i borehullet (boremudderet) er tungt nok, så det kan holde grundvandet på plads, kan grundvandet sprøjte op af hullet med stor kraft og være til fare for borefolkene (artesiske vand).

Især når man borer til store dybder, f.eks. efter olie, kan dette let ske, når man kommer ned til en



Boring til ca. 2 kilometers dybde. Boringen slynger sig en del, især nederst. Det geostatiske tryk stiger jævnt med dybden, mens det hydrostatiske tryk er påvirket af de gennemborede lags egenskaber. Der kan derfor være tendens til, at væske og gas vil strømme ind i boringen under tætte lag.

olie- eller gasforekomst. Olie og gas findes altid under tætte lag, og faren er derfor stor, for at man ikke kan holde olien eller gassen på plads, når man er kommet igennem det tætte lag. Sker det, at man ikke kan holde olien på plads, vil den strømme ud af boringen med et enormt tryk og blive mere eller mindre forstøvet, hvorefter der er stor fare for, at der går ild i den. Denne situation kaldes en »blow out« og kan være uhyre vanskelig at få standset. En »blow out« kan sammenlignes med, at man putter en gennemvædet svamp i en plastikpose, placerer et tungt lod oven på plastikposen med svampen og derpå borer hul i posen. Så kan det ikke undgås, at vandet sprøjter ud af posen, før man fjerner loddet, som i dette eksempel svarer til vægten af de overlejrende jordmasser.

Disse ting er de første, man må tænke på, når man vil foretage en boring til mere end nogle få hundrede meters dybde. Derfor skelner man mellem to typer af borer, nemlig *korte borer*, hvor man ikke behøver at kræve store sikkerhedsforanstaltninger, og *dybe borer*, hvor man ustandseligt må kontrollere, hvad man borer i, og om der er fare på færde. Disse to typer af borer kan hver især udføres på mange forskellige måder. De mest almindelige omtales i de følgende afsnit.

Boreteknik

En boring eller en brønd er et omtrent cylindrisk hul i jorden. For at fremstille dette cylindriske hul må man bruge en teknik, som bevirker, at man fjerner materialer fra bunden af hullet og bringer dem til jordoverfladen. Desuden må man bruge en teknik, som sikrer, at hullet ikke styrter sammen, og at væske og gas ikke strømmer op af hullet på en ukontrolleret måde.

Dette kan ske på mange måder. Mest almindeligt er det at bore med *snegl* og *sandspand* (korte borer), når ingen særlige sikkerhedskrav bliver stillet, eller med *rullemejsel* (både korte og dybe borer). En snegl er et proptrækkerformet redskab, som skrues nogle meter ned i jorden ad gangen, for at man kan trække en 'prop' ud. En sandspand er et tungt rør, der er lukket i den nederste ende med en plade med et hul i. Over hullet ligger en klap, som åbnes, når spaden bevæges nedad, og som lukkes, når spanden bevæges



Alle dybe borer og de fleste vandforsyningsboringer bores idag med rullemejsel ('bit' - triconebit') eller tilsvarende redskaber. Fordelen ved denne boremetode er, at det opborede materiale kan spules op til overfladen, således at borerør og boreprøver ikke hele tiden skal hejses op. Til gengæld bliver

boreprøverne af lavere kvalitet end ved andre boremetoder. Boring med rullemejsel har derfor givet anledning til en voldsom udvikling af elektroniske borehulsmålinger ('logging'), hvor de gennemborede lags fysiske egenskaber måles nede i borehullerne.

opad. Ved at hæve og sænke sandspanden nogle centimeter mange gange i træk vil sandspanden efterhånden blive fyldt med materiale fra bunden af hullet.

En rullemejsel ('bit') består af et hoved med nogle dyser, hvorigennem der sprøjtes borevæske. På hovedet er monteret i reglen tre kegleformede tandhjul ('tricone bit'), der er udformet og anbragt sådan, at de, når rullemejslen drejer rundt, vil rulle hen over alle punkter på bunden af hullet.

Disse redskaber er dem, der løsner materialet fra bunden af hullet. Og i tilfældet med sneglen og sandspanden er det også dem, der bringer det løsnede materiale op til overfladen. Det tager imid-

lertid meget tid at skulle tage enten sneglen eller sandspanden op fra bunden af hullet mange gange. Og jo dybere hullet bliver, desto langsommere vil det gå med selve borearbejdet, når man borer med disse redskaber.

Sådan er det ikke med en rullemejsel, for her bringes det løsnede materiale op til overfladen, ved at man hele tiden spuler det op. Det sker ved, at man inden i borerørene sender boremudder ned til bunden, hvorfra mudderet løber op til overfladen mellem borerør og hullets væg. Man må derfor hele tiden sørge for, at boremudderet har så tilpas en konsistens og så stor en vægtfylde, at det kan løfte det løsnede materiale.

En dyb boring

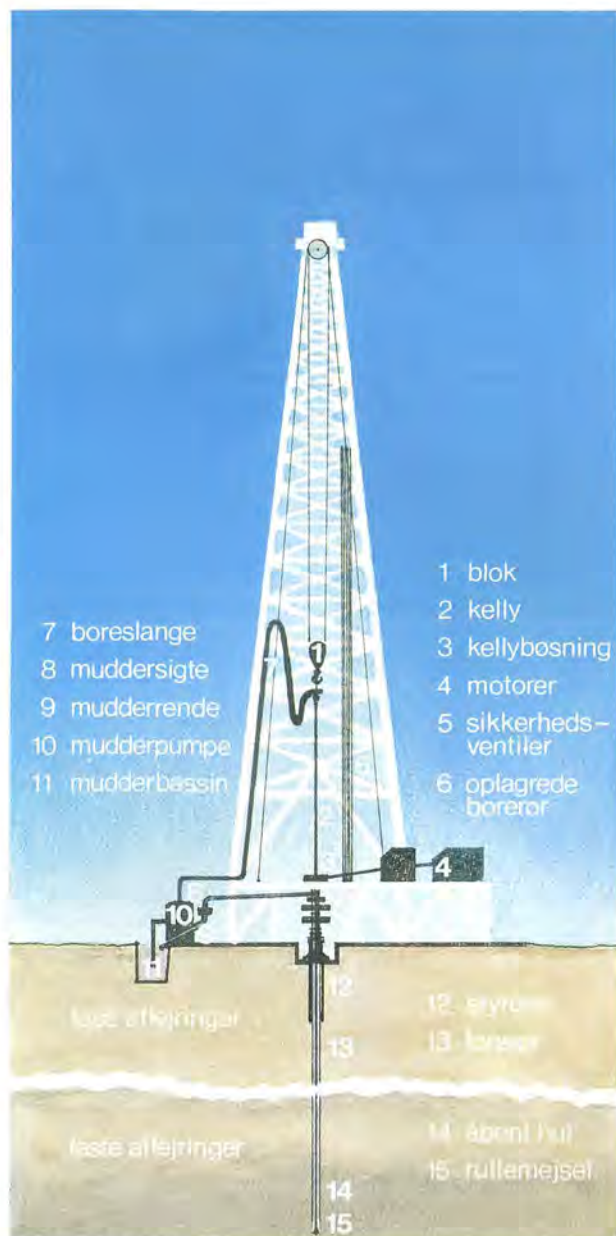
Principperne for, hvordan man hurtigst og sikrest udfører en dyb boring, er hovedsagelig udviklet i USA og Mellemøsten i de sidste 50 år. Disse principper bruges for det meste, når man borer efter olie, men anvendes også ved alle andre dybe borer. Efterhånden anvendes de også i stor udstrækning ved vandindvindingsboringer.

Boreriggen

For at kunne udføre en dyb boring skal man have en *borerig*. Boreriggen består af en række enheder, som kan være forskelligt udformede, men som udfører de samme funktioner på alle forskellige borerig-typer. *Boretårnet* er et stativ, hvori der er ophængt en kraftig *blok* (talje), som bruges til at hejse borerørene op og ned med. Samtidig anvendes boretårnet til oplagring af borerør, når de trækkes op af hullet. Et boretårn er som regel 3 gange så højt som længden af de enkelte borerør, så man ikke behøver at skrue alle borerørene sammen eller fra hinanden, når de hejses ned eller op. Boretårnet står på *boredækket*, som er det område, hvor hovedparten af mandskabet arbejder. Midt i boredækket sidder *kelly-bøsningen* (kelly-bushing), som er et kraftigt drivhjul med et kvadratisk hul i midten. Det øverste af borerørene er kvadratisk i tværsnit (*kelly*) og passer netop til dette hul. Kelly-bøsningen trækkes under borearbejdet rundt af en *dieselmotor*, enten direkte eller via en elektromotor, og er samtidig drivkraft for borepladsens elektricitetsforsyning.

På boredækket har man desuden et *spil*, som trækker blokken op og ned. Hertil kommer *andre spil*, som bl.a. anvendes ved håndteringen af de store *rørtænger*, der bruges, når borerørene skrues sammen eller skilles ad. På boredækket findes en anordning, som viser *borehastigheden* og *boreddybden*. Desuden findes en *vægt*, som viser *boretrykket*, dvs. borestammens tryk på bunden af hullet.

Uden for boredækket findes en stor *vibrations-sigte* (shale-shaker), som sier de groveste partikler i det opborede materiale fra *boremudderet*. Desuden findes en række store *mudder-bassiner*, hvor boremudderet opbevares, og hvori de finere partikler i det opborede slam kan nå at falde til bunds, inden



Principskitse af en borerig. Funktionsmåden er stort set den samme, hvadenten riggen er opstillet på landjorden eller på en boreplatform til søs.

boremudderet atter sendes ned i hullet. Det opborede materiale opsamles i et *slambassin*, hvori også kasseret boremudder opsamles. Boremudderet pumpes rundt i boring og mudderbassiner af en kraftig *pumpe*. Mudderets gasindhold, konsistens og massefylde kontrolleres hele tiden i en *mudderkabine*. Det kan foregå manuelt eller elektronisk.

Desuden er der på borepladsen altid et *værksted* samt en række beboelses- eller opholdsvogne, kontorvogne, laboratorievogne og sanitetsvogne.

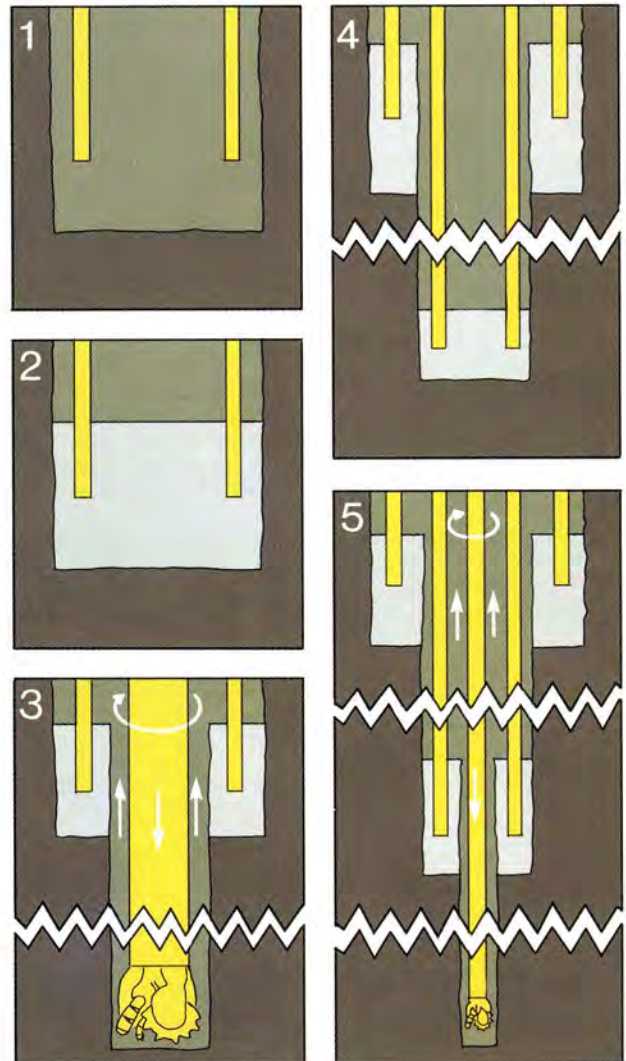
Borearbejdet

Borearbejdet begynder med, at man rammer et *styrerør* (conductor-pipe) nogle meter ned i jorden. Derpå borer man ned gennem styrerøret. Materialet løsnes fra bunden af borehullet ved hjælp af *rullemejslen* (bit), som er monteret på *borerørene*. Borerørene er monteret på den firkantede *kelly*, som trækkes rundt af rotationsboret med *kellybøsningen* i midten. Kellyen er forbundet via et vandtæt leje med *boreslangen* (hose), som står i forbindelse med *mudderpumpen*.

Boremudderet passerer nu fra mudderpumpen gennem boreslange, kelly, borerør og ud gennem dyserne i rullemejslen. Herfra løfter mudderet det løsnede materiale (*cuttings*) op gennem borehullet i hulrummet mellem borerør og borehullets sider. Når boremudderet med dets indhold af *cuttings* kommer op til overfladen, ledes det ud over *vibrationssigten*, som fanger hovedparten af det opborede materiale, der ledes ud i slambassinet. Med bestemte mellemrum udtager mudderingeniøren prøver af det opborede materiale, som gives videre til geologen.

Mudderingeniøren beregner ligeledes, hvilken dybde prøverne kommer fra, idet der – jo dybere hullet bliver – går længere og længere tid, inden det opborede materiale kommer op til overfladen. Denne forsinkelse (lag-time) beregnes ud fra antallet af pumpeslag pr. minut, borerørens diameter og borehullets diameter, og det beregnede resultat kontrolleres ved at tilsætte let genkendeligt materiale, f.eks. ris, til boremudderet og derpå at måle, hvor lang tid der går, inden risene kommer ud på vibrationssigten. I meget dybe borerør kan forsinkelsen være flere timer, og det er derfor meget vigtigt at kende forsinkelsen, da man med en stor forsinkelse kan bore i helt andre aflejringer, end dem man ser på vibrationssigten.

Desuden giver forskellen mellem den beregnede forsinkelse og den målte forsinkelse et indtryk af, hvor uregelmæssigt borehullet er. Hvis borehullets væg f.eks. er styrtet ind i hullet på visse niveauer (*caving*), bliver huldiameteren her større, hvorved boremudderets hastighed på disse ni-



Principskitse af boring med forerør. Jo dybere hullet skal være, desto større huldiameter må man starte med. I meget dybe borerør kan det være nødvendigt med 3-4 sæt forerør indeni hinanden. Hvert sæt forerør skal cementeres fast, så væske og gas ikke kan trænge op langs forerørens yderside.

veauer bliver lavere. Herved vil den målte forsinkelse være større end den beregnede. Dette er vigtigt at vide for geologen, da boreprøverne da vil være forurenede med materiale, som ikke stammer fra bunden af hullet, men fra et tilfældigt sted i boringen. Hvis den målte forsinkelse derimod er lavere end den beregnede, kan det skyldes, at borehullet er blevet for snævert på visse strækninger. Dette er også vigtigt at vide, da det kan give et forvarsel om, at borerørene kan sætte sig fast.

Efterhånden som hullet bliver dybere, glider kellyen ned gennem bøsningen, og når kellyen er helt nede, trækkes den og det øverste stykke af det øverste borerør op over kelly-bøsningen. Her fastgør man så borerørene med nogle solide metalkiler, så borerørene ikke falder ned i hullet, når man skruer kellyen af. Når kellyen er skruet af det øverste borerør, skrues et nyt borerør på, hele borestammen sænkes derpå en rørlængde, og kellyen skrues atter på toppen af borestammen. Derpå kan man bore en rørlængde, inden operationen skal gentages.

Før eller siden skal alle borerørene ud af hullet. Denne operation, som kaldes et »round-trip«, kan skyldes, at rullemejslen er slidt op, at der skal sættes forerør, at man skal skære en borekerne, at hullet skal renses, eller at der skal foretages målinger i borehullet. Et »round-trip« foregår i reglen ved, at man trækker tre rørlængder op ad gangen (18 meter), så ikke alle borerørene behøver at blive skilt ad. Derpå udfører man den ønskede operation og kører rørene ned i hullet igen. Under et »round-trip« kan man anbringe specielle borerør på forskellige steder af borestammen. Disse specielle borerør kaldes stabilisatorer (*collars*) og har til formål at centrere borestammen i borehullet, så borestammen og borehullet ikke beskadiges.

Efterhånden som borehullet bliver dybere, bliver borestammen længere og dermed tungere. På et tidspunkt bliver borestammen så tung, at den ikke kan bære sig selv, men ville knække, hvis man ikke holdt igen med blokken. Herved bliver man i stand til at regulere *boretrykket* efter behov. Boretrykket benyttes til at styre boringen med, idet jo lavere boretryk man bruger, desto mere lodret vil borehullet blive, og omvendt. Almindeligvis er dybe boringer mere eller mindre spiralformede, idet borehullet beskriver en spiral med samme rotationsretning som borestammens omløbsretning. Denne egenskab kan man benytte, hvis man

ønsker at tvinge boret i en bestemt retning, eller hvis man ønsker at lave flere afbøjede boringer ud fra det samme hul (f.eks. ved produktionsboringer). Når borestammen er ca. en kilometer lang er den tung nok til, at man kan tvinge boret i en bestemt retning. Det sker ved, at man dels anbringer styreledskaber på de rigtige steder, og dels ved at man benytter borets tendens til at køre i spiral. Man kan da forøge spiraleffekten ved at øge boretrykket, og når boret så peger i den ønskede retning, sænker man igen boretrykket, hvorefter boret vil bore lige. Efterhånden er man blevet så erfarne i at styre boringer, at man kan ramme et mål på flere kilometers dybde med få meters nøjagtighed.

For at forhindre væsker og gas i at trænge op af hullet på en ukontrolleret måde, og for at forhindre hullet i at styrte sammen, sætter man forerør ned i hullet. Hvis boringen skal bruges til produktion, sættes forerørene helt ned til de producerende lag, og hvis boringen er en undersøgelsesboring, sættes forerørene ned til lidt under toppen af de første hårde lag. Forerørene skrues sammen på samme måde som borerørene, og de sænkes ned til lidt over bunden af hullet. Når de er på plads, skal de cementeres fast til hullets vægge, så f.eks. olie og gas ikke kan trænge op mellem forerør og hullets vægge. Cementeringen sker ved, at man hælder cement i forerørene. Cementen vil da trænge op om forerørenes yderside indtil cementen står lige højt indeni og udenom rørene. For at være sikker på at cementen er tæt, kan man sætte tryk på forerørene, så cementen presses ind i revner og sprækker og højere op om forerørenes yderside. Når cementen er hærdet, borer man gennem cementproppen og videre ned.

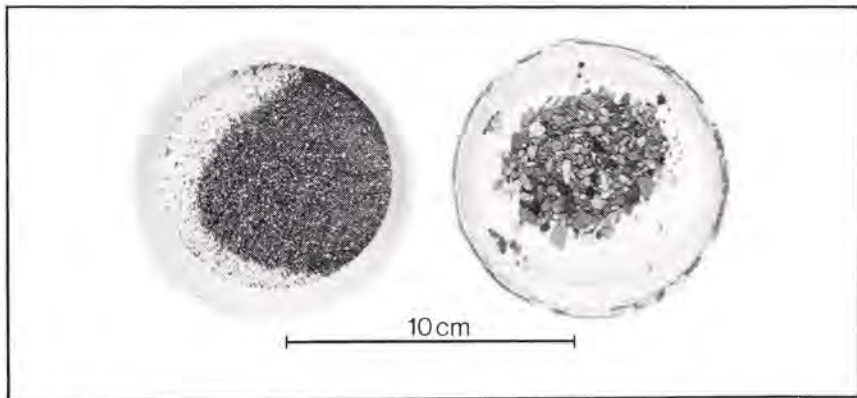
Men nu må borearbejdet fortsætte med en mindre rullemejsel, som kan gå indeni forerørene. Skal der sættes flere forerør efter det første sæt, placeres de indeni de første. Herved bliver diameteren af den rullemejsel, som boringen fortsættes med, stadig mindre med dybden. Hvis hullet skal være meget dybt, er det derfor nødvendigt at starte med en meget stor huldiameter, og det er medvirkende til, at prisen pr. meter boring stiger voldsomt med dybden. For det første bliver værdien af stålet i forerørene meget stor i dybe boringer, for det andet tager et »round-trip« længere og længere tid, jo dybere man er nede, og for det tredje blive alle operationerne mere og mere komplicerede med dybden.

Geolog, som på boreriggen undersøger boreprøver (»cuttings«) for et eventuelt indhold af olie. Desuden beskriver geologen (»mudloggeren«) de gennemborede lag.

Til højre: Borefolk i arbejde. Bemærk boremudderet på boredækket.



Boreprøver rensat for boremudder. Til venstre »cuttings«, som rullemejslen har slidt løs fra bunden af borehullet. Til højre »cavings«, som er tilfældige løsrevne stykker af borehullets væg. Man kan aldrig med sikkerhed skelne mellem cuttings og cavings.



Boremudderet

Dels for at løfte det opborede materiale op til overfladen, og dels for at holde væske, gas og aflejringer på plads er boremudderets sammensætning en meget vigtig side af hele arbejdet. For det første skal boremudderets konsistens være sådan, at det smører og køler borekronen og borerørene, for det andet skal mudderet være sejt nok til at løfte det opborede materiale og løsrevne brokker fra borehullets vægge til overfladen, og for det tredje skal mudderet være så tungt, at olie, vand og gas fra de gennemborede lag ikke trænger op gennem borehullet, og at det kan holde borehullets vægge på plads.

En boring kan bores »balanceret«, »overbalanceret« og »underbalanceret« eller som en blanding af de tre grader. Ved en balanceret boring forsøger man at holde muddervægten sådan, at trykket i mudderet er lige så stort, som væsketrykket i formationen. Ved en overbalanceret boring er muddervægten højere og ved en underbalanceret boring lavere.

Før i tiden var næsten alle olieboringer overbalancerede, fordi man ikke havde så mange mulig-

heder for at kende væsketrykket i formationen, og fordi man ikke ville risikere »blow-out«. Dette har imidlertid den ulempe, at boremudder vil trænge ind i olie- og gasholdige lag, så man måske ikke bliver opmærksom på deres eksistens. Man kan altså f.eks. ikke være sikker på, at der alligevel ikke var olie eller gas i de boringer som blev udført i Danmark for 20-30 år siden.

Derfor forsøger man i de fleste moderne boringer, at holde muddertrykket så lavt, at mudderet ikke trænger ind i porøse lag. Balancerede boringer er ret risikofyldte, da olie- og gas kan trænge ind i borehullet, hvis man ikke på forhånd kender trykket i de olie- og gasholdige lag. Olie- og gasboringer udføres aldrig som underbalancerede boringer, hvorimod f.eks. vandboringer, hvor risikoen for artesiske vand er lille, godt kan udføres med et lavere tryk i boremudderet end i formationsvæsken (grundvandet). Underbalancerede boringer giver en højere ydeevne end overbalancerede boringer, fordi der ikke trænger mudder ind i de producerende lag, som derved vil være mindre forurenet og tilstoppede, end når der bores overbalanceret.

Boremudderet kan være vandbaseret (ferskt eller salt) eller oliebaseret. Det bliver fremstillet

ved at opslæmme forskellige materialer i vand eller olie. Der anvendes et utal af forskellige materialer til opslæmningen, og hele boremudderanvendelsen er i dag basis for en stor international industri og forskning. Generelt kan det siges, at de materialer som tilsættes til muddret skal opfylde tre funktioner. For det første skal nogle materialer sikre, at boremuddret får den rigtige *massefylde*, for det andet skal nogle materialer sikre, at boremuddret får den rette *konsistens* (viskositet), og for det tredje skal nogle materialer sikre, at boremuddret kan danne en tæt *mudderkage*, hvis muddret trænger ind i porøse lag.

Boremuddret kontrolleres konstant af mudderingeniørerne, som måler dets vægtfylde, viskositet og gasindhold. Desuden kontrollerer de konstant, hvor meget mudder der forsvinder i boringen. Hvis muddertabet er stort, er det tegn på, at boringen er på vej gennem en porøs og permeabel

formation. Hvis der i sådan et tilfælde forsvinder så meget mudder, at mudderbassinerne tømmes, eller muddret forsvinder lige så hurtigt, som det pumpes ned, er boringen i en kritisk fase, som kan ende med, at muddret ikke cirkulerer mere, og at boret sætter sig fast. Derfor må mudderingeniørerne straks tilsætte materialer, som kan tilstoppe de lag, hvor muddret forsvinder. Desuden kan man risikere, at muddervægten falder p.gr.a. fortynding med grundvand eller olie og gas. Dette kan føre til »blow-out«, hvorved boremudder og formationsvæsker og gas med stor kraft slynges ud af borehullet.

Det er ofte nødvendigt at udskifte muddret helt. Hvis man f.eks. borer fra almindelige aflejringer ind i saltlag, er det nødvendigt at udskifte vandbaseret mudder med mudder, som ikke opløser salt. Det kan ske ved at udskifte ferskt mudder med saltmættet mudder eller oliemudder.

Specielle boreoperationer

På de fleste borer går en stor del af tiden med specielle boreoperationer. En af de vigtigste er *kernetagning*, hvor man i stedet for at bore med rullemejsel borer med et *kernerør*, som skærer en i reglen 18 m lang *borekerne* ud af lagene. Da kernetagning er en meget kostbar proces, foretages der som regel kun ganske få kernetagninger i moderne borer. Før i tiden, hvor de forskellige borehulsmålninger ikke var så avancerede som i dag, var antallet af kernetagninger langt større, da kerner dengang (som nu) er den eneste form for boreprøver, der helt entydigt fortæller, hvilke aflejringsstyper man har gennemboret. I dag begrænser kernetagningen sig som regel til de lag, man regner med at skulle producere fra. Moderne borer stiller derfor langt større krav til geologernes kunnen, fantasi og lokalkendskab, end borerne gjorde før i tiden.

En anden type af specielle operationer, som kan tage megen tid er *fiskeoperationer*. Meget ofte sker der det, at man taber noget i hullet, at borestammen knækker, at borekronen går i stykker osv. med det resultat, at der befinder sig metal på bunden af boringen. Da man ikke kan bore gennem selv ganske små metalstykker, er det nødvendigt at fjerne metallet. Hertil er der udviklet en lang række specielle redskaber.



Længdesnit af et kernerør, som er ved at bore en kerne ud. Nederst løsner en diamantkronen materialet, som af boremuddret føres op til jordoverfladen. Efterhånden som diamantkronen arbejder sig nedad, glider borekernen op i inderrøret. Modhager nederst i inderrøret sikrer, at borekernen følger med op, når kernerøret trækkes op.

Undersøgelser af boringer

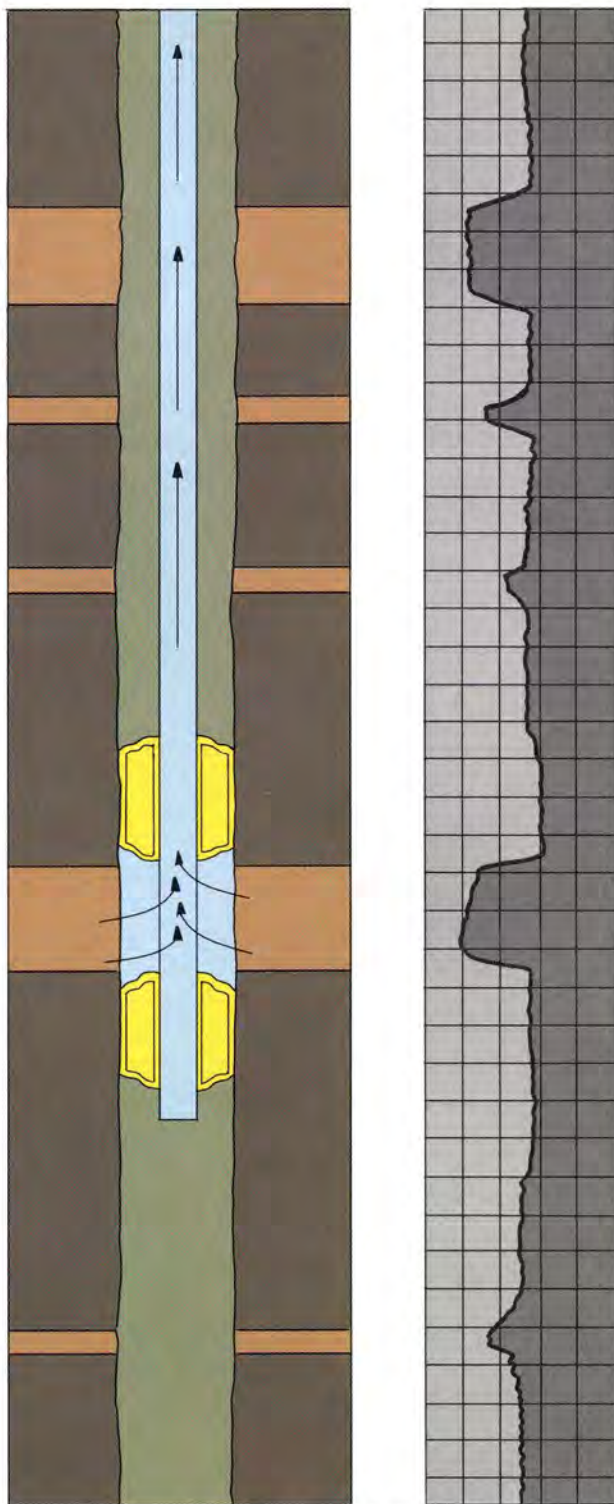
Når borearbejdet er færdigt (helt eller delvist) begynder geologerne at undersøge boringen. Disse undersøgelser kan opdeles i to helt forskellige typer. Dels er der de undersøgelser, som foretages i selve borehullet. Denne type undersøgelser foretages ved at nedsænke forskellige apparater i borehullet og kaldes 'test og borehulslogging'. Dernæst er der de undersøgelser, som foretages på det opborede materiale i forskellige laboratorier.

Målinger i borehullerne

De fleste af de gennemborede jordlags simple fysiske egenskaber kan måles ved at sænke forskellige instrumenter ned i borehullet. At dette er muligt betyder, at man ikke behøver at optage så mange dyre borekerner som tidligere. Men det betyder også, at man kan måle egenskaber, som forsvinder når prøverne bringes op til overfladen. Disse borehulsundersøgelser deles op i to forskellige typer.

For det første er der de forsøg (test), hvor man undersøger jordlagenes *permeabilitet* (gennemstrømmelighed for væske og gas). Det er for både olie-, gas- og vandboringer meget vigtigt at kende permeabiliteten, da dens størrelse er helt afgørende for hvor meget f.eks. et olieholdigt lag kan producere. Permeabiliteten kan måles, ved at man afskærmer det lag, man ønsker at undersøge, med to oppustelige pakninger. Disse pakninger anbringes med den ønskede afstand på et rør, som kan åbnes og lukkes mellem pakningerne. Derefter føres røret ned til den ønskede dybde, hvor man så puster pakningerne op, sådan at de slutter fuldstændigt tæt mellem røret og borehullets væg. Derpå åbner man nogle huller i røret. Hvis der er olie eller gas i laget, vil det strømme ind i røret og op til overfladen, hvor man så måler, hvor meget olie eller gas laget giver.

Meget ofte har man ved selve borearbejdet formindsket den naturlige permeabilitet, fordi der er trængt boremudder ind i lagets porer og sprækker. Ved for eksempel at pumpe saltsyre ind i laget kan man undersøge, hvor meget man kan forbedre permeabiliteten og dermed ydeevnen. Men der findes også mange andre måder at forbedre permeabiliteten på. Man kan for eksempel knuse en zone omkring borehullet enten med et stort overtryk eller med sprængstof.



Eksempel på direkte og indirekte borehulsmåling. Til venstre foretages en 'test' (pumpeforsøg). Over og under det lag, man ønsker at undersøge, har man anbragt oppustelige pakninger. Herved kan man måle selve lagets ydeevne. Til højre er vist et eksempel på en indirekte måling (log). Herved kan man få indtryk af lagenes porøsitet, vægtfylde, elektriske ledningsevne, indhold af olie og mange andre oplysninger.

Den anden type målinger foretages ved ganske langsomt at sænke et måleapparat eller en serie af måleapparater ned i hullet. Mens måleapparaterne passerer forbi de forskellige lag, måler de løbende og hver især en ganske bestemt egenskab ved lagene. Sådanne målinger (logging) afbildes som kurver på en papirsstrimmel med dybdeangivelser (en log).

Disse målinger foretages ved f.eks. at måle jord- og stenlagenes *naturlige radioaktive stråling*, ved at måle den *elektriske spændingsforskel* mellem lagene og jordoverfladen, ved at måle lagenes *elektriske modstand* eller *ledningsevne*, ved at måle *lydens hastighed* i lagene, ved at måle lagenes *vandindhold* og meget andet. Signalerne fra måleinstrumenterne sendes via et kabel op til en computer på jordoverfladen. Computeren omsætter derefter signalerne til kurver for de egenskaber ved lagene, som man ønsker at vide noget om.

En særlig vigtig måling er *loggen for borehullets diameter* (caliper). Denne log er vigtig for beregningen af alle de andre målinger, bl.a. fordi

signalernes styrke er afhængig af afstanden fra måleapparaterne og ud til borehullets væg. Desuden viser loggen for borehullets diameter, hvor hullet har taget skade, ved at noget af væggen er faldet ned. Men den kan også vise, hvor de permeable lag, som måske indeholder olie, ligger. På disse steder vil borehullets diameter nemlig blive mindre, end det oprindeligt blev boret, fordi boremuddet vil trænge ind i disse gennemtrængelige (permeable) lag. Laget vil så virke som et filter, og mudderparker vil ophobes på borehullets væg (mudderkage eller filterkage).

Computerberegninger og geologiske vurderinger af de øvrige log-typer giver forholdsvis pålidelige oplysninger om lagenes *mineralsammensætning*, *massefylde*, *lagenes hældning*, *beliggenheden af sprækker*, *grundvandets saltholdighed*, *lagenes temperatur* og *porøsitet* og om *mængden af olie og gas*. Men målingerne er dog i reglen behæftet med en del unøjagtigheder. Derfor er det nødvendigt at kontrollere målingerne på de optagne boreprøver.

Undersøgelser af boreprøverne

Formålet med at undersøge boreprøverne er først og fremmest at finde ud af, *hvor gamle* de forskellige lag er, og *under hvilke forhold lagene oprindeligt er dannet*. Lagenes alder er vigtig at kende, for at man kan sammenligne lige gamle aflejringer i forskellige dele af et område. Og de forhold, aflejringerne er dannet under, er vigtige at kende, for at man ved at sammenligne forskellige borer kan finde ud af, hvilken type aflejringer der er imellem borerne. Desuden undersøger man boreprøverne for at finde ud af, hvordan og hvor meget de er omdannet i forhold til deres oprindelige sammensætning. Dette er især vigtigt for at finde ud af, om aflejringerne kan have afgivet olie og gas til overliggende porøse lag.

Aldersbestemmelsen

Et lags alder kan bestemmes på mange måder. Aldersbestemmelsen er helt nødvendig, hvis man vil kortlægge undergrunden. Det er nemlig sådan, at et bestemt lag fuldstændig kan ændre udseende og sammensætning, når man går fra et område til et andet. Derfor kan man ikke umiddelbart gen-

kende lagene fra sted til sted eller fra boring til boring. Og når man ikke kan være sikker på at kunne genkende lagene på deres udseende, er det umuligt at kortlægge dem uden at kende deres alder.

Den videnskab, som beskæftiger sig med aldersbestemmelsen, kaldes *stratigrafi*. Og stratigrafien bygger på flere helt forskellige metoder til aldersbestemmelse. Den vigtigste metode er den relative aldersbestemmelse. Her er grundprincippet, at de yngste aflejringer ligger øverst og de ældste nederst, hvis den gennemborede serie af lag ikke senere er vendt på hovedet. Det kan de nemlig godt være, hvis der i området har været en bjergkædefoldning eller andre bevægelser i Jordens skorpe. Den relative aldersbestemmelse bygger derfor på en række simple metoder til at finde ud af, hvad der oprindeligt var op og ned på aflejringerne. En anden vigtig relativ aldersbestemmelsesmetode er, at lag, som skærer igennem andre lag, er yngre end de gennemskårne lag. Disse relative aldersbestemmelser giver naturligvis ikke nogen nøjagtig alder, men siger blot, hvor gamle de forskellige aflejringer er i forhold til hinanden.

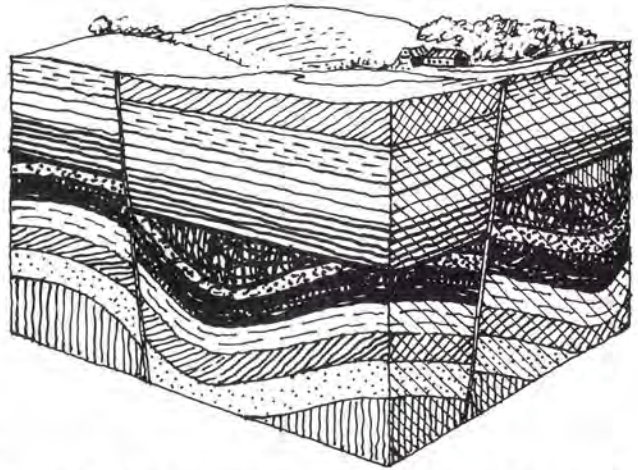
Aldersbestemmelse ved hjælp af forsteninger

Skal man have mere nøjagtig besked om, hvor gammel en aflejring er, er den mest brugte metode at undersøge de *forsteninger*, der er i lagene. Denne metode, som kaldes *biostratigrafien*, bygger på *Darwins* udviklingslære. Til enhver tid i de sidste 3 milliarder år har Jorden været beboet af forskellige organismer. Og plante- og dyresamfundene har til hver en tid været forskellige fra hinanden. De første levende væsener var primitive, bakteriellignende organismer. Disse udviklede sig efterhånden til encellede dyr og planter, som atter udviklede sig til mere komplicerede organismer for til sidst at ende med den umådeligt komplicerede dyre- og planteverden, vi kender i dag. Alle jordperioderne har haft deres egen flora og fauna og de forskellige lag af samme alder kan derfor genkendes på, at de indeholder forsteninger på samme udviklingstrin.

I gamle dage foretog man for det meste aldersbestemmelsen på lagenes indhold af de forsteninger, som er synlige med det blotte øje. Det kunne være forsteninger af snegle, muslinger, blæksprutter og en række andre dyre- og plantegrupper. Det kunne også være dyregrupper som trilobiter, ammoniter og kæmpeøgler eller plantegrupper som træbregner og koglepalmer, der alle på et eller andet tidspunkt fuldstændig har domineret Jordens dyre- og planteliv, men som i dag kun er repræsenteret ved fjerntstående slægtninge.

Men disse store forsteninger duede ikke, da det blev almindeligt at foretage dybe borer, hvor man kun får små prøver op af jorden. Derfor begyndte man at interessere sig for de mikroskopiske forsteninger, *mikrofossilerne*. Mikrofossiler er mikroskopiske skaller af dyr og plantedele, og de findes overalt i jorden, ofte i enorme mængder. Det er derfor normalt ikke noget problem at finde tilstrækkeligt mange af dem i boreprøverne, til at man kan foretage en sikker aldersbestemmelse. Imidlertid findes der så mange forskellige slags mikrofossiler, at man har måttet koncentrere sig om nogle få grupper for at få et brugbart overblik. Man har koncentreret sig om de grupper, man kan være mest sikker på at finde.

Hvis det drejer sig om at aldersbestemme havaflejringer, bruger man for det meste de grupper, som repræsenteres af vore dages *plankton*. Plankton er dyr og planter, som lever frit svævende i



Relativ aldersbestemmelse: Først er de nederste lag aflejret. Derpå er de blevet foldet og eroderet. Så er de øverste vandrette lag aflejret. Til sidst er alle lagene skåret igennem af en forkastning.

Ammoniter (herunder) er vigtige for aldersbestemmelsen af lag fra Jordens middelalder. Mikrofossiler (nederst) er vigtige for aldersbestemmelse af boreprøver. De to fotos taget med elektronmikroskop og viser to arter af dinoflagellater fra kridttiden.



havet. I en kubikcentimeter havvand kan der være tusindvis af planktonorganismer, og nogle få af dem har en skal, som kan bevares for eftertiden. Når planktonorganismerne dør, falder de ned på havbunden, hvor nogle af skallerne bliver begravet i bundslammet. Her kan de så bevares i sneesevis eller titusindvis pr. kubikcentimeter alt efter omstændighederne.

De planktongrupper, som man mest interesserer sig for i dag ved aldersbestemmelser af havaflejringer, er *foraminiferer* og *dinoflagellater*, da disse grupper er særlig almindelige som mikrofossiler. Foraminifererne er amøber, som har en kalkskal, der let bevares. Men lige så ofte finder man foraminifererne som aftryk eller stenkærner, hvor selve skallens indre er erstattet eller udfyldt af materiale, som viser, hvordan skallen har set ud. Dinoflagellaterne er encellede planktonalger, og det er bl.a. dem, der farver vandet grønt. Af og til indkapsler dinoflagellaten sig i en uhyre modstandsdygtig skal af et plasticlignende stof. Det sker, når livsvilkårene bliver så ringe, at planktonalgen går i hi, eller det sker, når planktonalgen skal forplante sig ved kønnet formering. Derpå trænger flagellaten ud gennem et hul i skallen, som synker til bunds og bliver begravet i bundslammet. Disse skaller, som viser hvordan flagellaten har set ud, tåler næsten hvad som helst, og derfor kan der være mere end hundrede tusinde, men som regel mellem hundrede og tusind af dem pr. kubikcentimeter boreprøve.

Indtil nu er der beskrevet mere end 30.000 forskellige arter af uddøde foraminiferer og mere end 2.000 forskellige arter af uddøde dinoflagellater. Og næsten hver dag finder man nye arter. Men fordi der er så mange eksemplarer pr. kubikcentimeter boreprøve, vil det næsten altid være muligt at finde en eller flere arter, som kun levede i en ganske bestemt jordperiode. Når man har identificeret disse arter, er det let at foretage aldersbestemmelsen.

I de allerældste aflejringer bruger man andre mikrofossiltyper. Flere af disse typer er så forskellige fra nulevende dyr og planters skaller, at man kun har en vag fornemmelse af, hvordan de har levet, og hvordan hele organismen har set ud. Men også disse mikrofossiler kan forekomme i næsten astronomiske tal i aflejringerne, og man kan deraf slutte, at de har haft samme betydning for datidens liv i havene, som havenes plankton har i dag.

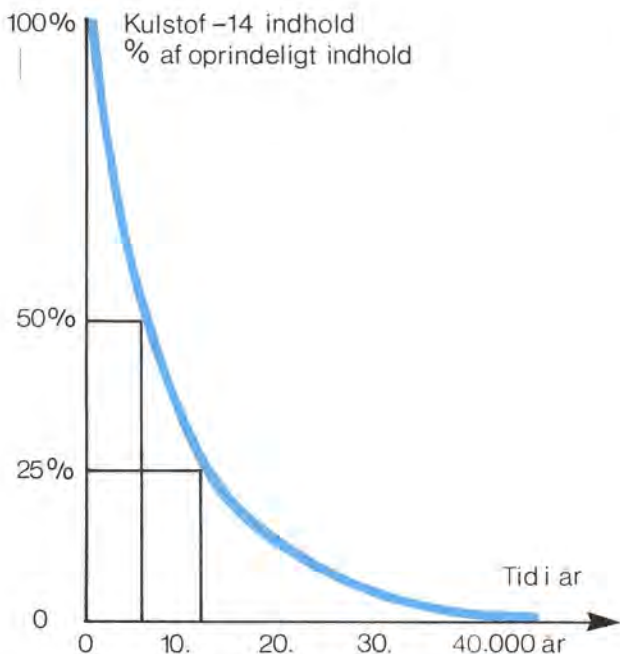
Men ikke alle aflejringer er aflejret i havet. Også på landjorden, i floder og søer, aflejres meget materiale. Her kan man naturligvis ikke foretage aldersbestemmelsen på de samme dyre- og plante-grupper, som man bruger i havaflejringerne, fordi landjordens plante- og dyreliv er meget forskelligt fra havenes. Til aldersbestemmelse af landjordens aflejringer (*kontinentale aflejringer*) bruger man næsten udelukkende deres indhold af blomsterstøv, *pollen* og *sporer*. Pollen og sporer dannes i enorme antal i planternes hanlige formeringsorganer, hvorfra de spredes med vinden eller med insekter. Især de planter, som formerer sig ved vindbestøvning, producerer meget store mængder pollen, men kun en meget, meget lille del af disse pollen lander på en artsfælles hunlige formeringsorgan. Resten falder før eller siden ned på jorden, i en flod, i en sø eller i havet, hvor de enten bliver fortæret af andre organismer, eller hvor de bliver begravet i en aflejring. Næsten alle aflejringer indeholder derfor pollen og sporer. Visse aflejringer f.eks. tørv og kul, kan indeholde hundredetusinder af pollen og sporer pr. kubikcentimeter, men store mængder er oftest også til stede i lersten og sandsten.

Hver eneste højerestående planteart har pollen eller sporer af et ganske bestemt udseende, der er omtrent lige så karakteristisk som plantens øvrige særpræg. Man kan derfor genkende de forskellige arter på deres pollen eller sporer. Og da hver jordperiode har haft sin egen karakteristiske flora, kan man aldersbestemme jordlagene ved at undersøge deres indhold af pollen og sporer.

Aldersbestemmelse ved hjælp af radioaktive grundstoffer

Alle de nævnte metoder til aldersbestemmelse kan imidlertid ikke direkte fortælle os, *hvor mange år* en aflejring er. De kan blot bruges til at fortælle os præcis, hvor gamle de forskellige aflejringer er i forhold til hinanden.

Alligevel har det været muligt at finde ud af, omtrent hvor mange år de forskellige aflejringer er. Det skyldes de *radioaktive* aldersbestemmelsesmetoder. Et radioaktivt grundstof har den egenskab, at der fra atomkernen af og til udsendes en partikel. Herved bliver antallet af protoner og neutroner i atomkernen mindre. Og derved omdannes det



Kurve som viser organisk stofs radioaktivitet. Når stoffet er nydannet i planternes grønkorn er koncentrationen af radioaktivt kulstof (C_{14}) højst. Efter ca. 5.700 år er mængden halveret, og efter ca. 11.300 år er der 25% tilbage o.s.v.

pågældende grundstof til et andet grundstof. På den måde omdannes f.eks. grundstoffet uran til grundstofferne beryllium og bly. Denne radioaktive omdannelse af grundstofferne foregår med en ganske bestemt hastighed, som derfor kan benyttes som mål for, hvor mange år et radioaktivt mineral er. Hastigheden for omdannelsen måles i hvor lang tid, der går, inden halvdelen af grundstoffet er omdannet til andre grundstoffer. Denne hastighed kaldes halveringstiden.

Metoden kan bruges, når der i et mineral er indbygget et radioaktivt grundstof. Efterhånden som det radioaktive grundstof omdannes, vil der i mineralet ophobes mere og mere af det grundstof, som det radioaktive grundstof omdannes til. Ved at måle mængden af det radioaktive grundstof i forhold til mængden af det grundstof, det omdannes til, kan man derpå beregne, hvor mange år der er gået, siden mineralet blev dannet.

Man kan altså kun bruge denne dateringsmetode til aldersbestemmelse af mineralernes dannelses-tidspunkt. Hvis man forsøger at aldersbestemme en sandsten (som jo er opstået ved at nogle mineraler fra f.eks. en granit er blevet transporteret af en flod og derpå aflejret som et sandlag, der siden er blevet til en sandsten) vil man *ikke* finde



Spør efter spaltning af uran (fissions-spor). Billedet er optaget med mikroskop og viser huller i mineralet apatit, hvor uranatomerne p.gr.a. den naturlige radioaktivitet er spaltet. Spaltningssprodukterne er da faret igennem mineralet.

ud af, hvor gammel sandstenen er, men hvor gamle sandkornene i sandstenen er. Radioaktive aldersbestemmelsesmetoder duer derfor normalt kun til at aldersbestemme bjergarter, som er dannet ved fuldstændig omdannelse – f.eks. smeltning – af andre bjergarter.

Alligevel kender vi alderen på de forskellige jordperioder. Det skyldes, at der mellem aflejringerne af og til findes lag af lava eller vulkansk aske eller andet materiale, som det er muligt at aldersbestemme med de radioaktive dateringsmetoder, fordi disse lag har været smeltet, umiddelbart før de blev aflejret, eller fordi de indeholder radioaktive mineraler, som er dannet samtidig med de blev aflejret.

Kulstof-14 dateringsmetoden er en anden form for radioaktiv dateringsmetode, som bl.a. bruges af arkæologer, men som også er velegnet til aldersbestemmelse af de yngste jordlag. Denne metode bygger på, at kulstof består af flere *isotoper*, hvoraf den ene – kulstof-14 – er radioaktiv. Et almindeligt kulstofatom har 12 protoner og 12 neutroner i atomkernen, mens kulstof-14 har 14. Både kulstof-12 og kulstof-14 siges derfor at være isotoper af grundstoffet kulstof, men kun kulstof-14 er radioaktivt, og det har en halveringstid på ca. 5.700

år. Atmosfærens indhold af kulstoft indeholder en ganske bestemt mængde kulstof-14 i forhold til almindeligt kulstof. Når kulstoft optages af planterne ved *fotosyntesen* indbygges både det almindelige kulstof og kulstof-14 i planternes organiske væv i omtrent samme mængdeforhold, som de to isotoper har i atmosfæren. Men jo ældre det organiske stof bliver, desto mindre af dets indhold af kulstof-14 vil der være tilbage, fordi det omdannes til almindeligt kulstof. Ved at måle det organiske stofs radioaktivitet og dermed dets indhold af

kulstof-14 kan man derpå beregne, hvor gammelt det er. Denne aldersbestemmelsesmetode kan derfor bruges til en datering af alle aflejringer, som indeholder kulstof. Metodens begrænsning er, at man ikke kan datere aflejringer, som er mere end ca. 70.000 år gamle, fordi mængden af kulstof-14, som er tilbage efter 70.000 år, er så lille, at den ikke kan måles sikkert nok. Kulstof-14 metoden kan derfor kun bruges til aldersbestemmelse af aflejringer, som er dannet umiddelbart før sidste istid eller senere.

Undersøgelse af lagenes dannelsesmåde

For at forstå og dermed at kunne kortlægge undergrundens struktur og fordelingen af de forskellige materialer er det vigtigt at vide, hvordan lagene er blevet til, og hvordan de i tidens løb er blevet omdannet. Vi ved alle, at jordbunden kan være vidt forskellig fra sted til sted. En åben strand består f.eks. af sand, eller, hvis der er meget brænding, af sten og grus. Derimod består en beskyttet kyst af mudder og dynd. På samme måde er det meget forskellige materialer, der aflejres forskellige steder på havbunden eller i floder og søer. Et område, hvori der aflejres nogenlunde ensartede materialer, kaldes et *aflejringsmiljø*, og alle aflejringsmiljøer er karakteriseret af bestemte materialer. Vi ved også, at de samme materialer kan lejres på forskellige måder. Sand f.eks. lejrer sig på forskellige måder, afhængigt af om det aflejres af en flod, af bølger eller af vinden. På en kyst kan sandet aflejres som revler og banker af forskellig type, mens sandet bag kysten eller i en ørken aflejres som klitter af forskellig slags. Den måde, materialerne er lejret på, kaldes for *sedimentstrukturen* og er meget vigtig for forståelsen af aflejringerens dannelsesmåde. Ved at beskrive aflejringerens indre struktur (sedimentstrukturen) og ved at sammenholde denne med materialets art, kan man finde ud af, i hvilket miljø laget er dannet – f.eks. om laget er aflejret af havet, på en strand, i en flod, i en ørken, i en sø, foran eller under en gletscher o.s.v. o.s.v.

De fleste lag bærer desuden præg af, at dyr og planter har levet i eller på dem. Især aflejringer, der er dannet i havet, kan være fuldstændig gennemrodet af dyr, så man ikke længere kan se, hvordan materialet oprindeligt blev aflejret. Men de

forskellige dyr gennemroder aflejringerne på en ganske bestemt måde, som bestemmes af deres levevis. Derved dannes bestemte strukturer (*spor-fossiler*), som kan bruges, når man vil finde ud af hvilket aflejringsmiljø, laget er dannet i.

For at finde ud af lagenes aflejringsmiljø, men også for at vurdere om et lag er noget værd som råstof, må man vide hvilke mineraler, det består af.

Den mest almindelige måde at bestemme mineralerne på er, at man saver en tynd skive ud af en prøve og limer den på et stykke glas. Derpå sliber man den ned, indtil skiven kun er 30 tusindedele millimeter tyk. Ved at sende polariseret lys gennem dette tyndslib i et særligt mikroskop, kan man skelne sikkert mellem de forskellige mineraler, som prøven består af. Det hænger sammen med, at mineralerne bryder lyset på forskellig måde afhængigt af deres krystalstruktur.

Man kan også bestemme mineralerne ved at sende røntgenstråler gennem dem. Når røntgenstrålen går gennem mineralet, vil den ligesom det polariserede lys opføre sig forskelligt, afhængigt af hvilket mineral der er tale om. Men der findes mange andre og meget mere avancerede måder at bestemme mineralerne på.

I gamle dage bestemte man næsten udelukkende mineralerne ved at undersøge deres *hårdhed*, *farve*, *stregfarve*, *glans*, *krystalform*, *spaltelighed* og *reaktion* med andre stoffer ved opvarmning. Et minerals hårdhed måles i forhold til andre stoffers hårdhed, ved at man undersøger hvilke stoffer der kan ridse eller ikke kan ridse i mineralet. En diamant er f.eks. hårdere end kvarts (bjergkrystal), fordi man kan ridse i kvarts med en diamant, mens kvarts er hårdere end kalkspat



Sandorm lever som så mange andre dyr af at æde sediment. Herved danner de strukturer i sandet, hvoraf den nederste (usynlige) del kan blive bevaret som et sporfossil. Når havet skyller ind over ekskrementhobene vil de blive ødelagt, mens strukturerne nede i sandet vil blive bevaret.

(kalk), fordi kvarts kan ridse i kalkspat. På den måde har man inddelt alle mineraler efter en 10-trins skala. Det hårdeste af alle mineraler – diamant – har hårdheden 10, mens det blødeste af de almindelige mineraler – talk (fedtsten) – har hårdheden 1 (blødere end en negl).

Et minerals stregfarve undersøges ved at skrabe med det på en ru porcelænsplade, mens farven er mineralets tilsyneladende farve. Glansen er mineralets måde at reflektere lyset på. Man taler f.eks. om metalglans i modsætning til glasglans. Krystalformen er den måde mineralet udkrystalliserer på, mens spalteligheden er udtryk for hvor let og hvordan mineralet falder fra hinanden, når man knuser det.

Når man har fundet ud af, hvilke mineraler et lag består af, kan man afgøre om laget er omdannet, efter det blev aflejret. Mange mineraler findes ikke eller kun sjældent på jordens overflade, fordi de kun er stabile ved større tryk og temperatur. Efterhånden som en aflejring overlejres af mere og mere materiale, vil aflejringen naturligvis komme til at ligge på større og større dyb. Herved forøges både temperatur og tryk. Og de mineraler, som var

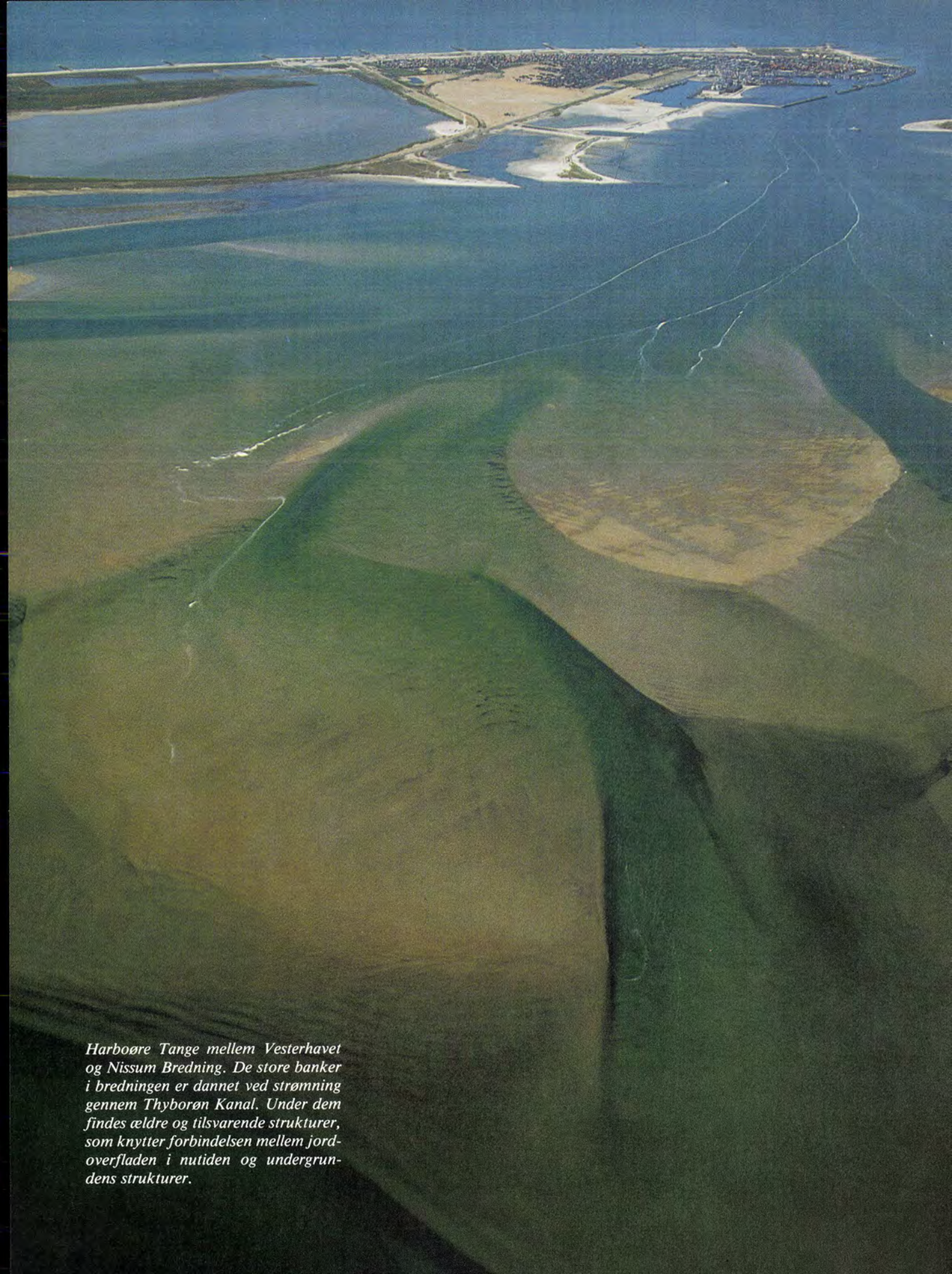


Snit gennem 3000 år gammel havaflejring på Læsø. Snittet viser lag, der er dannet som revler og ribber på havbunden på grund af strømning og bølgeslag. Midt i billedet ses to tragtformede strukturer, som er opstået ved sandorms for-tæring af sandet. Også andre dyr har beboet sandet.

stabile ved jordens overflade vil ikke længere være stabile, og derfor omdannes de til andre mineraler. Jo dybere man kommer ned, desto mere omdannede bliver aflejringerne.

Denne omdannelsesproces består i begyndelsen i, at der i porerummene udfældes forskellige former for *cement*, som får de løse aflejringer til at blive sammenhængende og mindre porøse. Så længe omdannelsen ikke bevirker, at aflejringens oprindelige sammensætning ikke længere kan gendes, kaldes den *diagenese*. Men når omdannelsen bliver total, dvs. at man ikke længere kan se, hvad bjergarten oprindeligt er aflejret som, kaldes den *metamorfose*.

I Danmarks undergrund er grænsen mellem de diagenetisk omdannede aflejringer og de metamorfe bjergarter nok den allervigtigste grænse. Under denne grænse kalder vi bjergarterne *grundfjeld* og grundfjeldet er p.gr.a. den store dybde stort set uden økonomisk betydning. Vi ved heller ikke ret meget om grundfjeldets alder og materialer. Derimod er lagene over denne grænse meget betydningsfulde, fordi det er her vi p.gr.a. diagenesen kan f.eks. finde olie og gas.



Harboøre Tange mellem Vesterhavet og Nisum Bredning. De store banker i bredningen er dannet ved strømning gennem Thyborøn Kanal. Under dem findes ældre og tilsvarende strukturer, som knytter forbindelsen mellem jordoverfladen i nutiden og undergrundens strukturer.

Hvordan er Danmarks undergrund opbygget?

Processerne på Jordens overflade foregår i et konstant samspil mellem *erosion* (nedbrydning) og *sedimentation* (aflejring). Da mængden af materiale i Jordens skorpe er nogenlunde konstant fra periode til periode, vil der til hver en tid blive nedbrudt omtrent lige så meget materiale, som der aflejres. De *erosive kræfter* er *atmosfærens* (luftthavets) og *hydrosfærens* (havenes, vandløbenes, søernes og grundvandets) mekaniske og kemiske nedbrydning af jordskorpens faste materialer, mens den *sedimenterende* kraft er tyngdekraften. Denne balance bevirker, at materiale konstant fjernes fra højtliggende områder og aflejres i lavtliggende områder.

Hvis Jordens *skorpe* og *kappe* var stiv og uplastisk, ville dette samspil ende med, at alle højdeforskelle ville blive fuldstændig udjævnet og jordoverfladen fuldstændig flad. Men Jordens skorpe må tværtimod opfattes som en plastisk masse, der flyder på Jordens endnu mere plastiske kappe. Når erosionen fjerner materialer fra de højtliggende områder, og de føres til lavtliggende områder, vil jordskorpen i erosionsområderne blive lettere, mens jordskorpen i sedimentationsområderne bliver tungere. Herved vil jordskorpen hæve sig i erosionsområderne og sænke sig i sedimentationsområderne. Denne proces resulterer derfor i en evig *transport* af materiale. Først transporteres materialerne af vind og vand fra erosionsområderne til sedimentationsområderne, hvorfra materialerne ved pålejring og indsynkning transporteres nedad mod Jordens kappe. I Jordens kappe foregår transporten den modsatte vej, fra sedimentationsområderne mod erosionsområderne, hvor materialerne transporteres ved opskydning fra Jordens kappe mod Jordens skorpe. Denne *sedimentationscyklus* er vigtig for forståelsen af Danmarks undergrunds opbygning. Det er nemlig sådan, at det

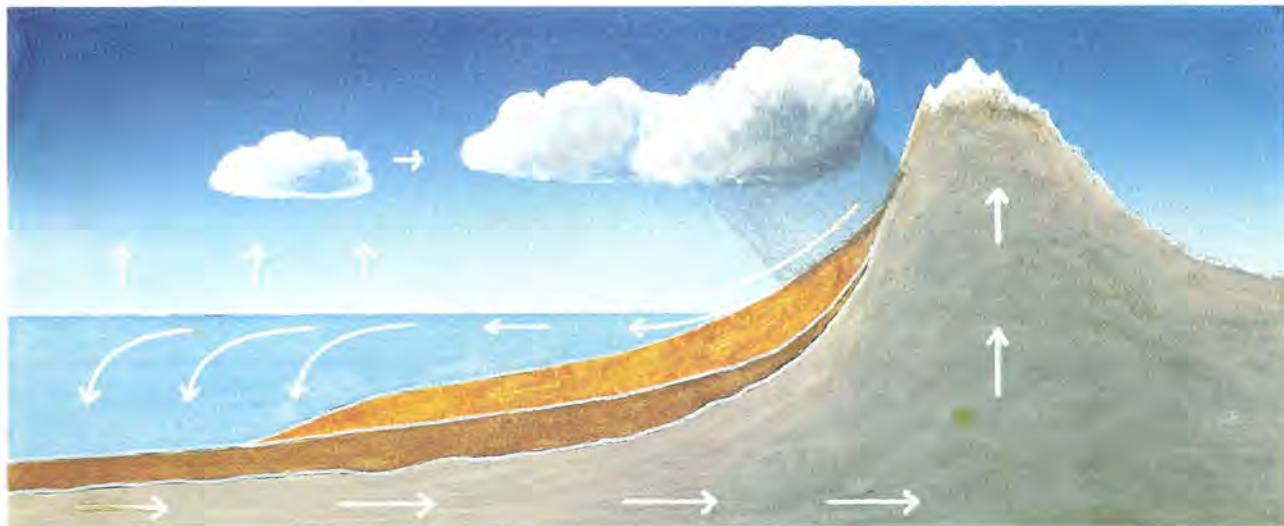
meste af Danmark i hovedparten af de sidste 500 millioner år har været et sedimentationsområde, hvortil der næsten hele tiden er blevet ført materiale.

Imidlertid foregår denne sedimentationscyklus ikke helt så simpelt, som man har troet indtil for få år siden. Det hænger sammen med, at der i Jordens *kappe* og *kerne* også findes andre kræfter. Disse kræfter, som man endnu ved meget lidt om, bevirker, at jordskorpens materialer kan forskydes på en mere kompliceret måde, end hvis blot sedimentationscyklusen spillede ind. Disse andre kræfter resulterer i, at Jordens kontinenter hele tiden forskydes i forhold til hinanden. Og denne kontinentforskydning bevirker, at undergrunden alle steder på jordkloden indeholder nogle gigantiske *strukturetyper*, som ikke umiddelbart kan forklares med sedimentationscyklusen.

Også Danmarks undergrund præges af kontinentforskydningen. Kontinentforskydningen har således bevirket, at Danmarks undergrund er opdelt i nogle meget store strukturelementer, som i de forskellige jordperioder på forskellig vis har styret transporten af materiale fra erosionsområderne mod sedimentationsområderne.

På den måde er Danmarks undergrund blevet opdelt i tre store *aflejringsbassiner*, som indeholder forskellige materialer, og som har forskellig historie. De tre aflejringsbassiner er *Det dansk-norske Bassin*, *Det dansk-tyske Bassin* og *Centralgraven*.

Det dansk-norske Bassin dækker det meste af Nordjylland, Vendsyssel, Skagerak, en del af Nordsøen, Kattegat og Nord- og Vestsjælland. Mod syd afgrænses det af *Ringkøbing-Fyn Ryggen*, som er en højtliggende grundfjeldsryg, der strækker sig fra Centralgraven midt i Nordsøen ind mod Jyllands vestkyst ved Ringkøbing, derfra videre tværs over Jylland og Fyn, Smålandsfarvandet og



Sydsjælland og til Møn. Mod nordøst afgrænses Det dansk-norske Bassin af *Den fennoskandiske Randzone*, som er en nordvest-sydøst gående *forkastningszone* (d.v.s. zone med dybtgående forskydninger i jordskorpen). Nordøst for Den fennoskandiske Randzone ligger det højtliggende Skandinaviske Grundfjeld.

Det dansk-tyske Bassin dækker det meste af den sydlige Nordsø, Sønderjylland og Nordtyskland, den vestlige Østersø, og Lolland-Falster og afgrænses mod nord af Ringkøbing-Fyn Ryggen.

Centralgraven er en forholdsvis snæver, men meget dyb gravsænkning, som ligger omtrent midt i Nordsøen, hvor den afgrænses af omtrent nord-syd gående forkastninger (dybtgående forskydninger i jordskorpen). *Centralgraven* fortsætter nordover op langs Norges vestkyst (*Vikinggraven*). De største norske, engelske og danske oliefund er gjort i *Centralgraven* og *Vikinggraven*.

Den væsentligste forskel på disse tre aflejringsbassiner er, at de ikke er lige dybe. Det vil sige, at man ikke skal lige langt ned for at finde lige gamle aflejringer, men det vil også sige, at lige gamle aflejringer ikke er lige omdannede. Det betyder bl.a., at det ikke er i de samme aflejringer, man kan forvente at finde olie i de tre bassiner. Dybest er *Centralgraven*, hvor man skal mere end 10 km ned, før man kommer til grundfjeldet. I Det dansk-norske Bassin skal man 3-10 km ned, mens man i Det dansk-tyske Bassin de fleste steder kun skal 2-4 km ned før man kommer til grundfjeldet. Denne forskel har stor økonomisk betydning, fordi f.eks. oledannelsen foregår ved bestemte temperaturer, som igen er helt afhængige af dybden. Det er derfor

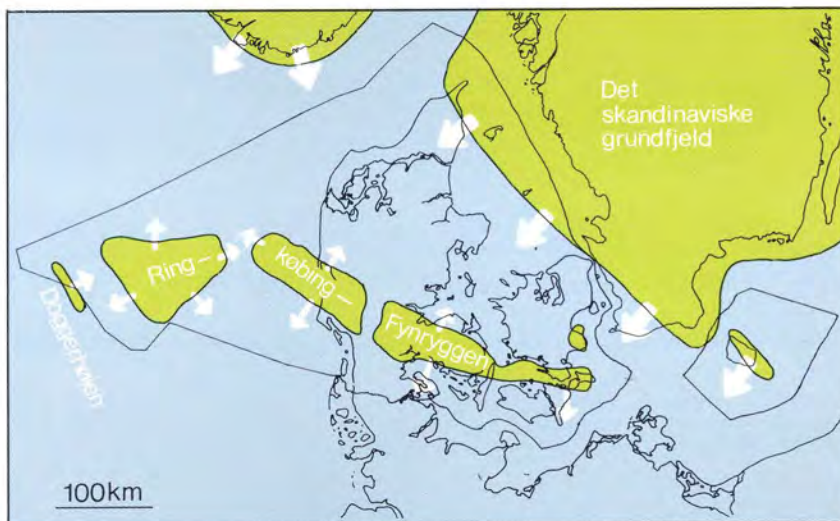
De fleste aflejringer dannes ved vand og vejs nedbrydning af højtliggende områder. Nedbrydningsprodukterne (sten, grus, sand, silt og ler) transporteres med vandløb mod havene, hvor de aflejres. Herved opstår shelfområderne, som omkranser kontinenterne. Efterhånden som aflejringerne tykkelse vokser, tiltager vægten af dem også, og resultatet bliver, at shelfen synker ned i takt med, at nyt materiale aflejres. Herved stiger tryk og temperatur i de nederste aflejringer, som derfor gradvist omdannes til andre bjergarter.

meget afgørende, om der i disse tre bassiner findes lag, som indeholder materiale, der kan omdannes til olie og gas på netop de dybder, hvor de faktisk befinder sig. Det betyder, at der er størst chance for at finde olie og gas i lagene fra *Jordens nyere tid og middelalder* i *Centralgraven*, fra *Jordens middelalder og oldtid* i Det dansk-norske Bassin og fra *Jordens oldtid* i Det dansk-tyske Bassin.

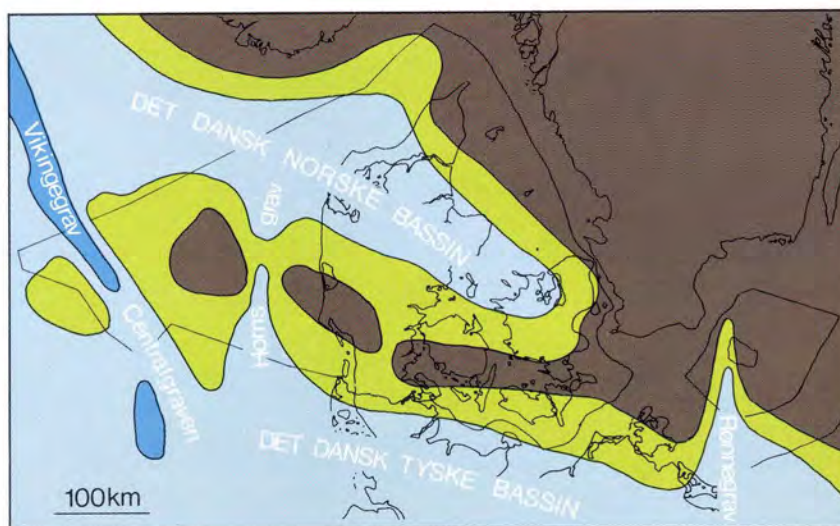
Forskellen mellem de tre aflejringsbassiner er altså, at lagene fra de forskellige jordperioder ikke er lige tykke, og at de ligger på forskellige dybder og derfor ikke er lige omdannede.

Fælles for de tre bassiner er, at de består af omtrent de samme slags aflejringer fra de samme perioder. Det hænger sammen med, at der altid har været en vis forbindelse på jordoverfladen mellem de tre bassiner, og at aflejringerne for en stor dels vedkommende er tilført fra de samme erosionsområder. Vi kan derfor beskrive rækkefølgen af geologiske lag under eet i de tre bassiner. Ud over disse bassiner findes der vest for Bornholm en meget dyb gravsænkning, *Rønnegraven*, hvori der endnu ikke har været boret. Man ved derfor intet om, hvilke aflejringsstyper, der findes i *Rønnegraven*, mens man fra seismiske undersøgelser ved en del om *Rønnegravens* strukturelle opbygning.

Gennem de sidste 240 millioner år har den geologiske udvikling af Danmark været styret af materialetransport fra det skandinaviske grundfjelds område (grønt) og fra Ringkøbing-Fyn Ryggen. Disse områder har bevæget sig opad langs dybtgående revner (forkastninger i undergrunden). Herved er grundfjeldet blevet udsat for vind og vejr, og materialerne er med vandløb blevet transporteret ud i sænkingsområderne (blåt).



Hævningssområderne afgrænser de tilsvarende sænkingsområder. Heri er der i de sidste 240 millioner år aflejret mellem 2 og 8 kilometer ler, sand og kalk m.m. I Centralgraven indeholder store områder mere end 6 kilometer tykke aflejringer, mens områderne i Det dansk-norske Bassin og i Det dansk-tyske Bassin rummer lag med en samlet tykkelse på henholdsvis 3-5 km og 2-4 km. Mindre gravsænkninger gennem Ringkøbing-Fyn Ryggen og ved Bornholm indeholder også lag med en betydelig samlet tykkelse.

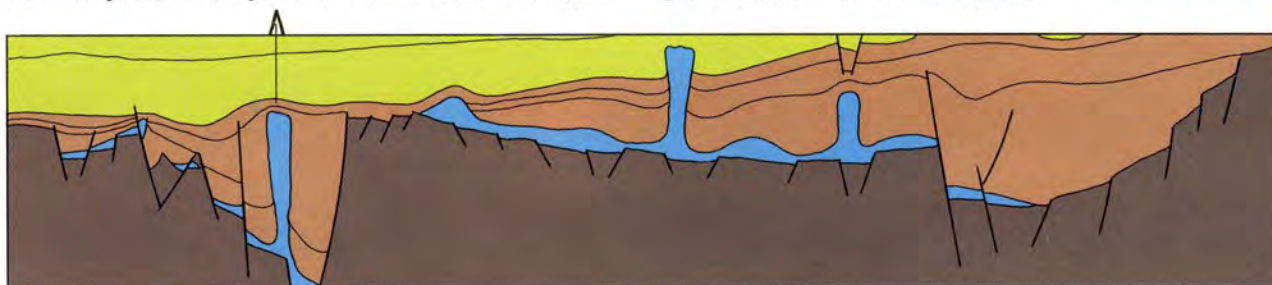


Lagtykkelse:



Snit til ca. 7 km's dybde langs en linie fra grænsen mellem engelsk og dansk sokkelområde, over Centralgraven, Ringkøbing-Fyn Ryggen, op mod Nordvestjylland og herfra over Vendsyssel og Kattegat til den svensk-danske grænse. Grønt: Lag fra Jordens nyere tid (kvartær og tertiær). Lysebrunt: Lag fra Jordens middelalder (kridt, jura og trias). Blåt: Salt fra zechstein-perioden. Mørkebrunt: Grundfjeld

m.m. Den største forskel mellem opbygningen af undergrunden i Nordsøen og på land er den meget store tykkelse af istidens og tertiærtidens aflejringer (op til 3 km) i Nordsøen, mens tilsvarende lag på land og i Kattegat sjældent er mere end 200 meter tykke. Fra Jordens middelalder dominerer juraglene i Nordsøen, mens triaslagene optager mest plads i landområdernes undergrund.



Den geologiske lagrække i Danmark

Når man bevæger sig nedad gennem aflejringerne, vil man konstatere, at lagene gennemgående bliver hårdere og hårdere og mere og mere omdannede i forhold til deres oprindelige udseende. Det hænger sammen med, at jordlagenes omdannelse (*diagenese*) foregår overalt i de forskellige aflejringer, men med forskellig hastighed. Særlig vigtig for omdannelsen er tryk- og temperaturforholdene (og grundvandets påvirkning af de forskellige mineraler).

Trykket (*det geostatistiske tryk*) bestemmes af vægten af de overliggende aflejringer og vokser almindeligvis med 2.5–2.8 bar pr. 10 m. Det geostatistiske tryk er derfor omtrent lige stort på en given dybde i de forskellige aflejringsbassiner.

Temperaturen derimod kan være ret forskellig fra sted til sted i samme dybde. Dette hænger sammen med, at de forskellige lags *varmelednings-evne* er forskellig. Hvis der f.eks. nær jordoverfladen ligger et tykt lag med en dårlig varmelednings-evne (høj isolationsevne) vil temperaturen stige forholdsvis kraftigt nedad gennem laget, mens temperaturen under laget vil være høj og derefter stige forholdsvis lidt. Denne stigning af temperaturen mod Jordens indre kaldes *den geotermiske gradient*, og den er altså ret forskellig fra sted til sted. For at kunne finde olie og gas er det meget vigtigt at have et godt kendskab til den geotermiske gradient. Olie/gas – dannelsen er først og fremmest afhængig af, at den rigtige temperatur

findes i de lag, som kan danne olie og gas. I Centralgraven i Nordsøen er den geotermiske gradient forholdsvis høj, mens den i både Det dansk-tyske Bassin og Det dansk-norske Bassin er relativt lav.

Men den geotermiske gradient har også varieret på de forskellige steder fra jordperiode til jordperiode. Og det samme kan siges om alle de processer, som foregår i Jordens skorpe. Hvis vi derfor vil opnå forståelse af, hvordan de allerældste lag blev dannet, må vi langsomt »skrue tiden tilbage«, for at vi lag for lag kan skrælle de begivenheder og fænomener af, som yngre aflejringer giver vidnesbyrd om, men som også har påvirket ældre lag, længe efter de blev dannet.

At få et indtryk af jordskorpens historie og de processer, som har formet den, er derfor ensbetydende med, at vi ud fra vort kendskab til de fysiske, kemiske og biologiske processer, som foregår i og på Jorden i dag, prøver at føre disse processer tilbage i tiden ved hele tiden at fjerne de bidrag, som er *ynge* end de lag, vi ønsker at vide noget om. Denne metode, som kaldes *det aktualistiske princip*, er forholdsvis ukompliceret, når det drejer sig om de fysiske og kemiske processer. Men når det drejer sig om de biologiske processer og deres indflydelse på jordskorpens opbygning, vil vi opdage, at de biologiske processer i høj grad har haft ulige meget betydning for jordskorpens opbygning fra periode til periode.

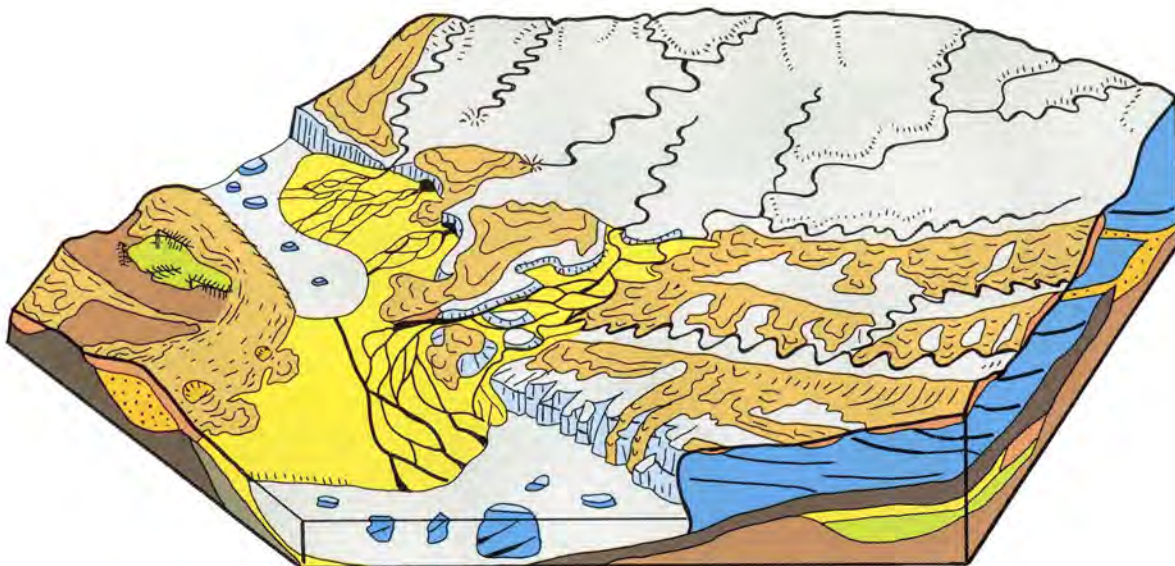
Lagene fra Jordens nyere tid

Ved Jordens nyere tid (*kænozoikum*) forstår man de sidste 60-65 millioner år. I den periode har livet på jorden ikke været særlig meget forskelligt fra det vi kender ved selvsyn. Måske skal det dog nævnes, at menneskets opståen for mindre end 1 million år siden, har sat alvorlige spor alene i den korte periode, hvor mennesker har udfoldet sig med maskiner og avanceret teknik på jordoverfladen. Men ser vi bort fra de sidste 50-100 år, hvor vi har formået at forbruge en stor del af de energiresourcer og andre råstoffer, som jordskorpen har gemt på i hundrede af millioner år, er Jordens

nyere tid en periode, hvor livet på jordoverfladen og dermed jordoverfladens processer ikke er ret forskellige fra det, vi kender til.

Landjordens flora og fauna domineres i Jordens nyere tid af nåletræer, dækfrøede planter, pattedyr og fugle, som ikke er væsentlig forskellige fra vore dage. Ligeledes består havenes plankton stort set af de samme grupper som for 65 millioner år siden.

Jordens nyere tid deles op i to jordperioder, kvartærtiden (yngst) og tertiærtiden (ældst).



Ås af smeltevandssand. Tilgroet interglacial sø, mose, over bundmoræne og ældre aflejringer.



Smeltevand, der forlader isen gennem gletscherport. Foran isen aflejres en hedeslette.



Ler aflejret i et interglacialt hav. Frismeltende materialebånd forårsager mudderstrømme.

Kvartærtiden (3 millioner år)

I Danmark udgør kvartærtidens aflejringer et op til flere hundrede meter tykt tæppe af løse og praktisk taget uomdannede aflejringer. De fleste af disse aflejringer er opstået i forbindelse med de mange gentagne nedisninger af Skandinavien.

Især to typer af aflejringer er særdeles almindelige, nemlig *moræneler* og *smeltevandssand*, som man kan finde næsten overalt i Danmark. Moræneler er en blandingsjordart, som består af omtrent lige dele ler, silt, sand, grus og sten. I naturfugtig tilstand er det nogenlunde fast og forholdsvis uigennemtrængeligt for vand. Det kan være aflejret under gletscherne, som en *bundmoræne* ved sammenblanding af gletscherunderlagets materialer med gletscherens egne materialer, og det kan være opstået på gletscheroverfladen ved frismeltning af materiale, som har været indefrosset i gletscherisen. Men det kan også være dannet som mudderstrømme, der er gledet ned fra isoverfladen og aflejret i smålavninger og søer.

Imellem morænerne findes meget ofte tykke aflejringer af smeltevandssand og grus. Disse aflejringer er oftest opstået i forbindelse med isens bortsmeltinger fra Danmark, men kan også være opstået i begyndelsen af nedisningerne. Smeltevandssaflejringerne er som regel velsorterede, og

det gør dem egnede som byggematerialer (grus til beton, ler til teglsten), men det gør dem også særdeles velegnede som drikkevandsreservoirer, fordi de ublandede sand- og grusaflejringer er gennemtrængelige for vand. Da de som regel også ligger tæt på jordoverfladen, betyder det, at hovedparten af Danmarks drikkevandsforsyning tages fra smeltevandssaflejringerne.

Imellem, men især oven på morænerne og smeltevandssaflejringerne finder man nogle steder aflejringer fra varmeperioderne mellem istiderne og efter istiden. De fleste af disse aflejringer er tørveaflejringer og havaflejringer. Især i Nordjylland og Vendsyssel finder man vidt udbredte aflejringer fra tiden efter istiden. Det drejer sig om aflejringer fra det *ishav*, som opstod, da isen smeltede væk, og om *stenalderhavets* aflejringer.

Disse aflejringer, som er de yngste egentlige geologiske lag i Danmark, er hovedsagelig dannet som følge af de klimasvingninger, som er sket i de sidste 15.000 år. Men et meget vigtigt forhold er også de niveauforandringer, som jordskorpen har været underkastet i den samme periode p.gr.a. isens bortsmeltning og den deraf følgende aflastning af jordskorpen, især i Nordjylland.



I fastlandstiden for ca. 9000 år siden var isen smeltet helt væk fra Danmark og jordskorpen hævede sig hurtigt, da den blev aflastet for isens tryk. På et tidspunkt stagnerede isens bortsmeltning, og hævnningen af havoverfladen, som var et resultat af afsmeltningen blev derfor overhalet af landhævningen. Resultatet var, at meget store havområder blev tørlagt.

Da isen begyndte at smelte bort fra Danmark, må man antage, at det skete som følge af en klimaforbedring. At dette faktisk også var tilfældet, kan man bl.a. se af aflejringernes indhold af pollen (blomsterstøv). Smeltevandsaflejringerne indeholder praktisk taget ikke pollen, fordi der ikke var ret mange planter i Danmark, da smeltevandsaflejringerne blev dannet. I ishavsaflejringerne er der heller ikke mange pollen. Til gengæld er der en del skaller fra foraminiferer, som viser, at klimaet nu blev varmere. Det betød, at isen smeltede tilbage til Norge og Sverige, mens vandstanden i verdenshavene steg. Når vandstanden steg, skyldes det, at alt det vand, som i istiden havde været bundet i isen, nu blev tilført verdenshavet.

Men især de områder, som før havde været dækket af is, blev oversvømmet som følge af denne klimaforbedring. Det skyldes, at de tidligere isdækkede dele af jordskorpen p.gr.a. isens vægt var blevet trykket et stykke ned. Straks efter at isen begyndte at smelte bort, begyndte landet også at hæve sig, men knap så hurtigt, som isen smeltede. Derfor steg verdenshavene i begyndelsen hurtigere, end landet hævede sig, og det resulterede i



I stenalderen forbedredes klimaet igen og resten af isen i Skandinavien smeltede. Derfor steg havoverfladen atter, og overhalede snart landhævningen, som heller ikke længere var så kraftig. Da landhævningen er størst mod nordøst og mindst mod sydvest, blev landet ikke oversvømmet helt samtidig. For omkring 5000 år siden havde stenalderhavet den største udbredelse i Danmark.

Vendsyssel i, at kun de højeste bakker ragede op over havoverfladen. Ved Frederikshavn stod havet således mere end 60 m højere, end det gør i dag.

Men ret hurtigt blev havstigningen indhentet af landhævningen, fordi klimaforbedringen stagnerede. Det medførte, at hele Danmark, store dele af Nordsøen, Kattegat og bælteerne blev tørlagt. Samtidig omdannedes Østersøen til en rigtig sø med afløb i form af en stor flod gennem Store Bælt.

I stenalderen indtraf en ny klimaforbedring, hvorved resten af isen i Skandinavien smeltede. Det medførte en ny havstigning, der snart overhalede landhævningen, som efterhånden var begyndt at aftage i styrke. Dette hav, som man kalder stenalderhavet, dækkede påny store dele af Danmark, især i Nordjylland. Ved Frederikshavn nåede stenalderhavet 12-14 m højere op, end havet gør i dag. Da nu landhævningen fortsatte, selv om det gik langsommere og langsommere, samtidig med at klimaet efter stenalderen i store træk blev en smule koldere, begyndte havet at trække sig tilbage fra stenalderhavets kystlinier mod de nuværende kystlinier. Mange steder i Nordjylland er stenalderhavets kystlinier udviklet som gamle



I stenalderen var Feggeklit på Nordmors en ø i Limfjorden, som dengang havde forbindelse til både Skagerak og Vesterhavet. Feggeklits gamle, stejle kystkliner tegner sig stadig

skarpt i terrænet, selv om stenalderhavbunden nu er strandenge og marker.

kystkliner, der i dag kan ligge mange kilometer inde i landet.

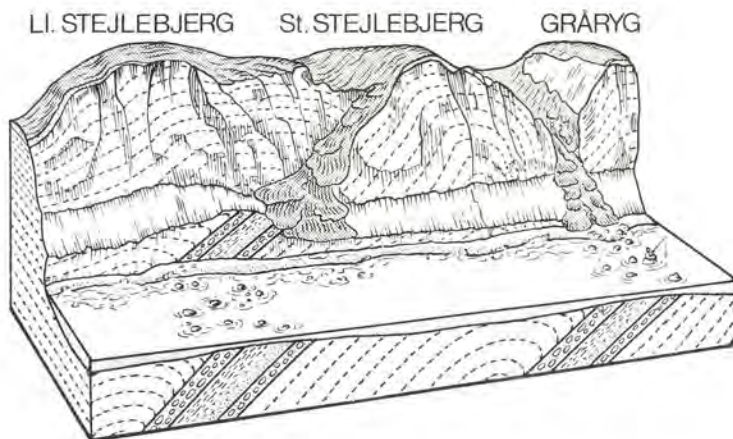
Landhævningen har imidlertid ikke været lige stor over alt siden stenalderen. Størst har den været i Nordjylland og Vendsyssel, hvorfra den aftager mod sydvest til en linie fra Nissum Fjord til Sydsjælland, hvor landhævningen har været nul i forhold til det nuværende havniveau. Sydvest for denne linie har landet sænket sig siden stenalderen i forhold til havniveauet. Denne vipning af Danmarks undergrund foregår stadig, men i dag ligger vippeaksen noget længere mod nord.

Dette samspil mellem bevægelser i jordskorpen og ændringer i verdenshavets vandstand giver os rig lejlighed til at studere nogle af de mekanismer og processer, som ligger bag fordelingen af hav og land i ældre jordperioder. Niveauforandringerne efter istiden har f.eks. lært os, at det er praktisk taget umuligt præcis at finde ud af, hvor højt havene har stået til forskellig tid, fordi jordskorpen hele tiden har bevæget sig. Det eneste, man kan måle sig frem til, er summen af jordskorpebevægelser og havniveauændringer. Vi kan derfor ikke sige

præcis, hvor stor landhævningen har været f.eks. ved Frederikshavn. Vi kan blot sige, at den er 12-14 meter større end ved Nissum Fjord. Men om hele Danmark ud over denne vipning også har hævet eller sænket sig, kan vi strengt taget ikke vide, med mindre vi går ud fra, at verdenshavets niveau ikke har ændret sig. Og det kan vi ikke regne med, da vi hele tiden har haft klimasvingninger, som enten bevirker, at polkalotterne vokser eller skrumper og dermed påvirker havniveauet.

Dertil kommer, at gamle forkastningszoner i undergrunden kan blive brudt op igen p.gr.a. jordskorpebevægelserne. Derved kan landet hæve eller sænke sig meget mere på den ene side af en forkastning end på den anden. Sådanne forhold gør det heller ikke nemmere at finde ud af, hvor meget f.eks. havniveauet har ændret sig. Men det viser os, at hvis vi vil arbejde med aflejringer fra ældre jordperioder, hvor vi end ikke kan sammenligne med det nuværende havniveau, er det eneste, vi bør holde os til, simple iagttagelser – og ikke komplicerede beregninger.

Blokdiagram, som skematisk viser opbygningen af Møns Klint (samme parti som fotoet til højre). Klinten er et godt eksempel på, hvordan isen har kunnet rive store flager ud af den faste undergrund.



Istidsaflejringeres strukturelle opbygning

Enhver, der har set bare nogle få grusgrave, vil have bemærket, hvor uregelmæssigt lagene kan ligge. Det hænger sammen med de geologisk set uhyre ustabile forhold, som herskede i Danmark i istiden, da grusgravenes grus og sand blev aflejret. Gletschernes ustadige fremadskriden og tilbage-smeltning har således bevirket, at de færreste materialer er blevet liggende på det sted og på den måde, som det oprindeligt blev aflejret på.

I sidste istid (50.000 til 12.000 år før nu) nåede isen til en linie fra Viborg og sydpå ned gennem Midtjylland, og fra Viborg og vestpå mod Nissum Fjord. Landområderne nord og øst for denne linie dækkedes flere gange af op til kilometer tykke gletschere. Samtidig frøs de øverste ca. 100 m af jordskorpen til tider fast i gletschernes sål, således at de aflejringer, gletscherne skred hen over, blev en del af gletscherne. Derved blev enorme partier af undergrunden revet løs fra deres oprindelige sted og transporteret som kæmpemæssige *flager* i isstrømmens retning. Til andre tider var underlaget endnu ikke frosset til nævneværdig dybde, og så bevirkede gletschernes skubben og trykken, at underlagets aflejringer blev *foldet* i de mest bizarre mønstre på samme måde, som når man skubber til et tæppe. Der opstod derved en række folder vinkelret på trykretningen foran eller under en gletscher.

Ved at kortlægge istidsaflejringeres folderetninger kan man derfor se i hvilke retninger gletscherne bevægede sig i istiderne. Man har således

fundet ud af, at gletschere flere gange har bredt sig over Danmark fra Østersøen. Ligeledes har gletschere flere gange bredt sig over Danmark fra nord. Mest dominerende er dog de isstrømme, som er kommet fra Sverige, d.v.s. fra nordøst. En isstrøm med denne retning nåede i sidste istid til den omtalte linie ved Viborg. Under smeltningen af denne is dannedes de store vestjyske hedesletter udenfor isranden. Disse hedesletters aflejringer er ikke påvirket af isens tryk, og hedesletteaflejringeres lag ligger derfor vandret og er uforstyrrede.

Alene i sidste istid kan aflejringerne være blevet foldet tre gange i forskellige retninger, og det er derfor ikke mærkeligt, at istidsaflejringeres strukturelle opbygning kan være umådelig kompliceret. Hertil kommer alle de foldninger og forstyrrelser, som fandt sted i de forudgående istider, hvor isen dækkede hele landet og følgelig var tykkere og besad endnu større kræfter end i sidste istid.

Det skal også nævnes, at istidsaflejringerne, allerede inden de forstyrredes af gletschere, havde en kompliceret opbygning, idet en stor del af dem blev aflejret oven på isen, mens den smeltede. Derfor er store aflejringsmasser skredet ned ad smeltende og skrånende isoverflader mod lavninger i isen, hvor de enten er aflejret som uregelmæssigt foldede lagpakker eller genaflejret som slamstrømme.

Kortlægningen af Danmarks istidsaflejringer er derfor selvsagt en uhyre vanskelig opgave. Selv om den har stået på siden 1888, er den endnu kun udført for ca. 2/3 af landets vedkommende. Det siger i sig selv noget om istidsaflejringeres umådelige kompleksitet.



Tertiærtiden (60 til 3 millioner år)

Under istidsaflejringerne sand, grus og ler finder vi tertiærtidens omtrent lige så uomdannede aflejringer. Ligesom istidsaflejringerne er tertiærtidens aflejringer imidlertid meget ofte foldede og forstyrret af istidens gletschere, fordi de ikke ligger dybere, end at store dele af dem har været frosset i istiderne. Men til forskel fra istidsaflejringerne er tertiærtidsaflejringerne dannet i et langt mere stabilt miljø, hvor de klimatiske og geografiske forhold ikke har ændret sig væsentligt i lange tidsrum. Derfor har tertiærtidens aflejringer ligesom alle andre aflejringer, der er ældre end istiderne, meget større udbredelse, dvs. at de enkelte lag kan følges i omtrent uændret skikkelse over mange kilometer. Det betyder, at de enkelte lag kan genkendes fra blotning til blotning.

Oprindeligt har tertiærtidens aflejringer for-

mentlig dækket hele landet, men p.gr.a. istidens erosion er de fjernet de steder, hvor de lå højest i istiden. Disse steder svarer omtrent til de områder, hvor der var land eller kystzoner i tertiærtiden, d.v.s. ind mod det Skandinaviske Grundfjeld. De tykkeste tertiærtidsaflejringer finder man derfor i Vestjylland og i Nordsøen, mens de helt mangler i Vendsyssel, store dele af Kattegat og i det meste af Øresundsområdet. Samtidig er det kun de ældste dele (d.v.s. de nederste dele) af tertiærtidens aflejringer, som findes uden for Vestjylland og Nordsøen, fordi mere og mere af de yngste dele (øverste dele) er fjernet af istidens gletschere, jo længere man kommer fra Vestjylland og Nordsøen.

I den yngste del af tertiærtiden lå kystlinien i Danmark. Nordøst for kystlinien var der land, hvorfra store floder førte materiale fra det Skandi-



Moler (rødbrunt) med vulkanske askelag (mørke) i kystklint på Nordmors. Lagene er kraftigt foldet af istidens gletschere, længe efter lagene blev dannet. Den store forskel i foldemønstret i gletscher-påvirket moler og skrivekridt (se billederne side 42-43) skyldes forskellen på ler og kridts fysiske egenskaber. Ler er plastisk, mens skrivekridt er mere sprødt.

naviske Grundfjeld mod havet. Landaflejringerne fra tertiærtidens yngste del består hovedsagelig af rent kvartssand, mens havaflejringerne hovedsagelig består af sort og mørkebrunt ler med et stort indhold af glimmer, der ligesom sandet stammer fra de skandinaviske grundfjeldsområder. I overgangsområderne mellem hav og land, var der vidtstrakte kystsumpe og deltaer med rig vegetation. Det førte til, at der i disse områder kom store ansamlinger af plantemateriale, som i dag er omdannet til brunkul. Disse brunkulsområder, som har været udnyttet indtil for få år siden, ligger især i Vest- og Midtjylland. Derfor må kystzonen også have ligget i disse egne i den yngste del af tertiærtiden. Der er stadig store mængder brunkul tilbage i Midt- og Vestjylland, men p.gr.a. Danmarks mangel på fossile brændsler, har man ønsket at lade brunkullene ligge, indtil der måske bliver virkelig brug for dem.

Fra den ældste del af tertiærtiden kendes der kun havaflejringer i Danmark. Til gengæld er disse aflejringer lag ret forskellige fra periode til periode, idet såvel de klimatiske som de oceanografiske forhold undergik store forandringer gennem den ældste del af tertiærtiden.

Overgangen mellem tertiærtidens yngste og ældste aflejringer er markant på flere måder. Mest iøjnefaldende er, at de ældre aflejringer er brogede leraflejringer, mergel, grønsandsten og kalksten, mens de yngre lerede aflejringer alle er meget

mørke og glimmerholdige og kun ganske lidt omdannet.

Omtrent midt i den ældre tertiære lerserie finder man ca. 180 vulkanske askelag. Disse askelag, som dækker det meste af Nordjylland, og hvoraf en del også findes på Sjælland og sydligere i Jylland, kan i mange tilfælde genkendes fra sted til sted. Ved at måle bestemte askelags tykkelse på forskellige lokaliteter kan man regne ud, omtrent hvor asken kommer fra, idet man regner med, at askelagene er tykkest nærmest vulkanen. Alt tyder på, at asken kom fra flere vulkaner, som lå i Skagerak og Nordsøen.

I de vestlige Limfjordsegne ligger askelagene i en meget speciel lerart, *moler*, der omtrent udelukkende består af mikroskopiske skaller af kiselalger, mens askelagene alle andre steder ligger i røde og grønne meget fede lerarter (*plastisk ler*). Såvel over som under askelagsserien findes kalkrige lertyper (*mergel*). Under det nederste mergellag findes – især i Østsjælland – grønsandsaflejringer, hvor sandet farves grønt af mineralet *glaukonit*, som er et mineral, der dannes i havet på nogenlunde lavt vand. Under grønsandet findes et konglomerat hovedsagelig af slidte skaller af snegle og muslinger o.l. fra endnu ældre aflejringer. Det tyder på, at kystlinien på det tidspunkt, hvor grønsandet blev aflejret, ikke lå så langt øst for Øresund.

Lagene fra Jordens middelalder

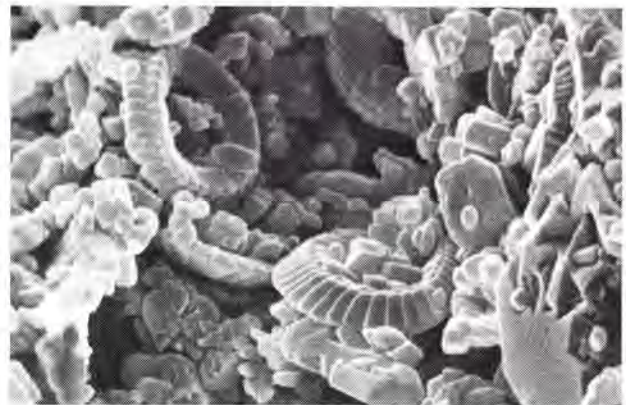
Ved Jordens middelalder (*mesozoikum*) forstås man jordperioderne trias, jura og kridt svarende til perioden fra 230 til 65 millioner år. Aflejringerne i Danmarks undergrund fra denne periode adskiller sig fra de overliggende aflejringer især ved at være mere omdannede. Det giver sig bl.a. udslag i, at sandaflejringerne er blevet til sandsten, leraflejringerne til lersten eller skifer og løse kalk- eller kridtaflejringer er blevet til kalksten eller helt eller delvis omdannet til andre bjergarter. Dette indebærer også, at aflejringerne er blevet mindre porøse og permeable, end de oprindeligt var, og at en del af de oprindelige mineraler er blevet opløst og erstattet af andre mere stabile mineraler.

I Jordens middelalder har dyre- og plantelivet såvel i havet som på landjorden været betydeligt forskelligt fra vore dages. Således uddøde en række betydningsfulde dyregrupper hen imod slutningen af perioden. Som nogle af de vigtigste skal nævnes kæmpeøglerne (krybdyr) og ammonitterne (skalbærende blæksprutter). I planteverdenen mindskedes efterhånden betydningen af kultidens særprægede træplanter (koglepalmer, kæmpebregner, padderokketræer og ulvefodstræer) og de blev i løbet af kridttiden erstattet af dækfrøede planter (f.eks. græsser og de fleste nulevende urte- og trægrupper).

Ældste tertiærtid og yngste kridttid (95 til 60 millioner år)

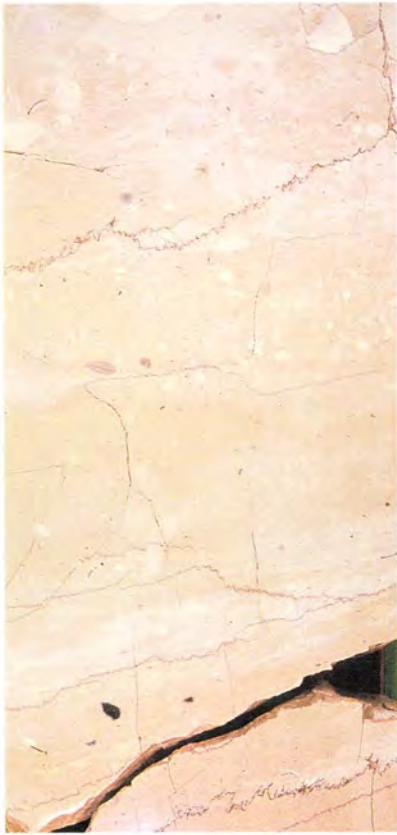
Under de fede lerarter (i Østsjælland grønsand) finder man overalt i Danmark og i Nordsøen op til kilometertykke kalklag (skrivekridt og kalksten) med mange flintlag. Langt den overvejende del af kalken består af uhyre små kalkplader fra planktoniske algegrupper, *kokkolitterne*. Disse kalkplader, som er ca. 10 tusindedele mm store, udgør således det største rumfang af en enkelt bjergart i Danmarks undergrund. Disse kalkalger er også i dag en dominerende del af verdenshavens planteplankton.

Fra og med kalken og nedefter begynder undergrundens forskellige lag at være mærkbart omdannede i forhold til deres oprindelige sammensætning. Det ses især af, at kalkens porøsitet (rumfanget af porerum i forhold til kalkkorn) fra omtrent 50% i den øverste del af kalken falder til ca. 15% i den nederste del af kalken. Det skyldes, at vægten af de overlejrende masser bliver så stor, at de enkelte korn bliver presset bedre ind imellem hinanden på bekostning af porerummenes størrelse. Men det skyldes også, at der p.gr.a. det tiltagende tryk og lagenes tiltagende alder nedefter er blevet udfældet flere og flere kalkkrystaller (cement) mellem de oprindelige korn. Herved ændrer kalken karakter fra i de øverste dele at være en blød afsmittende *skrivekridt* til i de nederste dele at være



Elektronmikroskopoptagelse af kridt fra Dan-feltet. Kalken består hovedsagelig af omdannede skeletdele af kokkolitter (planktonalger), men velbevarede kokkolitter ses også. Herunder: Kalk fra Karleby Klint på Djursland. Denne kalktype er hovedsagelig bygget op af mosdyr (bryozoaer). Kridtgrundmassen er kunstigt farvet blå.

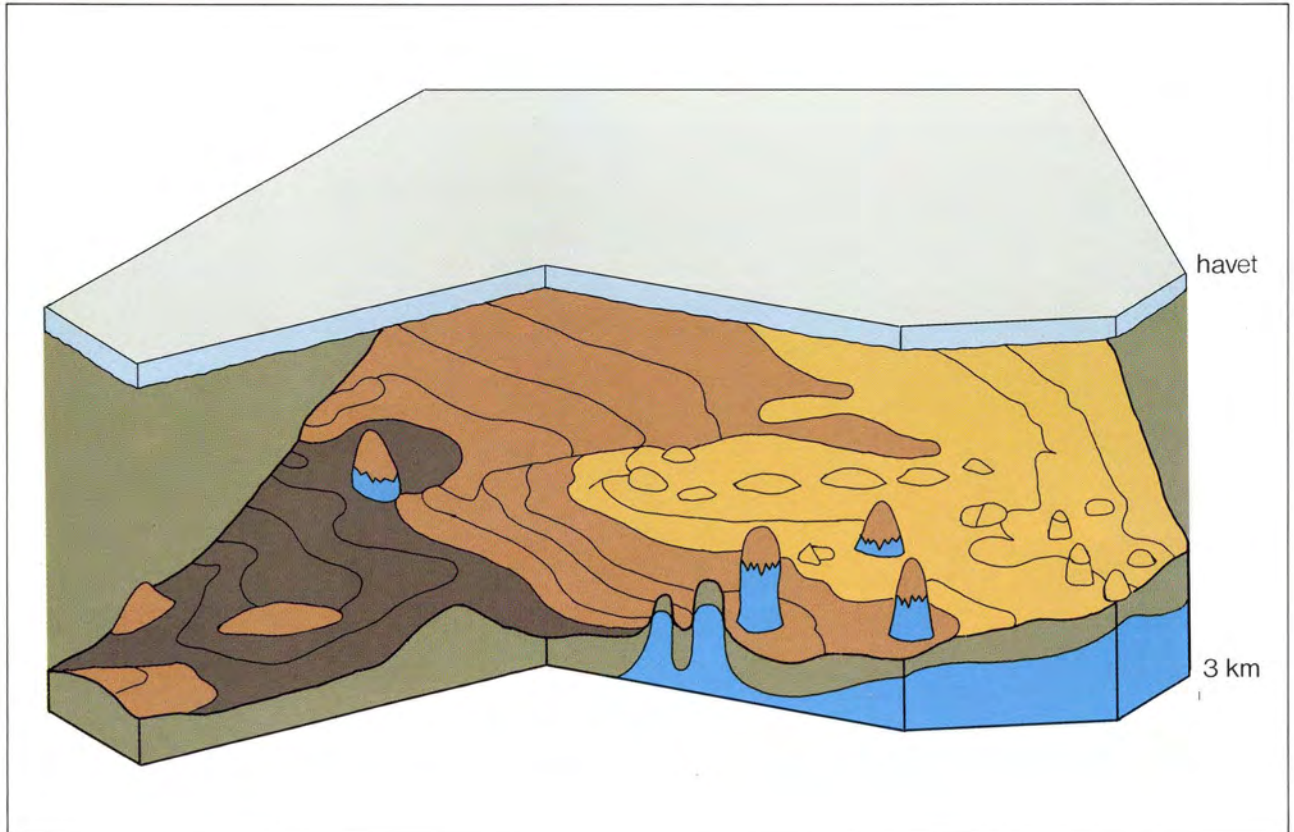




Øverst til venstre: Foto af oliemættet kalk fra Nordsøen. Olien giver kalken den rødbrune farve. Den viste kalksten indeholder en mængde små lyse kalkklumper, som er dannet ved at kalken er rutschet ned af skråninger på havbunden, mens kalken blev aflejret. Opsporing af sådanne omlejrrede lag har stor betydning, da olien strømmer hurtigere til borehullet her.

Øverst til højre: Foto af kalk fra Nordsøen. Kalken er stærkt opsprækket, fordi en salthorst har skubbet til kalken nedefra. Olieproduktion fra sprækket kalk er betydeligt lettere end fra kompakt kalk, fordi olien kan strømme næsten uhindret gennem sprækkerne. De to zig-zag-striber i kalken er ganske tynde lerlag, som er dannet ved trykopløsning af selve kalken, mens den opløste kalks lerindhold er ladet tilbage.

Herunder: Blokdiagram, som viser dybden til kalken i Nordsøen. Mange steder er salthorste brudt igennem kalken. Det er især fra disse salthorste med kalk på toppen, at olie/gas-produktionen foregår.



en klingende hård *kalksten*. Men selv om disse bjergarter ser forskellige ud, er de stort set dannet af det samme udgangsmateriale.

Især den allerøverste del af kalken (lag fra danien-perioden, som er opkaldt efter Danmark, hvor denne periodes lag er særligt veludviklede) afviger en del fra det almindelige skrivekridt nedenunder. Denne kalkformation, som hedder danskekalken, består foruden af kokkoliter af en række dyregrupperes kalkskeletter, som tydeligt kan ses med det blotte øje. Den mest almindelige af disse bjergarter er en *bryozokalk*, der hovedsagelig er opbygget af de stænglede og forgrenede skeletter af bryozoaer (mosdyr). Disse dyr, som levede i stort antal nær danien-havets kystlinier, kan danne regulære banker i danskekalken, således som man kan se det i de flotte profiler i Stevns Klint på Sjælland og Sangstrup Klint på Djurslands nordkyst eller i Bulbjerg på Vestkysten. Også den nu forsvundne Skarreklit ved Bulbjerg bestod af bryozokalk. Af andre vigtige kalktyper i danskekalken kan nævnes koralkalk, der er dannet som en art koralbanker. Kalk af denne type kan ses i Faxe kalkbrud på Sjælland og i kalkbruddet i Limhamn syd for Malmø.

I Nordsøen minder danskekalken imidlertid meget om skrivekridtet, og det hænger sammen med, at Nordsøen i danien-perioden lå langt fra danien-havets kyster. I Nordsøen udgør danskekalken et af de vigtigste olie- og gas-reservoirer. Det hænger sammen med, at olien og gassen fra langt ældre lag er trængt opad og blevet fanget under de tertiære lerlag i den porøse kalksten.

Under danskekalken finder man overalt i Danmark og i Nordsøen det meget finkornede, hvide

skrivekridt. Nedefter bliver skrivekridtet mere og mere lerholdigt og mindre porøst. Skrivekridtet er den ældste af den danske undergrunds formationer, som er forstyrret af gletschere i istiden. Møns Klint er et eksempel på, hvordan isen har været i stand til at skubbe kæmpemæssige flager af skrivekridt hen over hinanden. I Møns Klint kan man således se, hvordan skrivekridtflagerne er revet i stykker og foldet, ligesom man kan se, hvordan lag af moræneler fra toppen af klinten trænger ned mellem skrivekridtflagerne og ned under havniveauet.

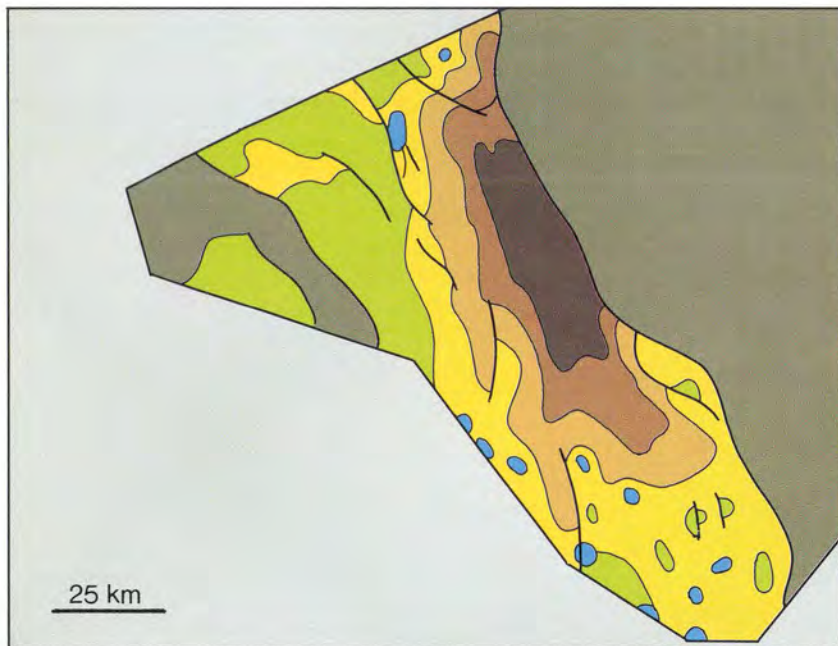
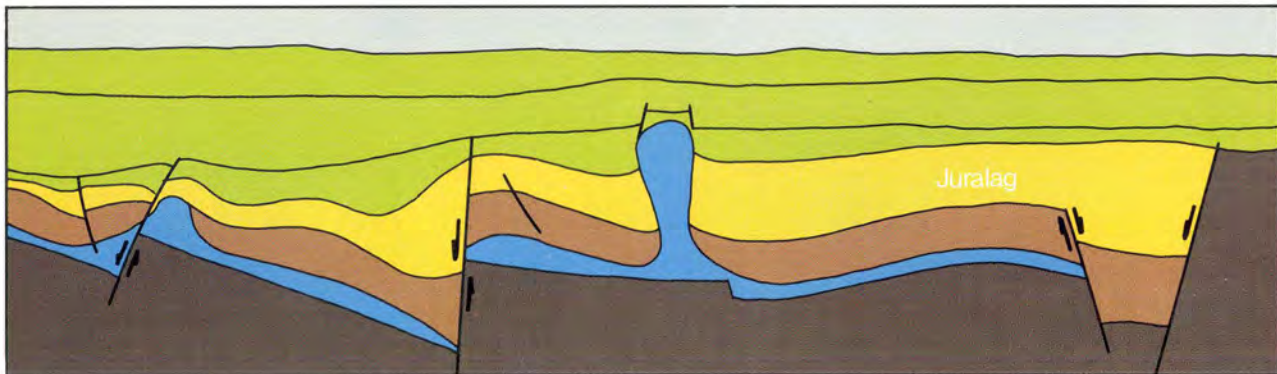
Også skrivekridtet indeholder olie og gas i Nordsøen, idet olien kan være fanget under et mindre end 1 meter tykt hærdet og lerholdigt kalklag mellem Danskekalken og skrivekridtet.

I Nordsøen og i Nordvestjylland finder man i nærheden af salthorstene en særlig kalktype, som består af kalkklumper i en grundmasse også af kalk. Denne kalktype er dannet ved, at store partier af kalk er rutschet ned af skråninger på havbunden. Disse skråninger blev dannet ved, at salthorstene såvel i Nordsøen som i resten af Danmark bevægede sig særlig hurtigt opad i kridttiden og den ældste del af tertiærtiden. Derved kunne de lag, som lå lige oven på salthorstene, blive presset op i en flad bule på havbunden. Men da kalken på det tidspunkt var fuldstændig usammenhængende og vandmættet, kunne den give sig til at rutsche ned af bulens flanker for at blive aflejret i lavningerne omkring salthorstene. Forekomst af sådanne lag er vigtig for olieproduktionen i Nordsøen, fordi disse *omlejlrede* lag er mere porøse og mere gennemtrængelige for olie og gas end almindeligt skrivekridt og danskekalk.

Ældste kridttid og juratid (195 til 95 millioner år)

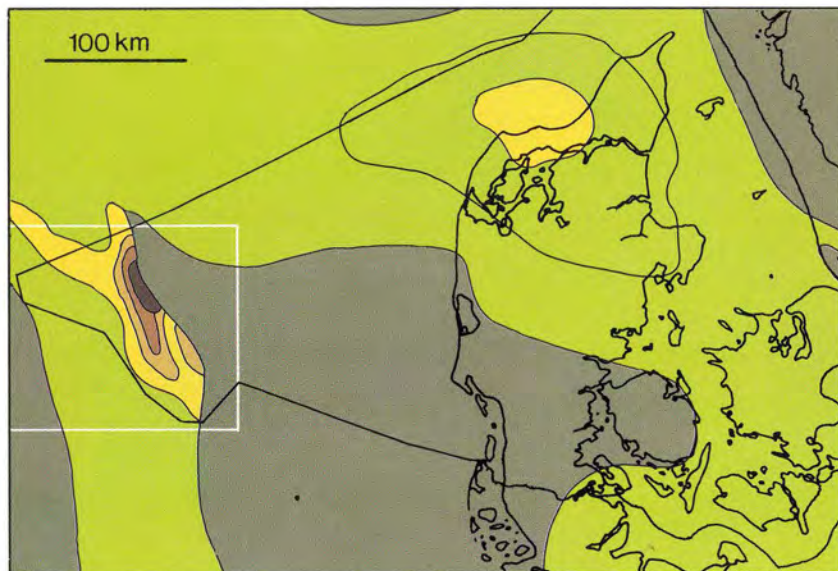
Under det ofte kilometertykke kalklag, som dækker hele det danske område og meget store dele af Europa, finder vi en helt anden aflejringstype, nemlig jura- og ældste kridttids ler- og sandaflejringer. Disse aflejringer adskiller sig fra den yngste kridttids aflejringer ved hovedsagelig at være dannet af nedbrydningsprodukter fra de omkringliggende landområder. Desuden adskiller disse aflejringer sig ved, at deres strukturelle opbygning er mere kompliceret end den strukturelle opbygning af kalken. Det hænger sammen med flere forhold.

For det første er lagene ældre end kalken, hvorfor de også har været udsat for flere påvirkninger. For det andet dækkedes kun Det dansk-norske Bassin og Centralgraven igennem denne periode af havet, mens Det dansk-tyske Bassin kun i slutningen af ældste kridttid og senere var dækket af hav. Og for det tredje er aflejringerne fra denne periode gennembrudt af næsten alle salthorstene såvel i Det dansk-norske Bassin som i Centralgraven. Grænsen mellem skrivekridtet og de underliggende aflejringer er derfor en af de vigtigste grænser i Dan-



▲ 80 kilometer langt og 7 kilometer dybt snit i den sydlige del af Centralgraven. Tykkelsen af lagene fra juraperioden varierer meget. Dette skyldes at både forkastninger og salthorste har været i bevægelse, mens disse lag blev aflejret. Omtrent midt i snittet ses en salthorst. Skjoldfeltets olie produceres fra kalklagene over denne salthorst, men olien er dannet i juralagene.

◀ Kort som viser juralagenes samlede tykkelse i Centralgraven. Langt den største del af de meget tykke juralag er dannet i den allersidste del af juratiden, hvor der skete voldsomme forkastningsbevægelser langs den vestlige kant af Ringkøbing-Fyn Ryggen. Den øverste del af juralagene er kildebjerg-art for hovedparten af Nordsøens olie og gas. (Juralagenes tykkelse: Grønt 0-1 km, gult 1-2 km, lysebrunt 2-3 km, brunt 3-4 km, mørkebrunt mere end 4 km. Gråt: juralag ikke tilstede. Blåt: salthorste, som gennemtrænger juralagene).



Kort som viser den samlede tykkelse af juraperiodens aflejringer. I Det dansk-norske Bassin er de nederste juralag tykkere (op til 1 km), mens de tilsvarende lag i Centralgraven kun er ca. 100 m tykke. De yngste juralag derimod er stedvist mere end 4 km tykke i Centralgraven og meget tyndere (max. 300 m) andre steder. Dette afspejler de jordskorpebevægelser, som fandt sted midt i juraperioden, hvor havet for en periode trak sig tilbage fra det meste af området. De øvre og nedre leraflejringer er derfor de fleste steder adskilt af et op til 300 m tykt sandlag, som er aflejret i floddeltaer, der gradvist har bredt sig over hele det danske område. (Lagtykkelser som angivet ovenfor).

marks undergrund, idet man over denne grænse har en forholdsvis ukompliceret strukturel opbygning, mens lagene under denne grænse er langt mere foldede og forkastede, samtidig med at lagene under grænsen består af et større antal bjergartstyper. Skrivekridtets undergrænse er derfor ikke blot en geologisk grænse, men også en vigtig økonomisk grænse, fordi det kræver en langt større indsats, f.eks. i form af borer, at kortlægge lagene under kalken.

Aflejringen styredes i denne næsten 100 millioner år lange periode af materialetilførsel fra det skandinaviske grundfjeldsområde og fra Ringkøbing-Fyn Ryggen. Derfor finder man gennemgående sandede aflejringer i kanten af Det dansk-norske Bassin, mens man i midten af bassinet finder meget finkornede aflejringer, lersten og skifer, som især i den øverste del også kan indeholde tynde kalkstenslag. Lerstenene, som udgør hovedparten af juratidens aflejringer, er gennemgående meget mørke. Det afspejler deres ret store indhold af organisk stof. Især juratidens yngste aflejringer er rige på organisk stof af den type, som kan omdannes til olie og gas. Man regner således med, at de fleste af Nordsøens olie- og gasforekomster, f.eks. Dan-, Gorm-, Tyra-, Skjold- og Ekofisk felternes olie og gas, stammer fra disse lag, hvorfra den er trængt op i kalken, hvor den nu ligger.

Omtrent midt i juratidens mørke lersten findes i hovedparten af Det dansk-norske Bassin en sandaflejring, som også stedvis optræder i Centralgraven. Denne sandaflejring afspejler en af juratidens urolige perioder, hvor der indtraf en havsænkning, samtidig med at lagene blev foldet og forkastet af jordskorpebevægelser, som prægede store dele af Europa. Herved kunne floder fra højdeområderne i en periode brede sig ud over et større område og bevirke en midlertidig afbrydelse af den aflejring af ler, der er karakteristisk for juraperioden. Da dette sandlag gennemgående har en god permeabilitet knytter der sig en del forventninger til, at man vil kunne producere både olie, gas og varmt vand fra laget.

Også i den øverste del af juratidens aflejringer finder man nogle få steder sandlag, som er dannet i forbindelse med forkastningsaktivitet. Disse sandlag, som ligger ind imellem og over de leraflejringer, der er rigest på organisk stof, er derfor af stor økonomisk interesse, idet man med rimelighed kan forvente, at de kan rumme producerbare olie- og

gasakkumulationer. Således er nogle af de største olie- og gasfund i den norske og britiske sektor gjort i juratidens sandlag.

Ældste kridttids og juratidens aflejringer forekommer som nævnt kun i nævneværdig skala i Det dansk-norske Bassin og i Centralgraven. I Det dansk-norske Bassin opnår de en tykkelse på knap 2 km i Hanherred, hvorfra lagtykkelsen falder til nær nul langs bassinets rande. I Centralgraven er især juratidens yngste lag meget tykke, idet disse lag alene kan være mere end 2 kilometer, mens de andre lags tykkelse ikke afviger bemærkelsesværdigt fra lagtykkelserne i Det dansk-norske Bassin.

Netop denne omstændighed, at de yngste juraglag er så tykke i Centralgraven, formodes at være den direkte årsag til, at der er gjort så mange oliefund i Nordsøen. Disse lags enorme tykkelse har nemlig sammen med den store tykkelse af tertiærtidens og kvartærtidens aflejringer bevirket, at de juraaflejringer, der er rigest på organisk stof, er bragt ned på så stor dybde, at temperaturen er blevet høj nok til, at det organiske stof er blevet omdannet til olie og gas. Det formodes derimod ikke at være tilfældet i landområderne, Skagerak og Kattégat, hvor også tertiærtidens og kvartærtidens aflejringer er meget tyndere end i Centralgraven.

Ud fra et oliegeologisk synspunkt kan man derfor sige, at forholdene i Centralgraven adskiller sig meget væsentligt fra forholdene i Det dansk-norske Bassin ved, at juraaflejringerne i Centralgraven generelt må anses for at indeholde fortrinlige kildebjergarter for olie og gas. Derimod er gode sandstensreservoirer tynde eller vanskelige at lokalisere i Centralgraven. Derfor er de hidtil mest rentable oliefund gjort i de overliggende kalksten. I landområderne, Skagerak og Kattégat, er problemstillingen omtrent den modsatte. Her findes der adskillige tykke og gode sandstensreservoirer, hvorimod de potentielle kildebjergarter for olie og gas de fleste steder ligger på for ringe dybde til, at de endnu er begyndt at danne olie.

Fremtidens udforskning af juratidens aflejringer vil derfor i høj grad blive koncentreret om opsporing af de områder, hvor der er overlapning mellem de gunstige reservoirgeologiske forhold, som kendes fra Det dansk-norske Bassin og de gunstige kildebjergartsgeologiske forhold, som kendes fra Centralgraven.

Triasperiodens aflejringer (230 til 195 millioner år)

Den strukturelle opbygning af triasperiodens aflejringer er i høj grad påvirket af de jordskorpebevægelser, som fandt sted i juraperioden. Det kan altså være svært at afgøre, hvilken oprindelig udstrækning triasperiodens aflejringer har haft i det danske område, da jordskorpebevægelserne i juraperioden har bevirket en hævning af Ringkøbing-Fyn Ryggen. De aflejringer, som kunne have været aflejret her i triasperioden, kan derfor være blevet fjernet ved erosion i juraperioden. Imidlertid eksisterede Ringkøbing-Fyn Ryggen allerede i den forudgående periode, permperioden, hvorfor man må formode, at triasaflejringerne nuværende udstrækning i store træk svarer til deres oprindelige udstrækning.

Triasaflejringerne karakteriseres mere end nogen anden periodes aflejringer af materialetilførsel fra det skandinaviske grundfjeldsområde hen over Den fennoskandiske Randzone. Således er triasaflejringerne meget sandede i strøget nær Den fennoskandiske Randzone, d.v.s. i strøget fra Øresundsområdet over Kattegat, Nordjylland, Vendsyssel og Skagerak. Sydvest for dette område, d.v.s. ned mod Ringkøbing-Fyn ryggen, er triasaflejringerne lerede og indeholder flere tykke saltlag, som er dannet ved inddampning af havvandet. Tilsvarende lerede og saltholdige aflejringer findes syd for højderyggen.

Triasaflejringerne opnår i Det dansk-norske Bassin betragtelige tykkelser mellem salthorstone, som mange steder helt har fortrængt triaslagene. Således er triaslagene i Nordvestjylland ofte mere

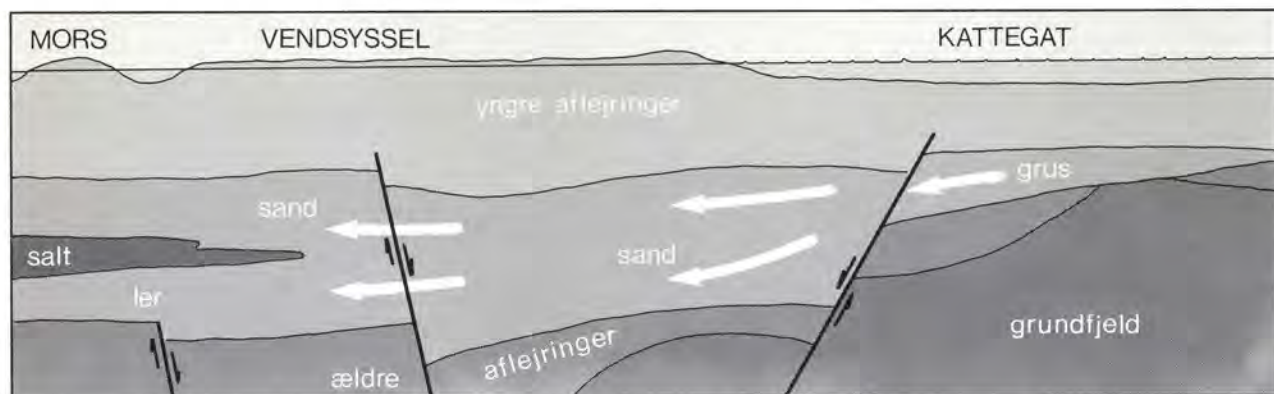
end 5 km tykke, i Sejrøbugten mere end 4 km tykke, mens de mange steder på Ringkøbing-Fyn Ryggen er mindre end 200 m tykke, hvis de da ikke helt mangler.

Centralgravens triasaflejringer kender man kun lidt til, da de er meget dybtliggende. Parallelt med Centralgraven har man i triasperioden haft en anden gravsænkning i det danske område, nemlig Hornsgraven, som er en nord-syd gående gravsænkning, som skærer gennem Ringkøbing-Fyn Ryggen omtrent midtvejs mellem Centralgraven og den jyske vestkyst. På højderyggen er triasaflejringerne ganske tynde, mens de i Hornsgraven er mere end 3 km tykke.

Foruden triasperiodens sand- og leraflejringer findes der som nævnt også betragtelige saltaflejringer, stedvis mere end 200 m tykke, i Nordvestjylland. Disse aflejringer minder både dannelsesmæssigt og udbredelsesmæssigt meget om permperiodens saltaflejringer i Nordjylland (se næste afsnit).

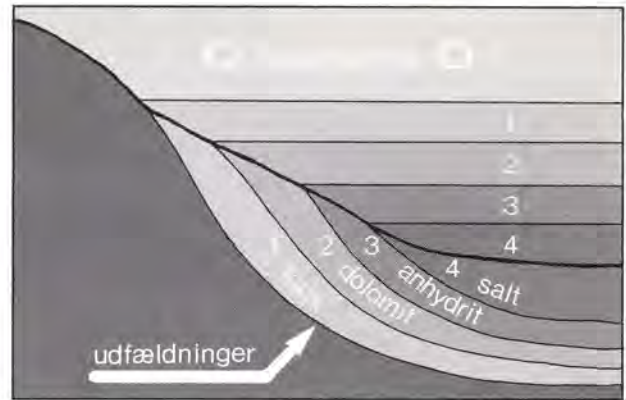
Imod slutningen af triasperioden dækkedes næsten hele aflejringsområdet af sandaflejringer. Det afspejler, at deltaer fra det skandinaviske grundfjeldsområde bredte sig ud over hele Det dansk-norske Bassin.

Der knytter sig en del økonomisk interesse til denne sandaflejring, idet den er forholdsvis grovkornet og derfor permeabel. Samtidig ligger den ofte i mere end 3 kms dybde, og aflejringen formodes derfor at kunne bruges til produktion af geotermisk energi (jordvarme).



Trias-lagenes opbygning præges af materialetilførsel fra de skandinaviske grundfjeldsområder. Derfor er aflejringerne grovest i kattegatområdet og mest finkornede i Midtjylland. I limfjordsområdet findes desuden saltaflejringer,

som er dannet ved inddampning af havet. Samtidig med og efter trias-lagenes aflejring har forkastninger påvirket lagenes dannelse og placering.



Permperiodens saltaflejringer (250 til 230 millioner år)

I permperiodens ældste del skete der vældige jordskorpebevægelser i det meste af Europa. Det resulterede i, at den bassinopdeling af Danmarks undergrund, som vi kender fra trias-, jura- og kridttiden, blev grundlagt i denne periode og allerede i permtidens yngste del, zechstein, var en realitet. Således afspejler udbredelsen af zechstein-periodens saltaflejringer for første gang i den historisk-geologiske udvikling den også senere meget betydningsfulde opdeling af det danske aflejringsområde i Det dansk-norske Bassin, Det dansk-tyske Bassin og Centralgraven.

I permtidens sidste del, zechstein, trængte havet flere gange ind i disse aflejringsbassiner, hvor der derpå aflejredes meget tykke saltlag i bassinernes centrale dele p.g.a. inddampningen, mens der i bassinernes marginale dele aflejredes kalksten.

Når havvand inddampes vil vandets indhold af opløste salte udfældes i en bestemt rækkefølge. Først udfældes kalk (CaCO_3), dernæst dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), dernæst anhydrit (CaSO_4), og til sidst de egentlige salte, nemlig først stensalt (NaCl) og allersidst kalisalt (KCl). Denne *inddampningscyklus* vil derfor give anledning til en kemisk lagdeling af saltbjergarterne, hvor de først udfældede salte findes nederst i en inddampningscyklus, mens de sidst udfældede salte findes øverst. Sådanne inddampningscykluser kan være mere eller mindre fuldstændigt udviklede, idet det sidste trin, kalisaltene, ofte mangler.

I Det dansk-norske Bassin findes der 3 sådanne saltserier, som tilsammen har en oprindelig tykkelse på mellem 1 og 2 km. Den oprindelige tykkelse kan være vanskelig at beregne, idet en meget væsentlig del af saltet i de efterfølgende jordperioder er flydt eller presset ind i salthorsten. I Det

dansk-tyske Bassin er der 4 inddampningscykluser, men i den danske del af dette bassin er der kun lidt salt, idet zechstein-aflejringerne her hovedsagelig består af salthavets marginale kalkstensaflejringer.

Der knytter sig en del oliegeologisk interesse til de marginale kalkstensaflejringer, idet de i Sønderjylland har vist sig at indeholde kulbrinter (fortrinsvis gas). Det hænger sammen med, at zechstein-aflejringerne og underliggende aflejringer indeholder potentielle kildebjergarter for olie og gas, samtidig med at man i de kalksten, der er aflejret langs bassinernes rande, kan have gode reservoirer. Disse kalksten er nemlig opbygget af revkalk og andre bjergarter, som dannes i tilknytning til revkalk. Sådanne aflejringer er ofte meget porøse og permeable, hvorfor de, hvis de fyldes med olie eller gas, vil kunne fungere som reservoirer med en høj ydeevne.

Men især til saltaflejringerne i Det dansk-norske Bassin knytter der sig betydelig interesse, idet de salthorste, der er dannet af disse aflejringer, har mange anvendelsesmuligheder (se afsnittet om saltstrukturer). Zechstein-saltet er af flere grunde en af de vigtigste geologiske grænser i Danmarks undergrund. Dels udgør saltets undergrænse en vigtig økonomisk grænse for den del af lagserien, som det er teknisk overkommeligt at arbejde med. Dels udgør saltet den vigtigste grænse for indsigt i Danmarks undergrund, idet vor viden om lagene under saltet er minimal. Det hænger sammen med, at seismiske undersøgelser kun med stor utydelighed viser noget om saltet og de underliggende lags strukturelle opbygning. Hertil kommer, at kun ganske få borer er ført igennem saltlagene.

Jordens oldtid

Som det er fremgået er vor viden om de aflejringer, der ligger mellem saltet og grundfjeldet meget ringe. Imidlertid må man formode, at ler- og sandsten fra permperiodens første del (280–250 millioner) findes i store områder på begge sider af Ringkøbing-Fyn Ryggen, ligesom man må formode at aflejringer fra kambrium-silur (570–395 millioner år) findes i store områder, i det mindste nord for højderyggen.

Aflejringer fra hele den mellemliggende periode (devon og karbon) kendes praktisk taget ikke fra det danske område med undtagelse af en boring på Lolland og en i Nordsøen, idet man i disse to borer har fundet lag fra kultiden (karbon). Hvorvidt aflejringer fra kultiden er tilstede i større målestok er af stor økonomisk betydning, idet man må formode, at disse aflejringer er rige på organisk

stof, og at de derfor kan have afgivet olie og gas til overliggende reservoirbjergarter.

På Bornholm er aflejringer fra den ældste del af Jordens oldtid (ældre palæozoikum) fremtrædende, ligesom dette er tilfældet i Skåne og i Oslo området. At tilsvarende aflejringer findes mere centralt i det danske område underbygges af, at tre borer har truffet disse lag (to i Jylland og en på Sjælland). Imidlertid har den strukturelle opdeling af de danske områder i de forskellige aflejringsbassiner, som fuldstændig dominerer udviklingen i perm, trias, jura og kridtperioderne, først taget form i permperioden. Vi har derfor kun meget vage forestillinger om fordelingen af hav og land i Jordens oldtid. Dette bevirker også, at mulighederne for at finde olie og gas i disse aflejringer endnu er meget dårligt belyst.

Grundfjeldet

Ved grundfjeld forstår man totalt omdannede bjergarter (hovedsagelig gnejs og granit), som ikke viser genkendelige tegn på materialernes oprindelige udseende. Der kan således være tale om bjergarter, der er dannet ved fuldstændig omdannelse under høje tryk og temperaturer på stor dybde. Dette kan ske enten ved smeltning eller ved metamorfose (gradvis, fuldstændig omdannelse).

Således hviler hele pakken af aflejringer i det danske område på grundfjeld, og som beskrevet i indledningen til dette kapitel er der stor forskel på dybden til grundfjeldet i de forskellige aflejringsbassiner. Selv om man endnu ved meget lidt om grundfjeldets oprindelse (bortset fra på Bornholm), ved man dog ud fra radioaktive aldersdateringer, at grundfjeldet er dannet i mindst to omgange.

Det bornholmske grundfjeld er ligesom dele af grundfjeldet i Ringkøbing-Fyn Ryggen dannet i de allerældste jordperioder, som ligger forud for Jordens oldtid. Derimod viser bl.a. en datering fra en boring i Nordsøen, at der også i Jordens oldtid og samtidig med dannelsen af de norsk-skotske og polsk-tyske foldekæder (kaledoniderne) skete en kraftig påvirkning af dele af Danmarks undergrund. I disse områder, hvis udstrækning vi ikke



Bornholmsk granitbrud. Tilsvarende bjergarter findes under hele det danske område, men på stor dybde. En undtagelse er Ringkøbing-Fyn Ryggen, der ligesom Bornholm er en grundfjeldshorst. Her er grundfjeldet de fleste steder dækket af mindre end 1 km aflejringer, mens dybden til grundfjeldet udenfor højderyggen kan være mere end 10 km.

kender, må man formode, at aflejringerne fra kambrium-silur perioden (570–395 millioner år) er blevet helt eller delvis omdannet til grundfjeld.

Undergrundens vigtigste strukturtyper

Danmarks undergrund og dens strukturelle opbygning domineres af nogle strukturtyper, som på afgørende måde bryder den monotone opbygning, som et stort aflejringsområde ellers ville være præget af. Ved en geologisk struktur forstår man områder, hvor lagenes oprindelige (vandrette) stilling er ændret ved en senere geologisk begivenhed eller række af begivenheder. Disse begivenheder kan være et resultat af masseforskydninger i Jordens kappe under strukturerne, de kan være resultat af bjergkædefoldninger eller kontinentforskydninger i fjerne egne, og de kan være resultat af en

uligevægt, som er opstået under lagenes aflejring.

Danmarks undergrund karakteriseres af tre sådanne strukturtyper, som i de områder, hvor de forekommer, helt bestemmer undergrundens hovedtræk. Disse strukturer kan karakteriseres som forkastninger, folder og saltstrukturer. Af disse er forkastninger og folder resultat af masseforskydninger i Jordens kappe her i Skandinavien eller resultat af kontinenternes indbyrdes forskydning. Saltstrukturerne er derimod resultat af en uligevægt, som er opstået under lagenes aflejring på det sted, hvor strukturen er dannet.

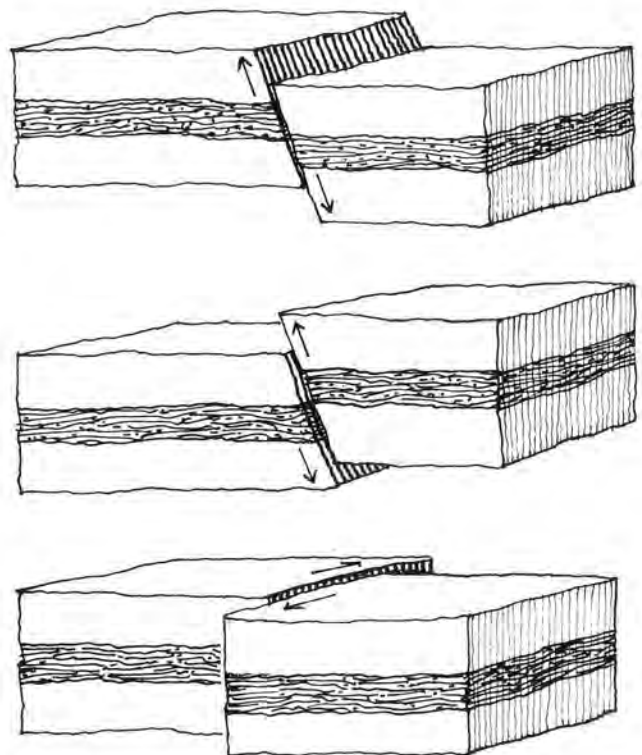
Forkastninger

En forkastning er en brudzone i undergrunden. Langs denne zone har lagene på hver sin side af forkastningen bevæget sig i forhold til hinanden. Forkastningerne kan være lodrette, men hælder for det meste mellem 50 og 80 grader. Man skelner mellem tre typer af forkastninger, som har helt forskellige årsager, nemlig *normalforkastninger*, *reversforkastninger* og *sideværtsforkastninger*.

Ved en normalforkastning er de forkastede lag forskudt nedad, og forkastningsplanet (brudzonen) hælder mod det nedforkastede område. Sådanne forkastninger findes i områder, hvor jordskorpen har været udsat for et vandret *træk* omtrent vinkelret på forkastningen. Forkastningsbevægelsen har derved bevirket, at masserne i området er kommet til at fylde mere i vandret retning, hvorved trækspændingen er blevet mindre eller helt er forsvundet.

Ved reversforkastning er de forkastede lag forskudt opad og tildels ind over jævnaldrende eller yngre lag. Forkastningsplanet hælder derfor imod de opforkastede lag. Sådanne forkastninger findes i områder, hvor jordskorpen har været udsat for et vandret *tryk* omtrent vinkelret på forkastningen. Forkastningsbevægelsen har derved bevirket, at masserne i området er kommet til at fylde mindre i vandret retning, hvorved trykspændingen i området er blevet mindre.

Ved sideværtsforkastning er de forkastede lag forskudt sidelæns, og forkastningsplanet står normalt lodret. Sådanne forkastninger findes i områder, hvor jordskorpen har været udsat for *forskyd-*



De tre vigtigste forkastningstyper. Øverst: Normalforkastning. I midten: Reversforkastning. Nederst: Sideværtsforkastning. Kombinationer af sideværtsforkastning og de to andre forkastningstyper er mest almindelige.

ningsspændinger parallelt med eller skråt på forkastningen. Afhængigt af hvilken vej forkastningsbevægelsen er foregået, taler man om *højre- og venstreforkastninger*. Hvis lagene på den anden side af forkastningen er bevæget mod højre kaldes det en højreforkastning – og omvendt.

Forkastninger af alle tre typer findes i Danmark. De største findes i grænseområderne mellem aflejringsbassinerne og hævningsområderne. Således er Den fennoskandiske Randzone en forkastningszone mellem Det skandinaviske Skjold og Det dansk-norske Bassin, ligesom kanterne af Ringkøbing-Fyn Ryggen er forkastningszoner. Forkastninger af alle tre typer findes i disse forkastningszoner, og typisk er der tale om, at de samme forkastninger på visse tidspunkter har været af en anden type. Dette hænger sammen med, at forkastningszonerne udgør svaghedszoner, hvor nye spændingsfelter vil have en tendens til at bryde gamle »sår« op.

Men også i aflejringsbassinerne findes talrige

forkastninger. De er dog mindre end i grænseområderne mellem aflejringsbassinerne og hævningsområderne.

Generelt tiltager antallet og størrelsen af forkastningerne nedefter. Det hænger sammen med, at de store forkastningsbevægelser til enhver tid gennemsetter hele eller store dele af jordskorpen. Derfor vil de ældste (og nederste) lag have været udsat for de fleste forkastningsbevægelser, mens de yngste (og øverste) lag har været udsat for færre eller slet ingen forkastningsbevægelser. Det indebærer naturligvis, at undergrundens strukturelle opbygning bliver mere og mere kompliceret nedefter, og at kortlægningen alene af denne grund bliver både vanskeligere og dyrere med dybden.

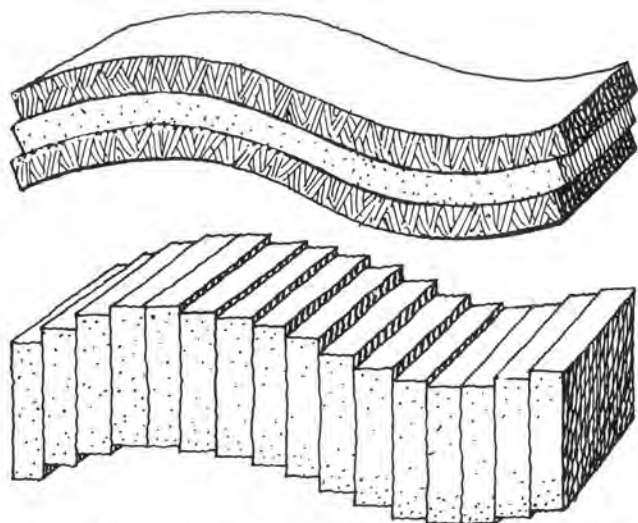
Folder

Bortset fra de mange folder i de allerøverste lag, som istidens gletschere har lavet, er Danmarks undergrund kun ganske svagt foldet. Imidlertid er folderne meget store, op til flere hundrede kvadratkilometer, og de kan således udgøre strukturer, hvis størrelse alene bevirker, at en forståelse af dem er afgørende for en forståelse af undergrundens opbygning og sammensætning.

Folder dannes, når der på forskellige tidspunkter i Jordens historie opstår vandrette tryk eller forskydningsspændinger, som kan udlignes ved at masserne kommer til at fylde mindre i det vandrette plan. Navnlig to sådanne foldefaser karakteriserer Danmarks undergrund, nemlig den *senkimmeriske* og den *laramide* fase. Disse foldefaser er samtidig karakteriseret ved talrige forkastninger.

Den sen-kimmeriske fase fandt sted på overgangen mellem jura og kridt, dvs. for ca. 100 millioner år siden. Virkningerne af denne foldefase ses især i Centralgraven i Nordsøen, hvor de juraske lag kan være svagt foldet parallelt eller en smule skråt i forhold til Centralgravens længdeakse. Folderne er opstået i forbindelse med sideværtsforkastning, som igen er opstået p.gr.a. kontinenternes indbyrdes bevægelse.

Den laramide fase fandt sted på overgangen mellem kridt- og tertiærtiden, dvs. for ca. 65 millioner år siden. Virkningerne af denne foldefase ses især i Kattegat og Øresundsområdet (d.v.s. i Den fennoskandiske Randzone) og i Centralgraven i



To vigtige foldetyper. Øverst: Bøjningsfold. Nederst: Bladfold, hvor »blade« på tværs af lagdelingen er forskudt i forhold til hinanden.

Nordsøen, hvor kridtlagene kan være svagt foldet parallelt med eller en smule skråt i forhold til de gamle brudzoners forkastninger. Også i den laramide foldefase er folderne opstået i forbindelse med sideværtsforkastning, som igen er opstået p.gr.a. kontinenternes indbyrdes bevægelse. I den laramide foldefase er dannelsen af Alperne en tilsvarende, men blot langt kraftigere virkning af kontinentaldriften.

Selv om folderne fra disse to foldefaser ikke er særlig kraftige i Danmark, er det alligevel meget vigtigt at kende deres nøjagtige beliggenhed og form, idet de dele af folderne, som udgør en omvendt skål, kan være betydningsfulde olie-fælder.

Saltstrukturer

Saltstrukturer er forskydninger i undergrunden, der er opstået som følge af flydning i undergrundens saltlag. Salts massefylde er ca. 2.2 gram pr. cm^3 , mens de fleste andre bjergarters massefylde ligger mellem 2.3 og 2.6 gram pr. cm^3 . Denne forskel mellem salt og andre bjergarters massefylde bevirker, at salt, som ligger under tungere masser, vil have en tendens til at trænge opad, som en prop i vandet, indtil saltet ligger øverst. Herved er Danmarks mange saltstrukturer dannet.

Saltstrukturerne kan efter deres form inddeles i to hovedtyper, nemlig *saltpuder* og *salthorste*, der hver for sig kan betragtes som stadier på vej mod den endelige ligevægt, hvor alt undergrundens salt er trængt op på overfladen eller er blevet opløst af grundvandet.

Saltet i Danmarks saltstrukturer stammer fra to saltformationer i undergrunden. Den ældste og vigtigste af disse formationer stammer fra perm-periodens sidste del, som kaldes zechstein. Tykke saltlag fra denne periode findes både i Det dansk-norske Bassin og i Det dansk-tyske Bassin, hvor saltlagenes oprindelige tykkelse har været ca. 1.5 kilometer. Den yngste og mindre vigtige af saltformationerne stammer fra triasperiodens sidste del, som kaldes keuper. I modsætning til zechstein-saltet findes keuper-saltet kun i større mængder i Det dansk-norske Bassin, især i de vestligste Limfjordsegne, hvor det kan være mere end 200 meter tykt.

Saltstrukturdannelsen starter med, at saltet i et saltlag begynder at flyde hen mod områder, hvor saltoverfladen ligger en anelse højere end i omgivelserne. Det sker, når vægten af de overlejrende masser p.gr.a. deres kompaktion er blevet tungere end saltet.

Ud fra den måde saltstrukturerne har deformeret de overlejrende masser på, og ud fra den form forskellige saltstrukturer har i dag, har man kunnet rekonstruere saltstrukturerens naturlige udviklingsforløb.

Når saltet først er begyndt at flyde hen mod et mindre område, vil der på dette sted dannes en flad bule i saltoverfladen, som også vil presse de overlejrende masser op i en svag bule. Hvis området, hvori denne bule dannes, på det pågældende tidspunkt ligger på land, vil vind og vejr erodere toppen af bulen og transportere materialerne ned i

den lavning, som bliver dannet over det område i saltet, hvorfra det flyder. Hvis området, som bulen dannes i, er et havområde på det pågældende tidspunkt, vil der ikke ske nogen erosion på toppen af bulen, men der vil blive aflejret mindre materiale her, end i den lavning på havbunden, som dannes over det område, hvorfra saltet flyder.

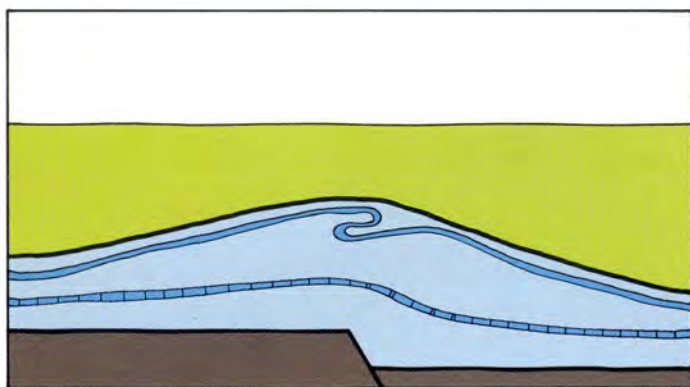
Disse processer vil forstærke saltbevægelserne, fordi der i takt med saltbulens vækst vil ligge mindre og mindre materiale over bulens toppunkt og mere og mere materiale over bulens rand. Det vil sætte så meget fart i saltflydningen fra bulens rand mod bulens top, at der dannes en mere eller mindre ringformet lavning, en såkaldt *randsænke*, omkring saltstrukturen, som i dette stadium kaldes en *saltpude*. Diameteren af sådanne saltpuder ligger i Danmark på 10–20 km.

Efterhånden som saltpuden vokser, begynder de overliggende lag (dæklagene) at revne, samtidig med at saltpudens flanker bliver stejlere og stejlere. Det resulterer i, at saltet så at sige begynder at løfte en prop ud af dæklagene midt over saltpuden. Denne fase, som kaldes gennemtrængningsfasen eller *diapirfasen*, forstærkes af, at erosionen fjerner mere og mere af den prop, som saltet presser op, og som derfor trykker mindre og mindre på saltet. Samtidig begynder saltet at strømme op i *salthorsten* (eller saltdiapiren, som den nu kaldes) fra et større område, fordi alt det salt, som tidligere var samlet i saltpudens flanker nu bliver til rådighed for saltets oprængning i et meget mindre område. Herved dannes der en ny randsænke rundt om den nu meget smallere salthorst. Diameteren af danske salthorste ligger normalt på 2–7 km.

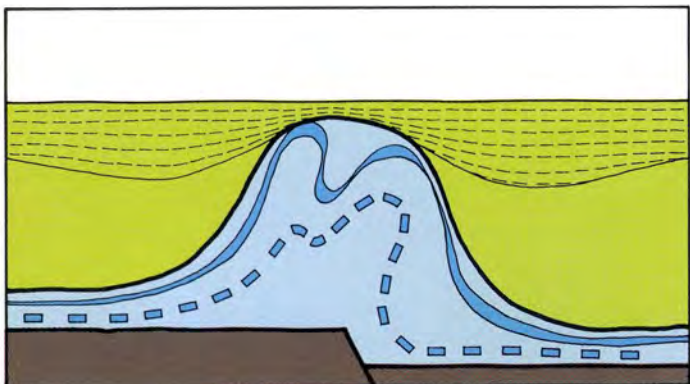
På sin vej op gennem dæklagene vil saltet før eller siden møde saltumættet grundvand. Når dette sker, vil salthorsten begynde at blive opløst oppefra, og der vil, hvis grundvandet cirkulerer hurtigt nok og er ferskt nok, opstå en ligevægt mellem salttilførslen nedefra og saltopløsningen oppefra, således at salthorsten tilsyneladende ikke vokser mere. Hvornår dette sker afhænger helt af det miljø, der karakteriserer salthorstens tid og sted. Befinder horsten sig under havbunden, vil den trænge forholdsvis højt op, mens den i et regnfuldt landområde som f.eks. Danmark næppe vil trænge frem til overfladen. I ørkenområder er det derimod almindeligt, at salthorste trænger helt frem til jordoverfladen, hvor de kan danne regulære saltgletschere. Noget lignende har formentlig været



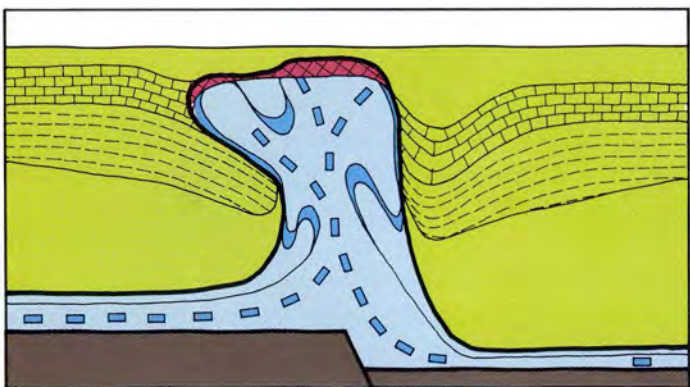
I løbet af zechstein-perioden (for ca. 240 millioner år siden) aflejredes 3 saltlag (lyseblåt på figuren) i Det dansk-norske Bassin. Disse 3 lag havde en oprindelig tykkelse på 1-2 kilometer og adskiltes bl.a. af anhydrit, ler og kalisalte (mørkeblåt).



Ovenpå hele saltserien blev der i trias-perioden aflejret mere end en kilometer sand, ler og salt, inden zechstein-saltet begyndte at bevæge sig. Da vægten af lagene ovenpå saltet blev stor nok, begyndte saltet at bevæge sig opad, fordi saltet er lettere end de overliggende lag.

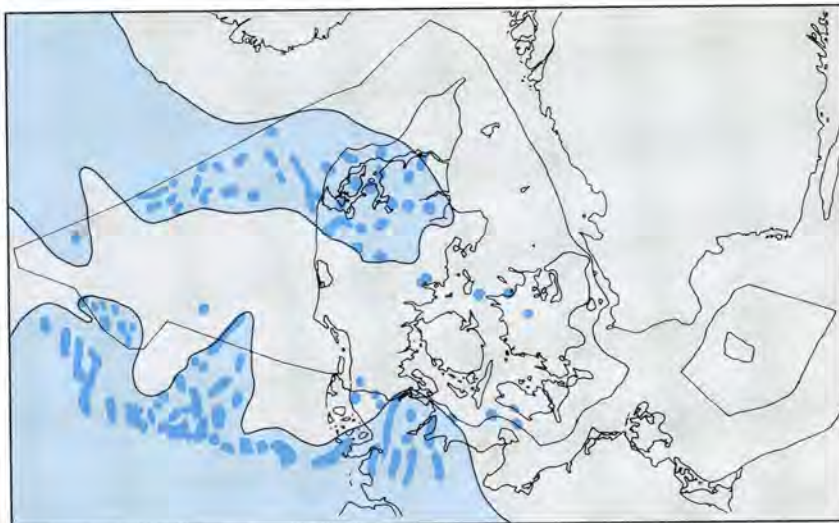


Saltet er især trængt opad i områder, hvor der i mellemtiden er sket forkastningsbevægelser i saltets underlag. Under saltets bevægelse bliver de stiveste lag (anhydrit) revet op og brækket i stykker, mens lerlag og lag af kalisalt virker som smørelse mellem de tykke saltlag. Salthorsten fortsætter med at trænge opad, indtil salthorsten når frem til det ferske grundvand.



Når salthorsten når frem til det ferske grundvand, vil der indtræde en balance mellem salttilførsel nedefra og saltopløsning oppefra. Resultatet er, at der ovenpå salthorsten dannes en »hat« (rødt) af uopløste urenheder fra saltet (cap-rock). De steder, hvor saltopstigningen er størst, eller hvor saltet er mest urent, vil »hatlaget« være tykkest.

Kort over salthorste og saltpuder (blå) i Danmark og nabolande. Især salthorstene på land har fremtidig interesse, da de kan anvendes til en række forskellige formål. De områder, hvor saltet har bevæget sig, er angivet med lyseblåt. I disse områder er strukturen af lagene over saltet påvirket af saltbevægelser.



tilfældet med visse nordtyske salthorste i tørre perioder i tertiærtiden.

Når saltet opløses og føres bort af grundvandet, vil der på toppen af salthorsten dannes en ophobning af uopløselige eller tungtopløselige urenheder fra saltet. Denne ophobning af urenheder kaldes en *gipshat* eller *cap-rock* og består oftest af *gips* eller det tilsvarende vandfri mineral *anhydrit*. Denne gipshat er som regel meget porøs eller opsprækket. Det hænger sammen med, at gipshatten hele tiden vil danne et beskyttende overtræk på saltet, så det ikke bliver opløst. Men herved vil saltet, som jo hele tiden tilføres nedefra, skubbe på gipshatten, som derpå vil revne og gøre det muligt for vandet at komme i forbindelse med saltet, således at det igen opløses. Herved kan saltet i nærheden af større sprækker i gipshatten blive helt opløst, og der kan opstå store vandfyldte hulrum, som gipshatten og de overliggende lag før eller siden styrter ned i. Når denne ring af processer har gentaget sig tilstrækkeligt mange gange, vil gipshatten være en porøs og kaotisk bjergart, som kan berede borefolk mange problemer.

Mange danske salthorste har det, man kalder et overhæng – dvs. en eller flere vandrette udvækster over horstens lodrette flanker, hvor salthorsten er trængt ud i ukonsoliderede lag, som både er lettere og blødere end saltet. Sker det, vil saltet trænge ind under de jordlag, som er lettere end salt, og som så at sige vil flyde på saltet, hvis lagene ud for overhænget vel at mærke er så bløde, at saltet er i stand til at skubbe dem til side. Herved

kan disse lag blive intenst foldet eller fortykket.

Saltbevægelserne vil normalt ophøre, når alt saltet i dybet er opbrugt. Men selv herefter kan salthorstens opadgående bevægelse fortsætte, hvis lagene omkring horstens flanker er så bløde eller knuste, at de p.gr.a. vægten over dem vil falde eller blive trykket ind i horstens flanker. I princippet kan en salthorst derfor blive ved med at sende salt mod overfladen, indtil alt saltet er opløst eller har lejret sig på et niveau, f.eks. i niveau med overhænget, hvor de overlejrende masser er lettere end salt, og de underlejrende masser er tungere end salt. Om noget sådant har fundet sted i naturen vides endnu ikke med sikkerhed.

Fra Danmarks undergrund kendes saltstrukturer i praktisk taget alle udviklingstrin fra ganske flade saltpuder til 6–7 km høje salthorste med veludviklede overhæng. Saltstrukturerne findes især i Det dansk-norske Bassin (Nordvestjylland og det østlige Vesterhav), i Det dansk-tyske Bassin (Sønderjylland og den vestlige Østersø) og i Centralgraven (midt i Nordsøen).

Der knytter sig store økonomiske interesser til salthorstene, idet de kan bruges til mange formål, f.eks. produktion af vejsalt, bordsalt, kalisalt, til lagring af olie, gas eller trykluft, og fordi de danner strukturer, som kan fungere som oliefælder. Således er olieproduktionen på Dan- og Gormfelterne i Nordsøen knyttet til to saltstrukturer. Endelig kan det nævnes, at miljømyndighederne undersøger mulighederne for at anvende en eller flere salthorste til deponering af radioaktivt affald.



Råstofferne i Danmarks undergrund

I ældre geografibøger er vi blevet belært om, at Danmark ingen råstoffer har. Men i kraft af ny viden og ny teknik er vor opfattelse dels af begrebet råstoffer dels af Danmarks undergrund blevet ændret fundamentalt i løbet af de sidste 20 år, så vi i dag må opfatte Danmark som et land med ikke uvæsentlige råstofforekomster. Dette hænger især sammen med, at almindeligt forekommende råstoffer som vand og byggematerialer i store dele af den industrialiserede verden er blevet mangelvarer eller let kan blive det, hvis man ikke foretager en

langsigtet planlægning af forbruget. Men det hænger også sammen med, at energiråstofferne er blevet så dyre, at de forekomster, som vi har i Danmark, begynder at blive rimeligt billige at finde og producere.

Hertil kommer, at Danmarks undergrund byder på en række muligheder for lagring af overskydende energi, således at Danmark i forhold til mange andre lande har gode muligheder for at gøre sig mere uafhængig af pludselige ændringer i verdensmarkedsforholdene på energiområdet.

Grundvandet

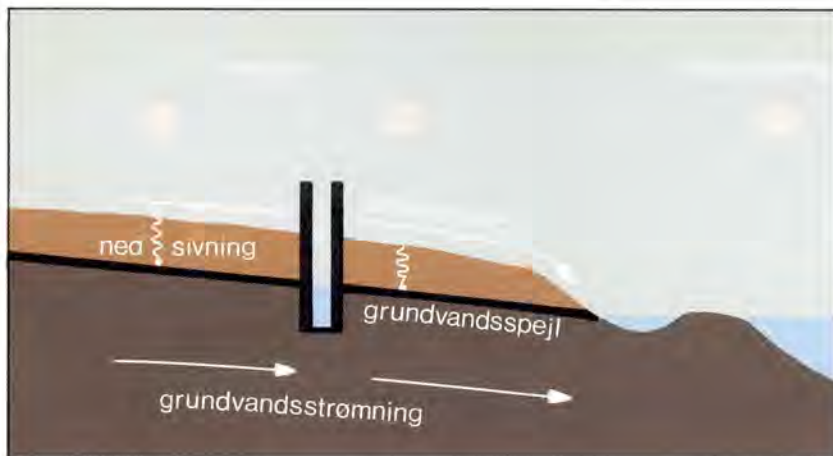
Det vigtigste af alle råstoffer er drikkevandet. Uden en velfungerende og rigelig vandforsyning ville samfundet, som vi ser det i mange udviklingslande, være umådelig sårbart over for tørkeperioder og lignende kortvarige variationer i vejrliget. I Danmark produceres mere end 95% af vandet fra grundvandsreservoirerne. Det indebærer, at Danmarks vandforsyning i modsætning til de lande, hvor vandforsyningen er baseret på overfladevand (søer og vandløb), ikke er særlig sart over for pludselig forurening o.l. eller overfor trusler fra fremmede magter eller fra enkeltpersoner, som vil tiltvinge sig magt ved kriminelle handlinger. Når alt kommer til alt er en rigelig og sikker vandforsyning sammen med energiforsyningen grundlaget for et moderne samfunds eksistens.

Man skelner mellem to typer grundvand: salt grundvand og ferskt grundvand. Nederst ligger det salte grundvand (tungt). Dette grundvand er oprindeligt dannet ved, at havvand sammen med de kilometertykke havaflejringer, som Danmarks undergrund hovedsagelig består af, er blevet presset

dybere og dybere ned i jorden på grund af yngre, overlejrende aflejrings tryk. Efterhånden er dette salte grundvand blevet endnu saltere, fordi saltholdige jordlag (f.eks. lag af stensalt) er blevet opløst i det. Herved er grundvandet mange steder blevet mættet med opløste salte. Almindeligvis er grundvandet saltmættet, når det ligger dybere end 1 km.

I modsætning til det salte grundvand stammer det ferske grundvand fra nedbøren. Når det regner på jorden, vil en del af regnvandet sive ned gennem de øverste jordlag, indtil det enten rammer et vandtæt lag (f.eks. et lerlag), eller indtil det rammer *grundvandsspejlet* (d.v.s. grundvandets overflade). Herved er der i de perioder, hvor landet ikke har været havdækket, opbygget en zone med ferskt grundvand oven på det salte grundvand.

Alt grundvand i Danmark forekommer i porummene mellem aflejringerne enkelte korn eller i revner og sprækker i undergrundens omdannede (hærdede) bjergarter. Det er derfor ukorrekt, når man taler om »vandårer« og »underjordiske vandløb«. Det, der er tale om, er, at jordlagene visse steder er mere grovkornede end andre steder.



Grundvandet overflade følger i store træk terrænnets overflade, men med mindre højdevariationer. Den ferske grundvandszone dannes af nedbøren, hvoraf en del siver ned, mens resten ledes bort af vandløb eller fordamper. Overalt er jorden vandmættet i en vis dybde. Man kan derfor altid finde vand. Problemet er, om jorden er sådan sammensat, at man kan pumpe vandet op. Gode brønde eller borer er derfor oftest placeret i sand, grus eller sprækket kalk.

Herved bliver porerummene mellem kornene større, og vandet strømmer mere villigt til vandboringen eller brønden, hvor der findes grovkornede lag. Derimod i meget finkornede lag, f.eks. lerlag, hvor porerummene er uhyre små, eller hvor overfladespændingen mellem vand og jordart er stor, vil vandet ikke bevæge sig, selv om man pumper nok så meget, og selv om disse lag normalt er mere vandholdige end de grovkornede lag.

Et jordlags evne til at transportere vand omtales som *permeabiliteten*. Grovkornede lag er meget permeable, mens finkornede lag eller stærkt opdannede lag kun er lidt permeable eller helt impermeable.

Fordelingen af permeable og impermeable lag i jorden er derfor helt bestemmende for grundvandsforholdene og dermed for mulighederne for vandindvinding. Det indebærer, at mulighederne for vandindvinding er bedst i områder, hvor undergrunden indeholder få og tynde lerlag, dvs. i områder, hvor den øverste del af undergrunden består af sand, grus eller kalk. Sådanne områder findes især i Vest- og Midtjylland, hvor sand og grus er de almindeligste jordarter, og i Nordjylland, hvor sand og kalk er de almindeligste jordarter. På Sjælland og Fyn er vandindvindingsforholdene gennemgående vanskeligere end i Jylland, men stadig må man sige, at de er ret gunstige. Kun i nærheden af de største byer kan der være vanskelighed med at finde tilstrækkelige vandindvindingsmuligheder.

Helt anderledes er situationen på småøerne, hvor for kraftig pumpning til stadighed kan udgøre en fare for saltvandsforurening af drikkevandsreservoirerne. Ligeledes er vandindvindingsmulighe-

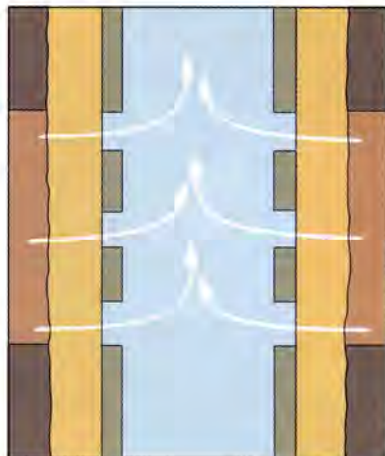
derne på Bornholm ret vanskelige, idet man her kun har ganske få og ret begrænsede sandforekomster, hvorfra man med almindelig teknik kan indvinde vand. Tilmed er disse sandforekomster genstand for råstofgravning og det vil jo i det lange løb bevirke, at grundvandsreservoiret ødelægges, simpelthen fordi det fjernes af gravemaskinerne. Derfor er vandindvinding fra sprækkesystemer i Bornholms bjerggrund af stor betydning for øens vandforsyning.

Langt hovedparten af Danmarks vandforsyning foregår fra vandforsyningsboringer, mens brønde kun har lokal betydning. En vandforsyningsboring udføres som en almindelig boring, d.v.s. enten som skylleboring eller med sandspand eller snegl. Når man har gennemboret det vandførende lag, skal selve hullet hindres i at styrte sammen, men samtidig skal der være mulighed for, at grundvandet uhindret kan strømme ind i boringen. Det sker ved, at man sætter et filterrør inden i borerørene, inden de trækkes op. Filterrøret, der i reglen er et PVC-rør, er på strækningen over det vandførende lag et almindeligt rør, mens der ud for det vandførende lag er skåret en række slidser i røret. Lysningen i slidserne skal da være netop så stor, at materialet i det vandførende lag ikke kan trænge ind i slidserne og tilstoppe boringen. Derfor skal man i reglen udføre en sigteanalyse af sandet i det vandførende lag for at finde ud af, hvor store slidser man kan tillade sig at anvende.

Inden man trækker borerørene op fra vandforsyningsboringen, skal man desuden foretage en såkaldt »gruskastning« mellem filterrøret og borerøret. Gruskastningen skal sikre yderligere, at

Nærmest: Vandforsyningsboring. Når der pumpes, vil vandet strømme gennem porerne i det vandmættede sandlag og ind i boringen. Imellem filterrøret og borehullets væg er der anbragt sand eller grus (gruskastning), som skal forhindre, at sand fra det vandførende lag skal tilstoppe filterrøret eller fylde boringen med sand.

Til højre: I den umættede zone (øverst) befinder vandet sig, hvor kornene rører hinanden. I den mættede zone er alle mellemrum mellem kornene vandfyldte. Her kan vandet strømme frit fra porerum til porerum.

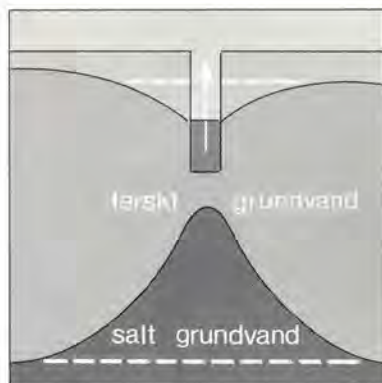


der ikke sker en tilstopning af filteret, idet man sørger for at størrelsen af partiklerne i gruskastningen vil forhindre det vandførende lags partikler i at trænge ind i nærheden af filteret. Først derefter kan man trække borerørene op. Over gruskastningen vil man derefter normalt fylde efter med ler-kugler, som har den egenskab, at de svulmer op, når de bliver fugtige. Herved kan man forhindre, at vandforsyningsboringen forurennes fra overfladen.

Når vandforsyningsboringen er færdig, kan man udføre en række målinger, som skal belyse, hvor meget vand boringen kan give, uden at den løber tør, og uden at det medfører uacceptable sænkninger af grundvandsstanden i boringens omegn. Jo mere permeabel undergrunden er, desto mere kan man tillade sig at pumpe, uden at grundvandsstanden sænkes nævneværdigt. Målingerne foregår ved, at man pumper på boringen med en bestemt vandmængde pr. time. Sideløbende hermed måler man, hvor meget grundvandsstanden falder i selve boringen og i en række observationsboringer. Disse observationsboringer er i reglen udført på samme måde som pumpeboringen, d.v.s. med fore- og filterrør, og er placeret således i forhold til pumpeboringen, at de giver maksimal information. Observationsboringerne kan eventuelt være suppleret med pejlerør, d.v.s. tynde rør, som er hamret eller presset ned til toppen af grundvandsspejlet, således at man indeni rørene kan måle forandringer i grundvandsspejlets beliggenhed. Er området egnet til vandindvinding, vil der kun blive registreret små ændringer i grundvandsstanden i såvel pumpeboring, observationsboringer som pejlerør. Sker der store forandringer er der grund til at overvåge situationen.

Undertiden vil der ske det, at man ingen virkning ser i observationsboringerne eller pejlerørene, hvorimod grundvandssænkningen i pumpeboringen er stor. Dette kan være udtryk for, at boringen er dårligt udført, men som oftest betyder det, at det vandførende lags permeabilitet er ringe. Hvis det vandførende lag består af kalk eller er kalkholdigt, kan man forbedre boringen ved at fylde den med saltsyre. Saltsyren vil da trænge ud gennem slidserne i filteret og ætse noget af kalken væk, således at der bliver bedre passagemulighed for vandet.

Såfremt undergrunden er nogenlunde homogen omkring boringen, vil man se, at grundvandsstanden sænkes lige meget i lige stor afstand fra pumpeboringen, og at grundvandssænkningen aftager med afstanden til boringen. Formen af grundvandsspejlets overflade efter en prøvepumpning kaldes en *sænkningstragt*. Hvis sænkningstragten er nogenlunde cirkulær og omvendt topformet, kan man regne med, at undergrunden er nogenlunde ukompliceret omkring boringen. Hvis sænkningstragten derimod er uregelmæssig på en eller anden måde, eller udvikler sig ujævnt under prøvepumpningen, tyder det på, at undergrunden er uensartet sammensat omkring boringen. Det kan skyldes, at jordlagene er foldede, forkastede, uens tykke, uens sammensat eller opsprækkede. Især hvis undergrunden er opsprækket, kan der være grund til forsigtighed, idet man kan risikere at påvirke andre vandforsyningsboringer, som ligger flere kilometer fra boringen. Desuden risikerer man at trække vand med en ringere kvalitet, f.eks. saltvand eller forurenat vand, ind fra områder, som ellers burde ligge udenfor vandforsyningsboringens sikkerhedszone.



Yderst til venstre: Snit gennem en kystzone. Ved kystlinien forgrener havoverfladen sig i det ferske og det salte grundvands overflade. Jo højere overfladen af det ferske grundvand ligger, desto dybere trykkes overfladen af det salte grundvand ned.

Nærmest: Når man pumper ferskvand op af en boring, vil der ske en sænkning af grundvandspejlet i boringens omegn. Der dannes en såkaldt sænkningstragt. Herved falder vandets tryk under boringen. Salt (tungt) grundvand fra større dybde vil derfor trænge opad, indtil der er balance.

Artesisk vand

Borer man et hul i en dal eller en lavning, kan der ske det, at grundvandet strømmer ud af boringen af sig selv. Dette fænomen, som kaldes *artesiske vand*, skyldes at grundvandspejlet i de omkringliggende bakker ligger højere end grundvandspejlet i lavningen. Derfor vil vandtrykket fra bakkerne forplante sig til lavningen, hvor kun et vandstandsende lag over det artesiske grundvand har forhindret, at der er opstået en sø. Men borer man hul i det vandstandsende lag, vil grundvandet strømme ud af boringen indtil grundvandspejlet i bakkerne er i højde med grundvandspejlet i lavningen.

Men også i områder helt uden bakker kan man have artesiske vand. Her skyldes fænomenet, at der af en eller anden grund er opstået et overtryk i undergrundens porerum. Forklaringen kan f.eks. være, at lagenes sammentrykning ved deres egen vægt skaber et overskud af vand, som har svært ved at slippe væk. Forklaringen kan også være, at visse lertyper kan virke som osmotiske membraner, d.v.s. lag der tillader vand at passere, men ikke salt. Derved vil saltvand under lagene kunne »suge« ferskvand igennem lagene og skabe et overtryk. Endelig kan fænomenet skyldes, at undergrundens materialer afgiver stoffer – f.eks. olie og gas – som fylder mere, end de materialer, de stammer fra.

Anboring af artesiske vandforekomster kan være en særdeles ubehagelig overraskelse, fordi det kan være både vanskeligt og bekosteligt at standse en artesiske vandudstrømning. Hvis det artesiske vand ydermere er saltholdigt og ikke kan bortledes, kan der opstå markskader og forurening af det ferske grundvand.

Salt grundvand

Overalt i Danmark finder man salt grundvand i en vis dybde. Dybden til saltvandet varierer meget, alt efter hvilke aflejringer undergrunden består af, hvor opsprækket den er, og alt efter områdets afstand til havet eller saltmættede grundvandsforekomster. I lavtliggende, kystnære områder kan tykkelsen af den ferske zone være så ringe, at vandindvinding ikke er mulig. Saltvandsforurening kan således foregå på to måder. Enten som optrængning fra større dybde eller som indtrængning fra kystområder.

For at bevæge saltvandet, f.eks. hen mod en vandforsyningsboring, skal der opstå en trykforskel mellem det område, saltvandet befinder sig i og det område, hvortil det vil strømme. Denne trykforskel kan opstå, når man pumper ferskvand op af en vandforsyningsboring. Herved opstår der en sænkningstragt omkring vandforsyningsboringen, hvorfor grundvandstrykket under vandforsyningsboringen vil falde. For at kompensere for dette undertryk vil grundvandet strømme til boringen. Da det salte grundvand er tungere end ferskvand, vil en stigning af det salte grundvands overflade kunne skabe en trykligevægt i saltvandet. Hvis saltvandet kommer ind i vandforsyningsboringen, inden denne ligevægt indtræffer, er boringen ødelagt som vandforsyningsboring. Ved beregningen af, hvor meget en boring kan yde, må man derfor sørge for, at sænkningstragten ikke bliver så dyb p.g.a. for kraftig oppumpning, at saltvandet kommer op i nærheden af de lag, som vandindvindingen foregår fra.

Grundvandsforurening

Flydende eller opløselige stoffer, som anbringes på eller i jorden, kan på forskellig måde komme i kontakt med grundvandet. Såfremt stofferne er skadelige og forekommer i skadelige mængder, taler man om grundvandsforurening. Da grundvandet desuden bevæger sig, kan det sprede forureningen, således at en lokal forurening kan udvikle sig og blive af stor udstrækning samtidig med, at forureningen bevæger sig væk fra oprindelsesområdet. De langsigtede konsekvenser af en lokal grundvandsforurening kan derfor være vanskelige at vurdere.

Grundvandsforurening er særlig farlig i forbindelse med forurening af vandforsyningsboringer, hvor virkningerne kan blive uoverskuelige, hvis der ikke føres tilstrækkelig kontrol med vandkvaliteten. Men en grundvandsforurening kan også på langt sigt medføre forurening af åer, vandløb, fjorde og havområder.

Især på tre områder trues grundvandet af forurening: For det første er der den almindelige nitratforurening, som hovedsagelig skyldes nedsivning af kvælstofgødning fra dyrkede arealer. Herved kan drikkevandet bl.a. blive sygdomsfremkaldende, ligesom bakterier og alger får bedre vækstvilkår i drikkevandet. Nitratforurenede drikkevandsboringer er derfor ubrugelige, og antallet af dem er stigende.

For det andet er der den mere punktvis forurening fra et ukendt, men stort antal lossepladser. Herved kan grundvandet blive forurenede med bl.a. tungmetaller og andre farlige miljøgifte, som med regnvandet transporteres ned til grundvandet. Især lossepladser, som er oprettet før der blev lovgivet om disse forhold, udgør en trussel mod drikkevandsforsyningen.

For det tredje er der nedsivningsforureningen fra et ukendt antal depoter for industriaffald, hvoraf nogle har vist sig at indeholde endog særdeles farlige gifte. Også disse depoter er oprettet for år tilbage, hvor bevidstheden såvel som lovgivningen om grundvandsforurening var utilstrækkelig.

Men grundvandets sårbarhed over for forurening er ikke lige stor overalt i landet, ligesom den samfundsmæssige betydning af grundvandsforureningen heller ikke er lige stor overalt i landet. Det siger sig selv, at forurening af en stor bys vandforsyning kan være katastrofal sammenlignet med forurening af et lokalt vandløb.

Grundvandets sårbarhed over for forurening hænger i høj grad sammen med de lokale geologiske forhold. For eksempel er det afgørende, hvor direkte kontakten er mellem jordoverfladen og grundvandet, hvor let forureningen bindes af områdets jordlag, og hvor hurtigt en eventuel forurening bliver spredt med grundvandsstrømningerne.

Fremstillingsråstoffer

Produktion af fremstillingsråstoffer fra Danmarks undergrund baseres næsten udelukkende på forekomster af sand, grus, sten, ler, kalk, kridt, diatomjord (moler), salt, flint og på Bornholm desuden granit, kaolin og sandsten. Alle disse råstoffer graves eller brydes i åbne råstofgrave eller produceres fra boringer (salt), hvorimod minedrift endnu ikke anvendes. Der produceres hvert år mellem 30 og 50 millioner kubikmeter af disse råstoffer, og langt den største del heraf er produktion af sand, grus, sten, ler og kridt.

Sand, grus og sten

Hovedparten af alle sand-, grus- og stenmaterialer graves i istidsaflejringeres smeltevandsaflejringer, mens en mindre del graves i havaflejringer fra de

sidste 10.000 år. Det meste materiale graves på land i almindelige grusgrave, men en stadig større del hentes på havbunden.

Sand, grus og sten findes praktisk taget over alt i Danmark, men langt de største forekomster findes i Nord-, Midt- og Vestjylland, hvor den sidste istids smeltevandsaflejringer i høj grad dominerer landskaberne, og hvor hævede havaflejringer med rigelige sand- og sten forekomster samtidig udgør en stor del af landskabet. I Østjylland og på Øerne, især på Sjælland og Lolland-Falster, er disse materialer derimod forholdsvis sparsomme og mindre tilgængelige. I modsætning til de vest- og nordjyske forekomster er grusaflejringerne på Øerne og i Østjylland som regel dækket af istidernes moræner, som de oven i købet kan være foldet kraftigt sammen med. Det bevirker, at der er en markant

prisforskel på sand-, grus- og stenmaterialer i Jylland og på Øerne, idet transportomkostningerne sammen med forekomsternes knaphed og mindre gunstige lejringsforhold gør dem betydeligt dyrere på Øerne.

Materialerne anvendes hovedsagelig til beton, støberivirksomhed og som fyldmaterialer ved vejbyggeri, men der er mange andre anvendelser, f.eks. anvendes sand ved glasfremstilling og ved fremstilling af glasuld. Flint anvendes ved fremstilling af synopal til asfaltbelægninger og store sten er nødvendige ved havnebyggerier og mange andre byggerier.

Især ved betonbyggeri har det vist sig, at gruset skal være af høj kvalitet, hvis betonen skal holde i mange år. Det betyder, at gruset ikke må indeholde porøse korn, da de kan give frostskafer, og gruset må heller ikke indeholde kemisk reaktive korn som f.eks. flint, da disse korn kan give anledning til opløsningsfænomener i betonen. Disse forhold bevirker, at man i fremtiden vil opleve en voksende prisforskel på grus og sten dels fra landsdel til landsdel, og dels på grus og sten af høj og lav kvalitet.

I forhold til mængden af grus og sten rummer Danmarks undergrund meget betydelige forekomster af sand. Imidlertid kan man ikke med den nuværende teknologi anvende udelukkende sand til betonfremstilling. Man har stadig brug for betydelige mængder grus og sten. Derfor vil man også opleve, at prisforskellen på sand og grus bliver stadig større. I øjeblikket foregår der en del forskning i mulighederne for at erstatte grus og sten med sand. Resultaterne af denne forskning kan blive af stor betydning for prisudviklingen i de stærkt råstofforbrugende grene af byggeriet.

Ler

Ligesom sand- og grusmaterialerne graves hovedparten af det ler, som anvendes i byggeindustrien, i istidsaflejringernes smeltevandsaflejringer, mens en mindre del graves i moræneaflejringer og andre aflejringer. Man skelner mellem teglværksler, som kan anvendes i teglværksindustrien, og de andre typer af ler, som især bruges i den keramiske industri.

Teglværksler er oftest smeltevandsler eller moræneler uden for meget sand. Teglværksler inde-

les i to hovedtyper, idet man skelner mellem rødbrændende og gulbrændende ler. Rødbrændende ler er forvitret ler, hvori regnvandet har opløst alt kalk og iltet de jernholdige lerminerale. I naturen forekommer rødbrændende ler derfor som den øverste ca. 1-2 meter af leraflejringen umiddelbart under overfladen. Gulbrændende ler derimod er uforvitret ler, som har et vist kalkindhold og indhold af uiltede jernforbindelser. I lergravene finder man derfor det gulbrændende ler under det rødbrændende ler. I naturen er rødbrændende ler normalt gult, brunt eller rødligt og omtales normalt som rødler, mens gulbrændende ler normalt er gråt eller blågråt og omtales som blåler.

Rødbrændende ler er efterhånden en mangelvare, idet man de fleste steder har opbrugt den øverste forvitrede del af de anvendelige leraflejringer. Det er baggrunden for, at de fleste teglstenshuse i dag bygges af gule sten, mens de fleste huse for nogle årtier siden blev bygget af røde sten. Desværre, kan man sige, for røde teglsten er mere vej- og frostbestandige end de gule teglsten, som p.g.a. lerets indhold af kalk kan indeholde porøse partier, der kan give frostskafer.

I Danmark forekommer desuden en del andre specielle lertyper, som kan bruges til andre formål. *Plastisk ler* fra den ældste del af tertiærtiden anvendes til fremstilling af Leca, der anvendes som isolerende byggemateriale, idet leret ved en speciel brændeteknik kan bringes til at blære op i småkugler med en glasagtig overflade. *Moler* er en anden lertype også fra den ældste del af tertiærtiden, og det kan anvendes til fremstilling af isolerende byggematerialer og en lang række andre formål, men anvendes i dag stort set kun til fremstilling af kattegrus. *Kaolin* er en hvid bornholmsk lerart, som kan anvendes ved porcelænsfremstilling. På Bornholm anvendes desuden en lertype fra juraperiodens aflejringer til fremstilling af klinker (fliser).

Kalk

Danmarks enorme kalkforekomster anvendes omtrent udelukkende til to formål, nemlig til cementfremstilling og som jordbrugskalk. Det op imod 1 kilometer tykke kalklag, som ligger under hovedparten af Danmark, findes ofte umiddelbart under overfladen i Thy, Himmerland, Djursland, Østsjælland og Møn. Når kalken skal anvendes som



Ålborg Portland cementfabriks bygninger og kridtgrave giver ikke blot beskæftigelse i byen, men stiller også store krav til byplanlægningen.

jordbrugskalk, sker det uden særlig forarbejdning, idet de danske kalkbjergarter i sig selv er så løse, at de smuldrer tilstrækkeligt ved opgravningen.

Det danske skrivekridt er overordentlig velegnet til cementfremstilling, da det er meget rent og da det kan graves. Desuden forekommer det på en sådan måde, at det kan graves systematisk, hvilket er nødvendigt af hensyn til de meget store gravemaskiner.

Imidlertid har olieprisernes udvikling medført, at cementfremstilling af skrivekridt er blevet mindre rentabelt end hidtil, simpelt hen fordi skrivekridtet indeholder en stor mængde vand. Fordampningen af dette vand i cementfabrikkernes ovne er en af de største udgifter ved cementfremstillingen, hvorfor cementfremstilling på basis af tørre kalkforekomster vinder frem.

Denne udvikling har medført, at dansk cementproduktion i stadig stigende grad satser på specialprodukter. Der kan således være tale om cement med særlige styrkeegenskaber, farver, hærkningstider eller produkter, som er anvendelige under forskellige ekstreme vilkår.

På cementfabrikkerne blandes kridtet med ler og brændes. Herved går kridt og ler i forbindelse

med hinanden, således at cementpulveret efter tilsætning af vand danner en række mineraler, der sammenkitter de korn, som cementen sammenblandes med.

Salt

Danmark har i de nordjyske salthorste enorme saltreserver. En middelstor salthorst, hvoraf vi har 14–15, rummer ca. 100–150 kubikkilometer salt. Af dette salt er langt hovedparten almindeligt stensalt (kogsalt, køkkensalt) og en mindre del kalisalt, anhydrit og gips.

Salt fra danske salthorste produceres udelukkende ved »solution mining«, dvs. ved opløsning af salthorsten via et borehul. Fra overfladen pumpes der vand ned i salthorsten, hvor vandet bliver saltmættet. Derefter pumpes vandet op til overfladen, hvor saltet udvindes ved inddampning. I Danmark er der endnu ikke anlagt saltminer. Med den øgede efterspørgsel efter kunstgødningsprodukter må man imidlertid formode, at det før eller siden vil blive rentabelt at producere kalisalte fra danske salthorste.



Tørv og brunkul

Tørv og brunkul betragtes normalt som energiråstoffer. Men da brunkulproduktionen i Danmark nu praktisk taget er indstillet, og da tørv stort set ikke anvendes mere som brændsel, men derimod til en række andre formål, er det nærliggende at betragte i hvert fald tørv som et fremstillingsråstof. Således forarbejdes hovedparten af den opgravede tørv i dag til tørvestrøelse.

Tørv består af kun delvist forrådnede plantedele, som er ophobet under sådanne forhold, f.eks.

i en moses iltfattige bundslam, at den videre nedbrydning ved hjælp af svampe og bakterier går meget langsomt.

I Danmark findes der store tørveaflejringer i Store Vildmose i Vendsyssel og i Lille Vildmose i Himmerland, som tilsammen rummer langt den største del af Danmarks tørv. Derudover findes der større tørveområder på Djursland og flere andre steder i Jylland.

Olie og gas

Jordolie (råolie, stenolie, petroleum) dannes i jorden i aflejringer med et højt indhold af organisk materiale. Når disse aflejringer bliver overlejret af stadig tykkere lag og derved bliver presset så langt ned i jorden, at temperaturen og trykket bliver stort nok, begynder en speciel diagenese (omdannelse) af det organiske stof. Denne proces, som kaldes *katagenese*, er foruden af temperatur og tryk også afhængig af aflejringerens alder.

I stort set alle aflejringer findes store eller små mængder organisk stof, d.v.s. stof, som er rester af døde dyr og planter. Hovedbestanddelene af alt organisk stof er kulstof, brint, ilt, kvælstof og svovl, og af disse grundstoffer udgør *kulstof*, *brint* og *ilt* langt den største del. Det organiske stof findes hovedsagelig som partikler på mindre end 1/10 mm og kan udgøre mellem 0 og op imod 100

procent af et lag. I almindelighed er det sådan, at de mest grovkornede aflejringer (sandsten) indeholder mindst organisk stof og de finkornede aflejringer (skifer eller lersten) indeholder mest organisk stof. En lidt speciel type aflejring i denne forbindelse er kullag, fordi kullag som regel er opstået ved aflejring af organisk stof, hvor de enkelte aflejringspartikler i stedet for at bestå af mineralsk materiale består af organisk materiale. Det er imidlertid kun sjældent, at kullag giver anledning til oliedannelse, og det hænger sammen med, at den type organisk stof, som kullag består af, ikke i almindelighed kan føre til dannelse af olie. Man skelner derfor mellem tre hovedtyper af organisk stof, som i forskellig grad kan danne olie og gas (kulbrinter).

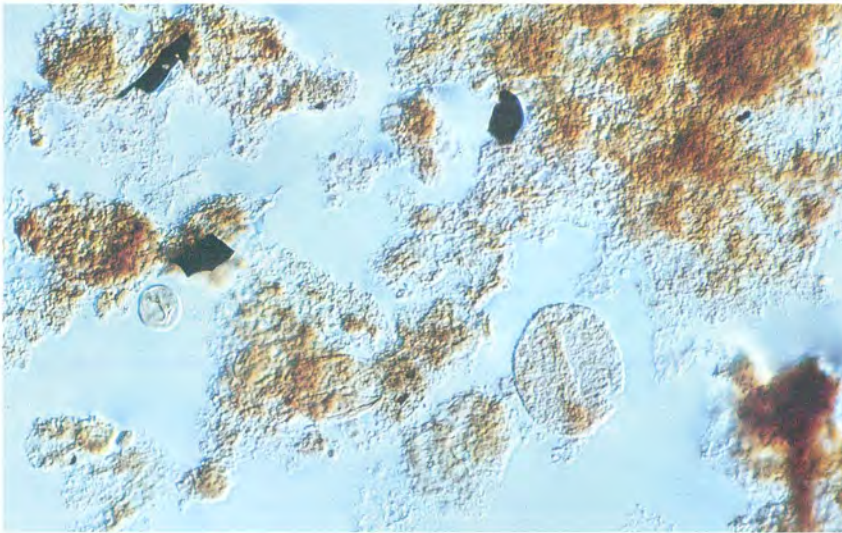
Hvor kommer det organiske stof fra?

De tre hovedtyper, som forekommer omtrent overalt i jorden, kan inddeles efter deres oprindelige dannelsesmåde. Samtidig er denne inddeling omtrent sammenfaldende med deres kemiske egenskaber og evne til at danne olie under de rette betingelser.

For oliedannelsen er den vigtigste type organisk stof den type, som er dannet af mikroorganismer i havene. Disse organismer er for det meste planteplankton, som har en lidt mere bestandig cellevæg end dyreplankton, og som derfor ikke forsvinder ved at blive ædt af lidt større dyr. Det stof, som kaldes *sapropel* (amorft kerogen), har derfor en rimelig chance for at ende i havbundens aflejringer, inden det er blevet fuldstændig fortæret af dyr eller svampe. Stoffet består som regel af uregelmæssige klumper af et meget finkornet, organisk materiale, hvor enhver synlig struktur efter de organismer, som klumperne kommer fra, er forsvundet. Det hænger sammen med, at sapropellet, allerede inden det kommer ned på havbunden, er omdannet så meget ved f.eks. at blive ædt af smådyr, at det har mistet sin oprindelige struktur. Tilbage bliver så de mest bestandige dele af stoffet. Disse mere bestandige dele er samtidig de kemisk set mest komplekse forbindelser af kulstof, brint og ilt, som stoffet oprindeligt bestod af.

Den næstvigtigste type af organisk stof, som har betydning for oliedannelsen, er de organiske mikrofosiler. Det er altså stof, som er så bestandigt, at det ikke mister sin oprindelige form og kemiske struktur, og som derfor kan kaldes fosiler (forsteninger). Langt den største del af denne type organisk stof udgøres af *pollen* og skaller efter *dinoflagellater* og tilsvarende rester af planteplankton. Fælles for disse mikrofosiler er, at de produceres i uhyre antal på henholdsvis landjorden og i havene, men at de i forhold til den samlede produktion af organisk stof kun udgør en ganske lille del. Til gengæld er pollen-kornenes og dinoflagellaternes skaller gjort af et uhyre modstandsdygtigt stof – uden sammenligning det mest modstandsdygtige stof, som forekommer almindeligt i naturen. Det betyder, at pollen og dinoflagellater har en meget stor chance for at overleve alle de nedbrydende processer, som alt organisk stof kommer igennem, inden det ender med at blive begravet i en aflejring. Derfor kan pollen og dinoflagellater ofte udgøre den største del af det organiske stof, som bliver tilbage i aflejringerne.

Den tredje – og for oliedannelsen mindst vigtige type af organisk stof – er de partikler af hovedsagelig landplanter, som findes i aflejringerne. Det meste af dette stof består af mere eller



Mikrofotos af det organiske stof fra boreprøver. Forstørrelsesgrad ca. 500 gange.

Øverste billede viser den stoftype, som er vigtigst for oliedannelsen – sapropel. Dette stof opstår ved biologisk nedbrydning og omdannelse af planteplankton. Nedbrydningen og omdannelsen sker ved hjælp af bakterier og fordøjelsessekreter, inden stofferne begravnes i havbundens slam. Hvis der intet eller kun lidt liv er her, kan stof af denne type blive bevaret og sidenhen blive til en kildebjergart for olie og gas.



I iltrige bundmiljøer fortsætter nedbrydningen og omdannelsen af det organiske stof i bundslammet. Boreprøver fra sådanne miljøer vil derfor ikke indeholde sapropel, men kun de allermest modstandsdygtige stoffer. Mest modstandsdygtige er cyster fra dinoflagellater, sporer og pollen. Er der nok heraf, kan også denne aflejringstype give ophav til olie- og gasforekomster.



I landområder eller kystnære havområder er bundslammet som regel domineret af små vedstykker. Indeholder aflejringerne nok heraf, kan det give anledning til gasforekomster.

De tre fotos viser tillige tre forskellige indkulingsgrader, svarende til stoffets mørkfarvning. Prøven i midten er mindst indkullet (umoden), mens øverste prøve er begyndt at danne olie (moden). Nederste prøve er stærkt indkullet (overmoden).

mindre forkullede dele af planternes træagtige væv. I denne type organisk stof kan man under stor forstørrelse som regel se den oprindelige cellestruktur. Kemisk adskiller det sig ikke fra almindeligt *kul*, men det forekommer som fint fordelt *kulstøv* i aflejringerne.

Disse tre typer organisk stof findes stort set altid i aflejringerne, men i meget varierende mængder. Helt afgørende for, hvor meget der er af de forskellige typer, og hvor meget organisk stof, der er i forhold til mineralsk materiale, er det miljø, aflejringen har fundet sted i. Mængdeforholdet mellem de forskellige typer bestemmes først og fremmest af, om aflejringen har fundet sted i havet eller på landjorden. Jo længere til havs desto mere sapropel og dinoflagellater vil der være, og jo nærmere kysten man kommer, desto mere landmateriale (pollen og kulstøv) vil der være blandet i. Landaflejringerens organiske indhold vil på den anden side næsten udelukkende bestå af kulstøv og pollen.

Den totale mængde af organisk stof vil ligeledes være afhængig af nogle faktorer, som er karakteristiske for aflejringstiljøet. For det første er det vigtigt, om der simpelthen aflejres meget eller lidt organisk materiale i forhold til mineralsk materiale. I havet bestemmes dette mest af, hvor stor *primærproduktionen* (d.v.s. den årlige produktion af organisk stof pr. kvadratmeter havoverflade) er i forhold til mængden af aflejret mineralsk materiale (pr. kvadratmeter pr. år). For det andet bestemmes den totale mængde organisk stof i en aflejring af, hvor stor biologisk aktivitet (og dermed nedbrydende aktivitet), der er på havbunden. Og endelig for det tredje bestemmes den totale mængde organisk stof i aflejringerne af, om vandet nær bunden, og i de øverste få centimeter af bundlaget indholder fri ilt. Hvis vandet er iltholdigt, vil ilten nemlig gå i forbindelse med det organiske stof og omdanne det til kultveilt (CO_2) og vand (H_2O). Samtidig vil et højt iltindhold i bundvandet bevirke en større biologisk aktivitet på bunden. Det kan betyde, at det sediment, som det organiske stof ligger indlejret i, bliver ædt en eller flere gange af sedimentædende bunddyr. Herved kan disse dyrs fordøjelsessekreter gøre det af med en stor del af det organiske stof.

Man vil derfor finde de største koncentrationer af organisk stof i de områder, hvor 1) primærproduktionen er stor 2) hvor tilførslen af mineralsk

materiale er lille og 3) hvor der ikke findes fri ilt på bunden. Primærproduktionen er størst nær kysterne, hvor floder o.l. tilfører havet næringsstoffer (f.eks. fosfat og nitrat) fra land. Den optimale balance mellem disse faktorer finder man i nærheden af kontinentalsoklernes yderkant. Samtidig vil man her også let kunne komme ud på så dybt vand, at mængden af fri ilt, dannet f.eks. ved planteplanktonets fotosyntese i de øverste vandlag, vil være ganske ringe ved havbunden. Lignende forhold kan opstå i forholdsvis afgrænsede havområder, hvor udskiftningen af det iltfattige havvand er ringe, som f.eks. i Østersøen og Sortehavet.

Omdannelse af det faste organiske stof til olie og gas

Efterhånden som et lag overlejres af flere og flere lag, presses laget dybere og dybere ned i jorden. Derved bliver trykket og temperaturen i laget større og større. Disse ændringer kan bevirke, at omdannelsen begynder at finde sted.

Hvis en aflejring har afgivet olie eller gas, kan man se det på aflejringens indhold af organiske partikler – f.eks. på pollen-kornene. Når pollen-kornene dannes på planternes støvdragere, er de omtrent glasklare, og det er de også, når de aflejres på havbunden, men når de har opholdt sig i en aflejring under stort tryk og en passende temperatur i nogle millioner år, bliver pollen-kornene – ligesom alle de andre organiske partikler – mindre og mørkere. Det, at kornene bliver mindre, hænger naturligvis sammen med, at der forsvinder materiale fra dem. Og det, at partiklerne bliver mørkere, hænger sammen med, at der forsvinder mere brint og ilt end kulstof fra dem. Derved bliver kornene mere kulholdige og mindre ilt- og brinholdige. Denne proces kaldes *indkulning*, og den tilsvarende proces, som resulterer i at ilt- og brintrige kulstofforbindelser forsvinder fra partiklerne, kaldes *katagenese*. Når man undersøger, hvor langt indkulingsprocessen og dermed omdannelsen er fremskredet, benytter man pollen-kornene, fordi man kan genkende de forskellige arter og ved, hvor store de skal være, og hvilken farve, de skal have, når de er helt uomdannede.

Det materiale, som forsvinder fra de organiske partikler ved indkulingsprocessen og katagenesen, kan være i luftform (gas) eller i væskeform

(olie). Hvor meget gas og olie, der dannes i forhold til hinanden, afhænger dels af temperaturen og dels af det organiske stofs oprindelige sammensætning. Således dannes olie næsten udelukkende af det organiske materiale, vi kalder sapropel, og som består af delvis nedbrudte rester efter mikroorganismer, især mikroskopiske havalger.

Men oliedannelsen tager lang tid. Det er ikke nok, at de rigtige tryk- og temperaturforhold er til stede. Man må også vente på at oliedannelsen skrider frem, og det kan tage millioner af år. I et laboratorium kan man ikke fremstille olie med en naturlig sammensætning på basis af sapropel ved blot at anbringe sapropelet ved den rette temperatur. Oliedannelsen foregår nemlig ved bestemte temperaturer og med en nogenlunde ensartet hastighed, som man ikke kan ændre, sådan som man kan ændre hastigheden af de fleste kemiske reaktioner ved at ændre temperaturen. Den naturlige oliedannelse forløber med langt den største hastighed ved temperaturer på 100–150 grader celcius.

Ved både højere og lavere temperaturer dannes praktisk taget ingen olie, hvorimod der kan dannes gas. Hertil kommer, at eventuelt allerede dannet olie kan blive omdannet til gas, hvis temperaturen stiger til omkring 200 grader. I Danmarks undergrund stiger temperaturen ca. 1 grad pr. 30 meter, hvorfor det faste organiske stof i Danmark må formodes at blive omdannet til olie og gas på 3–5 km's dybde.

Man taler om en aflejnings *modenhed* som udtryk for, hvor langt fremskreden *katagenesen* er. Dvs. at modenheden er udtryk for, hvor stor en del af det faste organiske stof, der er omdannet til olie og gas. I *umodne* aflejringer er praktisk taget ingen olie og gas blevet dannet. I *tidligmodne* aflejringer er olie/gas dannelsen netop begyndt. I *middelmodne* aflejringer er oliedannelsen på sit højeste, og i *senmodne* aflejringer er oliedannelsen helt afsluttet, mens en vis gasdannelse stadig finder sted.

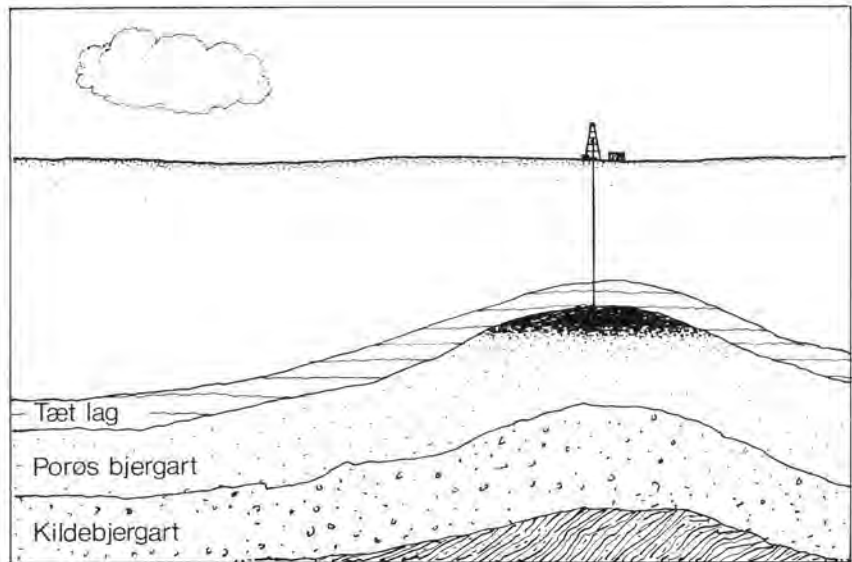
Olie- og gasforekomster

For at få dannet en olie- eller gasforekomst skal man altså have en aflejring, som indeholder tilstrækkelig meget organisk stof. Dette organiske stof skal desuden hovedsagelig bestå af sapropel, og aflejringen skal ligge på den rette dybde og have den rigtige alder og temperatur. En aflejring, der opfylder disse betingelser, kalder man en *kildebjergart* (source-rock).

Men olien og gassen forsvinder normalt fra kildebjergarten i takt med, den dannes. Det hænger sammen med, at kulbrinter (olie og gas) er lettere end vand, og kulbrinterne vil derfor søge *opad*, enten indtil de når jordoverfladen, eller indtil de støder mod et lag, som er uigennemtrængeligt for kulbrinter. Et lag med denne egenskab er for det meste et ler- eller skiferlag, og det kaldes da et *segl*. Hvis der under seglet findes et permeabelt lag, dvs. et lag, som olien og gassen let kan trænge igennem, vil den vandre langs seglets underkant, indtil den ikke kan komme længere, eller indtil den ender på jordoverfladen. Hvis kulbrinterne ikke ender på jordoverfladen, men bliver standset forinden, taler man om en *oliefælde*, hvor stadig mere og mere olie og gas vil blive opsamlet.

Der findes tre hovedtyper af olie-fælder. Den vigtigste af disse består af et porøst lag, som er presset op i en bule (domefælder). Hvis bulen dækkes af et tæt lag, vil olien og gassen samles i den derved dannede omvendte skål. Det er fælder af denne type, DUC producerer olie og gas fra på Dan og Gorm felterne i Nordsøen. Den næstvigtigste type af olie-fælder er knyttet til forkastninger i undergrunden, idet forkastninger som regel bevirker, at lagene bliver kippet en smule (forkastnings-fælder). Herved kan de porøse lag blive begrænset af tætte lag, som ved forkastningen er bragt i berøring med det porøse lag på det sted, hvor forkastningen skærer gennem det porøse lag. Olie-fælder af denne type kendes endnu ikke fra den danske del af Nordsøen, hvorimod nogle af de store felter i den britiske og norske sektor er dannet på denne måde. Den sidste type af olie-fælder består simpelthen af et porøst lag af begrænset udbredelse, og som helt er omgivet af tætte lag (stratigrafiske fælder). Sådanne fælder kan forekomme næsten hvor som helst, men de er til gengæld meget vanskelige at lokalisere.

I en domefælde er kulbrinterne fanget af et tæt lag med form som en omvendt skål. De fleste domefælder er dannet over salthorste, som har presset lagene op i en bule. Domefælder kan også opstå ved foldning, eller ved at lagene ligger over et hårdt område, som ikke er blevet presset ligeså meget sammen som de omkringliggende lag.



Domefælder

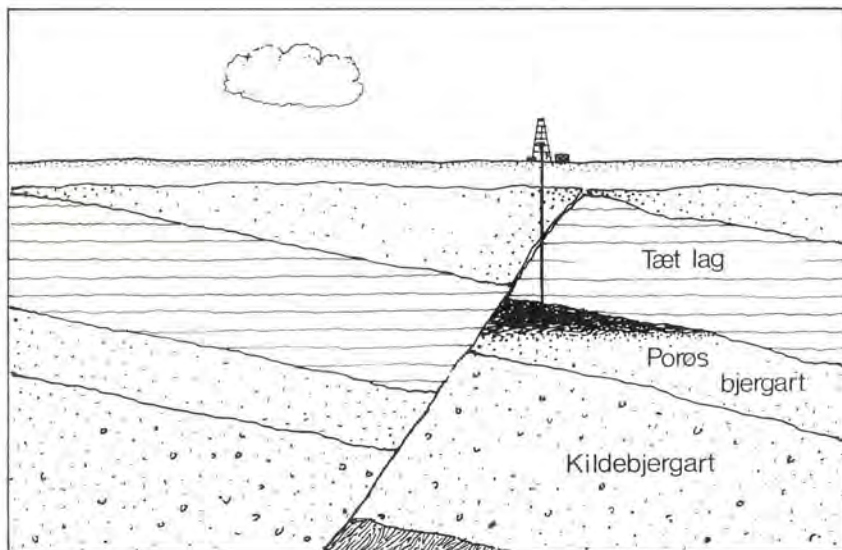
Domefælder kan dannes på flere forskellige måder. Den mest udbredte i Danmark og Nordsøen er opstået ved, at en salthorst eller en saltpude har presset de porøse lag op i en cirkelformet bule, hvis toppunkt ligger midt over salthorsten eller saltpuden. Drivkraften for saltets opadgående bevægelse er forskellen mellem saltets og de overliggende bjergarters massefylde, idet saltet er væsentligt lettere end de fleste andre bjergarter. Herved vil saltet, som en dråbe olie i et glas vand, søge mod overfladen. I Nordsøen er fælder af denne type endnu langt den vigtigste. Her udgøres det porøse lag af de samme kalk- og kridtlag, som kan ses i Stevns og Møns Klint. Men også sandsten på dybere niveau danner tilsvarende fælder under kalken.

En tilsvarende fældetype dannes på en ganske anden måde, nemlig ved sideværts tryk. Herved kan der dannes bløde folder i de porøse lag på samme måde, som man kan folde et gulvtæppe ved at skubbe til det. Fælder af denne type er dannet i forbindelse med de store foldefaser i Jordens historie, dvs. samtidig med dannelsen af f.eks. Alperne. Disse foldefaser har sat sine spor på jordskorpen overalt, men naturligvis mest iøjnefaldende i de velkendte bjergkæder. I Nordsøen kan man således erkende svagt foldede strøg langs Ringkøbing-Fyn Ryggen, hvor man måske i fremtiden vil være i stand til at finde olie og gas.

En sidste type af domefælder dannes på en meget simpel måde, nemlig ved at det porøse lag

ligger på lag af forskellig hårdhed. Efterhånden som der aflejres mere og mere materiale oven på det porøse lag stiger trykket i dybet. Herved vil de bløde lag under det porøse lag blive mere sammenpresset end de hårde, og det resulterer i at der dannes en dome over området med hårde bjergarter. Oliefælder af denne type er af stor vigtighed i den britiske Nordsø sektor, og mulighederne for at finde olie i tilsvarende fælder i den danske sektor er til stede, men endnu ikke undersøgt.

Sammenlignet med andre fældetyper er domefælder relativt nemme at finde, fordi de kan lokaliseres ret præcist ved hjælp af seismiske undersøgelser. Det hænger sammen med, at seismiske undersøgelser især er egnede, hvor lagene i undergrunden ikke hælder mere end nogle få grader, da større laghældninger vil sende ekkoet af lydsignalerne fra jordoverfladen væk fra undersøgelsesområdet, når de rammer de hældende lag. Og i de fleste domefælder hælder overfladen af de porøse lag sjældent mere end nogle få grader eller ligger omtrent vandret i det område, hvor hovedparten af olien findes. Herved bliver man i stand til med stor sikkerhed at lokalisere domefældernes højeste punkt, inden man sætter borerer ned. Og da oliezone naturligtvis er tykkest under domefældens toppunkt, er det indlysende, at olieselskaberne er særligt interesserede i domefælder, da man ikke i samme grad som i andre fældetyper risikerer at sætte borerer ned ved siden af olieforekomsten eller i randen af den, hvor man måske kun kan producere nogle få procent af hele olieforekomsten.



Forkastningsfælder dannes ved forkastning og vipning af porøse lag, som overlejres af tætte lag. Hvis det porøse lag efter forkastningsbevægelsen kommer til at støde op til et tæt lag på den anden side af forkastningen, kan kulbrinterne blive opsamlet i den højestliggende del af det porøse lag.

Forkastningsfælder

Forkastningsfælder dannes, som navnet siger, ved forkastning af lagene i undergrunden. Årsagerne til, at forkastningerne opstår, kan være mange, men en af de vigtigste i denne forbindelse er, at jordskorpen af forskellige grunde er udsat for et vandret træk. Herved opstår der revner eller svaghedszoner i jordskorpen, som derved stykkes op i et netværk af store kantede blokke, der, fordi de ikke mere hænger sammen, bliver i stand til at bevæge sig i forhold til hinanden. Det mest almindelige er, at disse mange kubikkilometer store blokke så at sige vælter om på siden, indtil de hviler på blokkene ved siden af på samme måde som brikkerne i et dominospil.

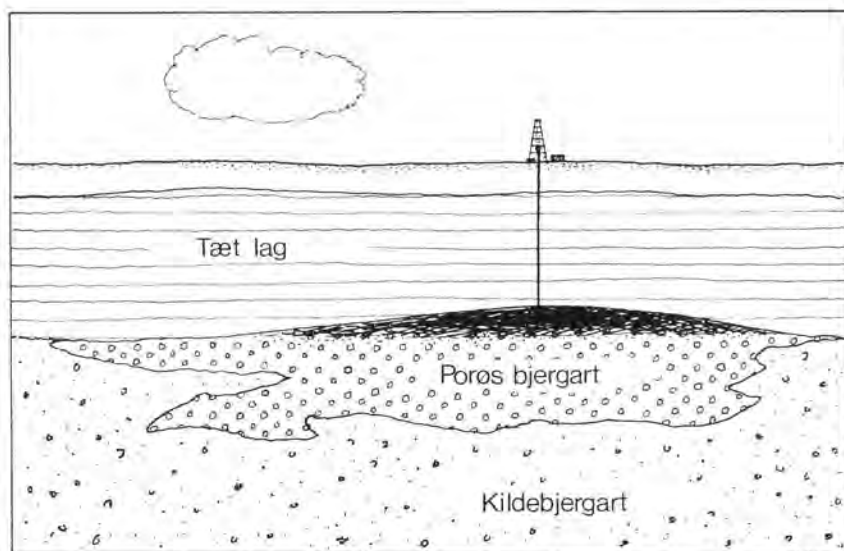
Olien vil da kunne samles i de øverste hjørner af de porøse lag inden i blokkene, hvis de porøse lag støder op til tætte lag i naboblokkene. Endnu bedre bliver det, hvis de tætte lag i naboblokkene er moderbjergarter for olie og gas, da olien og gassen da blot skal vandre den korte vej fra en blok over forkastningszonen til det porøse lag.

Forkastningsfælder og domefælder findes ofte i de samme områder, fordi kanterne af de væltede forkastningsblokke rager op i yngre og blødere

aflejringer, der er tykke i hakkene mellem blokkene. Derfor vil lagene i hakkene synke mere ned end lagene over blokkenes kanter, efterhånden som de bløde lag trykkes sammen. Herved kan man få dannet domefælder over forkastningsblokkenes kanter.

Det betyder, at forkastningsfælder som regel bliver fundet, fordi man har boret efter en domefælde over forkastningsblokkens kant, men at man måske uden at vide det har boret »for langt« og dermed har afsløret en forkastningsfælde. Sammenlignet med andre fældetyper kan forkastningsfælder have meget tykke oliezone, og de kan derfor give meget høje produktionsrater af olie og gas. Til gengæld er de vanskeligere at lokalisere end domefælder, fordi de eventuelt olieholdige lag hælder ret meget og derfor er vanskelige at lokalisere præcist ved hjælp af seismiske undersøgelser. Det betyder, at olieselskabet kan blive nødt til at investere i mange borer, før man finder forekomsten. Derfor vil man ofte se, at eftersøgning efter forkastningsfælder ofte kædes sammen med eftersøgning efter domefælder.

Stratigrafiske fælder dannes allerede under aflejningsprocessen ved at et porøst, helst linseformet lag bliver omgivet af tætte lag. Dette kan f.eks. ske i deltaområder, hvor sand og ler aflejres side om side.



Stratigrafiske fælder

I modsætning til domefælder og forkastningsfælder dannes stratigrafiske fælder ikke ved strukturelle ændringer af de porøse lag, men ved at porøse lag med begrænset udbredelse helt lukkes inde mellem tætte lag. Det kan f.eks. ske ved at der i et område, hvor der hovedsagelig er aflejret ler eller andre tætte jordarter, også bliver aflejret sand i et mindre område. Sandet vil da ligge som en linse i leret.

Hvis man ønsker af finde stratigrafiske fælder, er det derfor nødvendigt at have et nøje kendskab til det aflejningsmiljø, hvori de måske er aflejret, da man uden at kunne se det på f.eks. resultaterne af seismiske undersøgelser skal kunne forudsige, hvor man kan forvente at finde sand eller grus i leraflejringer.

Men ikke nok med det. Stratigrafiske fælder kan også være dannet ved sekundære processer, d.v.s. ved processer, som er sket længe efter at reservoirbjergarten er aflejret. Sådanne stratigrafiske fælder kaldes *diagenetiske fælder*, idet de er opstået ved diagenese, d.v.s. ved kemisk omdannelse enten af fælden eller af de omkringliggende aflejringer. Der kan eksempelvis ske det, at et

område i en aflejring ikke cementeres, d.v.s. fyldes med mineraler mellem de oprindelige korn, mens de omkringliggende aflejringer fyldes med cement. I andre tilfælde kan en tæt aflejring begynder at blive opløst og dermed porøs i et begrænset område.

I teorien kan man finde stratigrafiske fælder overalt, hvor man har kildebjergarter (moderbjergarter) for olie og gas. Men p.gr.a. deres næsten uforudsigelige placering er det sjældent, man borer efter dem, med mindre man ved f.eks. et tilfælde er blevet opmærksom på dem. De fleste stratigrafiske fælder er blevet opdaget under borearbejde efter andre forekomster. Der kendes således en række stratigrafiske fælder fra Nordsøen, men ingen af dem har endnu vist sig at indeholde tilstrækkelige mængder olie til, at en produktion har kunnet betale sig. Imidlertid må man forestille sig, at også de stratigrafiske fælder vil få betydning efterhånden som kendskabet til Danmarks geologi vokser.

'Timing' af oliedannelse og fældeudvikling

En særdeles vigtig faktor for, om en fælde indeholder olie og gas, er 'timing'en' af oliens og gassens dannelse med fældens dannelse og den porøse bjergarts (reservoirrets) omdannelse. Således er det helt afgørende, at fælderne er dannet, *før* olien dannes og vandrer op gennem aflejringerne. Det er også vigtigt, at reservoirbjergarten stadig er tilstrækkelig porøs på det tidspunkt, olien kommer ind i fælden. For at kunne forudsige om der kan være olie og gas i fælder, som man udfra de seismiske undersøgelser kan se må eksistere, skal man derfor have et grundigt kendskab til områdets geologiske og strukturelle udvikling gennem årmillionerne. Man skal især vide, hvornår fælderne blev dannet og om moderbjergarterne for olie og gas på det samme tidspunkt eller først senere kan tænkes at have dannet olie. Samtidig skal fælderne på det tidspunkt, de dannedes, og da de begyndte at blive fyldt med olie og gas, ikke have ligget på større dybde, end at reservoirbjergarterne ikke var udsat for alvorlig omdannelse. Oliens har nemlig den egenskab til forskel fra vand, at den stort set forhindrer, at porerummene i de bjergarter, hvori den befinder sig, lukkes til med cement og at kornene kittes sammen, således at man ikke kan trække olien ud af porerummene. Det er derfor også vigtigt for en fælde, at olien er trængt ind i den på et så tidligt tidspunkt, at den oliefyldte del af reservoirbjergarten ikke senere omdannes så meget, at man ikke kan få olien ud igen.

For at kunne gennemføre seriøse undersøgelser af disse forhold, forud for et boreprogram, er det derfor vigtigt, at geologer og geofysikere i fællesskab danner sig en indgående indsigt i områdets historiske geologi og strukturelle udvikling.

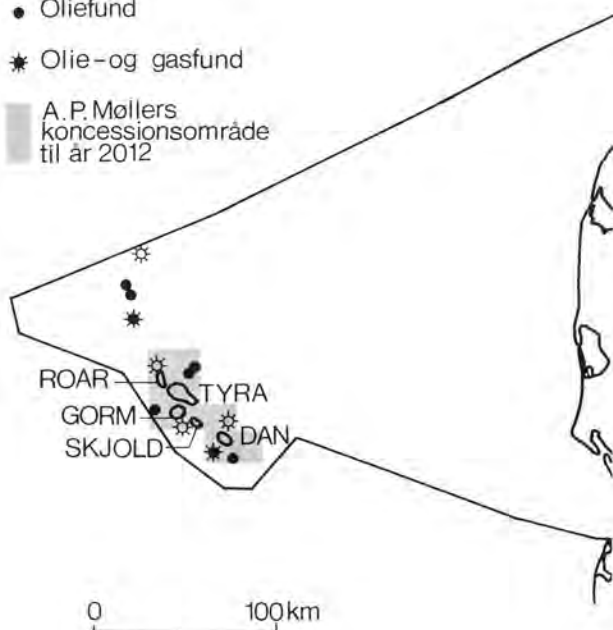
I Centralgraven i Nordsøen synes 'timing'en' af oliedannelse og fældeudvikling at være særdeles gunstig. Det giver sig f.eks. udslag i, at praktisk taget alle fælder, som har været anboret, har indeholdt olie eller gas. Her er problemet imidlertid, at mange af reservoirbjergarterne på det tidspunkt, hvor olien trængte ind i dem, var blevet så omdannede, at det er forbundet med store vanskeligheder at få olien ud igen. Imidlertid synes disse problemer i nogen grad at kunne løses ad teknisk vej.

I Danmarks landområder synes 'timing'en' at være knap så gunstig, idet de kildebjergarter (mo-

derbjergarter), der er de vigtigste i hele Nordsøen, kun få steder eller slet ikke er begyndt at danne olie. Så selv om de danske landområder byder på mange virkelig fine fælder og reservoirbjergarter, nytter det ikke så meget, hvis olien stadig er bundet i det organiske stof på større dybde. Men man må dog stadig sige, at en stor del af de muligheder, som andre steder har vist sig at være meget givtige, endnu ikke er undersøgt på land. Hertil kommer at man i de danske landområder, samt i Kattegat og Østersøen, har en række aflejringer, som i Centralgraven i Nordsøen ligger for dybt til kommerciel udnyttelse, men som uden for Centralgraven meget vel kan blive genstand for produktion af olie og gas. Imidlertid er disse aflejringer praktisk taget ikke undersøgt endnu. Interessen må her især knytte sig til de områder, hvor der ikke er tykke aflejringer af stensalt, dvs. Vendsyssel, Kattegat og store dele af Østersøen, idet man her inden for rimelige dybder må formode at have meget gamle aflejringer, hvorfra olie og gas kan være trængt op i forkastningsfælder og stratigrafiske fælder i de store forkastningszoner.

- Olie- og gasfelter
- ✱ Gasfund
- Oliefund
- ✱ Olie- og gasfund

A. P. Møllers
koncessionsområde
til år 2012



Fremtidige anvendelser af undergrunden

Undergrunden byder på en række andre anvendelsesmuligheder end produktion af forskellige råstoffer. Ingen af disse anvendelsesmuligheder er endnu almindelige, tværtimod er de fleste endnu kun på tegnebordet. Alligevel knytter der sig betydelige

interesser til en række anvendelsesmuligheder som f.eks. geotermisk energi, lagring af gas og trykluft i salthorste eller sandsten, deponering af radioaktivt affald og lagring af varmt spildevand (kølevand) i grundvandsreservoirer.

Geotermisk energi

Det statsejede DONG A/S, der har eneret på indvinding af geotermisk energi, har indtil videre forsøgt sig med indvinding af geotermisk energi i tre områder, nemlig ved Års og Farsø i Himmerland og i Thisted i Thy.

Indvinding af geotermisk energi adskiller sig fra jordvarmeanlæg ved, at det er varmeenergien i stor dybde, hvor temperaturen er høj, man er interesseret i. I Danmark stiger temperaturen ca. 30 grader pr. kilometer. Dvs. at man i ca 3 kilometers dybde har mulighed for at finde ca. 90 grader varmt grundvand. Hvis man derfor i denne dybde kan finde tilstrækkeligt permeable og porøse lag, har man en mulighed for at kunne hente meget store mængder varmt vand op til overfladen, hvor man så kan anvende det til f.eks. opvarmning af byer.

Man tænker sig at anvende den geotermiske energi ved at bore to huller ned til sådanne lag. Derpå vil man kunne pumpe det varme grundvand op igennem det ene borehul, hvorfra man sender det til en fjernvarmecentral. Da grundvandet fra så stor dybde, som der nødvendigvis må være tale om, normalt er saltmættet, kan man ikke sende det direkte ud i husstandene, da det vil korrodere rørene. Derfor vil man benytte sig af en varmeveksler, hvori det salte og varme grundvand afgiver sin varme til fjernvarmeværkets ferskvandssystem. Fra varmeveksleren sender man atter det afkølede saltvand ned i undergrunden via den anden boring, således at det geotermiske anlæg kommer til at bestå af to lukkede systemer, et salt og et ferskt.

Man har endnu ikke etableret færdige geotermiske anlæg, men boreresultaterne fra både Farsø og Thisted tyder på, at geotermisk energi vil kunne blive en væsentlig energikilde i fremtiden.



Temperaturen ved grænsen mellem trias- og juraglene. Ved denne grænse findes sandsten med en samlet tykkelse på ca. 50 m, hvorfra grundvand med de angivne temperaturer vil kunne produceres. Det geotermiske anlæg i Thisted producerer varmt vand fra en anden sandsten, som er lidt koldere, men som giver mere vand det pågældende sted. Et endnu uafklaret forhold omkring geotermisk energi er beliggenheden af de bedste reservoirbjergarter. De mest rentable anlæg vil kunne bygges, hvor både temperaturen og vandgennemtrængeligheden (permeabiliteten) er høj, og hvor der samtidig er et tilstrækkeligt stort antal forbrugere.



Gaslagerboring ved Lille Thorup i Himmerland.

Lagring af gas og trykluft i undergrunden

Både det jysk-fynske el-samarbejde ELSAM og det statejede DONG A/S har udført en del borer for at lagre luftarter i undergrunden. På dette område var ELSAM allerede i 1973 i gang med at undersøge mulighederne for at lagre trykluft i salthorsten ved Vejrum i Vestjylland. Ved at fremstille en gigantisk luftbeholder i undergrunden vil man kunne skære toppen af elektricitetsværkernes spidsbelastninger, og i perioder, hvor elektricitetsforbruget er lavt, kan man benytte den overskydende kapacitet til fremstilling af trykluft, som man derpå i spidsbelastningsperioderne igen kunne anvende til fremstilling af elektricitet.

En helt tilsvarende filosofi ligger bag DONGs ønske om at lagre nordsøgas i salthorsten ved Lille Thorup i Himmerland, idet man har behov for at kunne indskyde et stort gaslager imellem produktionsplatformene i Nordsøen og forbrugerne, således at døgn- og sæsonsvingninger i henholdsvis forbrug og produktion af gas ikke får indflydelse på hinanden.

Gas- eller trykluftlagringen foregår ved, at man borer ca. 2 km dybe huller i salthorsten. Derpå opløser man en kaverne i saltet med ferskvand, således at der i salthorsten opstår en eller flere kæmpemæssige hulrum. Disse hulrum er ca. 1 km høje og 50–200 m i diameter og har således et

rumfang på ca. 10.000.000 m³. D.v.s. at hver af disse kaverne er mere end 50 gange større end de største tankanlæg på jordoverfladen.

Derudover vil gas og trykluft kunne lagres i dybtliggende kalk- eller sandstenslag. Mulighederne herfor har bl.a. været undersøgt i Stenlille på Sjælland og ved Tønder.

Varmtvandslagring

Danske kraftværker og andre virksomheder har et ofte stort energitab i form af kølevand. En stor del af energien i dette kølevand kan genvindes i kraftvarmeværker. Imidlertid kan kølevandsenergien kun anvendes, hvis kølevandet produceres om vinteren, hvor man har brug for varmeenergien. Hvis man derimod kan lagre sommerperiodens kølevand, vil dette kunne genanvendes om vinteren til f.eks. opvarmningsformål.

Varmt kølevand kan lagres i undergrundens vandreservoirer. Det kan ske ved, at man finder et reservoir (sand- eller gruslag), som er tilstrækkelig velafgrænset i forhold til omgivelserne, har en passende størrelse, og som ligger i nærheden af både energiproducenten og forbrugerne. Man kan da på rentabel vis lagre kølevandet i sand- eller gruslaget uden større varmetab, end at man kan genvinde en betragtelig del af energien et halvt år senere.

Lagring af atomaffald

Såfremt Danmark skal have atomkraft, skal vi også selv kunne opbevare det højradoaktive affald på betryggende måde. Imidlertid er nogle af de radioaktive isotoper så langtlivende og så giftige, at det ikke er nogen helt simpel sag at tage stilling til, om det overhovedet kan lade sig gøre. Navnlig er det interessant og væsentligt, om det kan lade sig gøre at fjerne de radioaktive stoffer fra jordoverfladen på en sådan måde, at man ikke senere kan få eller vil komme i kontakt med dem.

En grundlæggende tanke i forbindelse med varig deponering af radioaktive stoffer er multi-barriere filosofien. Den går ud på, at man ud over den anlægsmæssige barriere mellem radioaktiviteten og jordoverfladen, også skal have geologiske barrierer, som må forventes at kunne være stabile i millioner af år. Man taler derfor om en *teknisk barriere*, som består af det anlæg og de beholdere, som affaldet befinder sig i, en *primær geologisk barriere*, som består af det bjergartslegeme (lag eller lignende), som den tekniske barriere er anbragt i, og en *sekundær geologisk barriere*, som en hydrogeologisk barriere, der skal forhindre radioaktive stoffer i vandig opløsning eller opslæmning, i at trænge frem til jordoverfladen.

Anlægsteknisk arbejder man i Danmark med to modeller, *dybhulsløsningen* og *skakt-mineløsningen*. Ved dybhulsløsningen er det hensigten, at man skal kunne anbringe affaldet i et borehul, hvorfra det radioaktive affald ikke fjerner sig, før det er uskadeligt. Denne metode indebærer, at man skal kunne anbringe affaldet i borehullet een gang for alle, at affaldet ikke skal overvåges, og at man ikke sidenhen kan få fat i affaldet. Ved skakt-mineløsningen er det hensigten af affaldet anbringes i en mine, hvorfra det radioaktive materiale ikke fjerner sig i skadelige mængder. Denne løsning indebærer, at affaldet kan overvåges, at uvedkommende kan få fat i materialet, at materialet kan genanvendes, og at de geologiske barrierer kan undersøges bedre.

I Danmark har elværkerne beskæftiget sig med problematikken omkring Morssalthorstens eventuelle egnethed som lagerplads for højradoaktivt affald. Hovedårsagen til, at man har valgt at undersøge en salthorst, er, at salt bedre end de fleste andre bjergarter bortleder varmeenergien fra affaldet, og at salt i lange tidsrum har sådanne flyde-

egenskaber, at man må forvente, at sprækker og revner i saltet omkring affaldet vil lukke sig af sig selv.

Da det radioaktive materiale skal opbevares i meget lange tidsrum, er det nødvendigt at beskæftige sig indgående med de naturlige processer og forhold, som kan tænkes at have indflydelse på affaldets sikre opbevaring. Af de forhold som kan få indflydelse på en nedsat deponeringssikkerhed må især nævnes følgende:

Salthorstes indre struktur er umådelig kompliceret, idet saltlagene (stensalt, kalisalt, anhydrit, gips, og mange andre bjergartstyper) er foldet i meget komplicerede mønstre. Det er derfor særdeles vanskeligt at kortlægge salthorstes indre struktur ved hjælp af borer og andre metoder. Dette indebærer, at man ikke uden særdeles omfattende undersøgelser kan være sikker på, hvilke lag og bjergartstyper affaldet bliver deponeret i eller i nærheden af. Dette kan bl.a. betyde, at der måske kan trænge grundvand ind til affaldet fra omgivelserne, hvorefter radioaktiviteten vil kunne spredes med vandet.

Salthorste er, sammenlignet med den øvrige undergrund, meget ustabile. Dette forhold, som skyldes, at salt er lettere og mere plastisk end de fleste andre bjergarter (se under saltstrukturer), bevirker, at saltet inden i salthorsten til stadighed omlejres og foldes påny, foruden at salthorsten som en samlet prop bevæger sig mod jordoverfladen. Disse bevægelser kan bl.a. bevirke, at affaldsbeholderne nedbrydes, at forseglingen i borehullet eller minen ødelægges, og at de hydrogeologiske barrierer over salthorsten nedbrydes p.gr.a. revner og sprækker, som opstår ved salthorstens opadgående bevægelse.

Her er kun nævnt nogle få af den meget lange række af geologiske forhold og processer, som har indflydelse på affaldets sikre opbevaring, og man kan uden at tage munden for fuld konkludere, at mange fundamentale problemer i forbindelse med deponering af radioaktivt affald endnu er uløste. Det gælder ikke blot elværkernes undersøgelser af Morssalthorsten, men også samtlige undersøgelsesområder i de lande, hvor man allerede har store mængder af radioaktivt affald.



Råstoffernes samspil med de øvrige naturressourcer

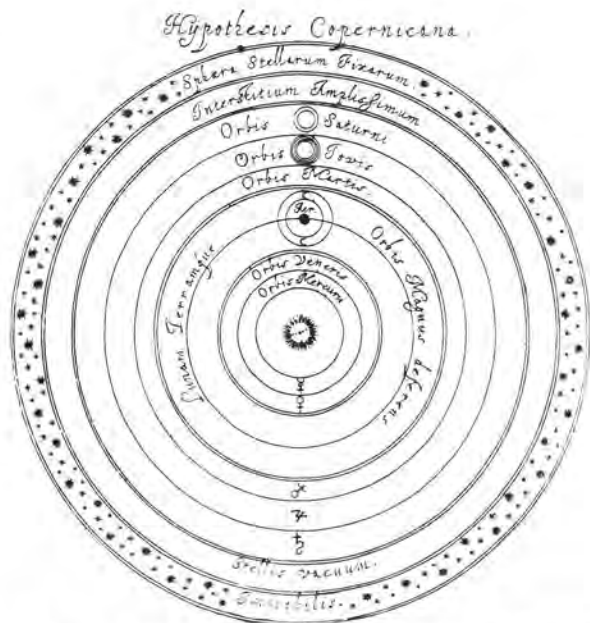
I indledningen omtales de tre vigtigste grupper af naturbundne råstoffer – fremstillingsråstofferne, energiråstofferne og vand. Mange andre inddelinger kan bruges og bliver brugt. Man kan f.eks. skelne mellem reproducerbare og ikke-reproducerbare råstoffer, som stort set svarer til de biologiske og de geologiske råstoffer. Eller man kan anvende mere teknisk prægede inddelinger som f.eks. fornybare, betinget fornybare og ikke fornybare råstoffer. Hvilken inddeling man anvender er ikke afgørende, men blot et udtryk for den aktuelle indfaldsvinkel.

Langt mere afgørende er vor opfattelse af naturressourcerne som en samlet helhed, hvor forbrugsvanerne inden for en gruppe griber ind i andre gruppers anvendelsesmuligheder. Ved at opfatte naturressourcerne som en helhed åbner vi for den betragtningsskema, at naturressourcerne har andet end en råstofmæssig værdi. En helhedsopfattelse gør det muligt at betragte naturressourcerne både som råstofkilde og som den fysiske ramme om livet, menneskers såvel som dyr og planter.

Hvad er naturressourcer?

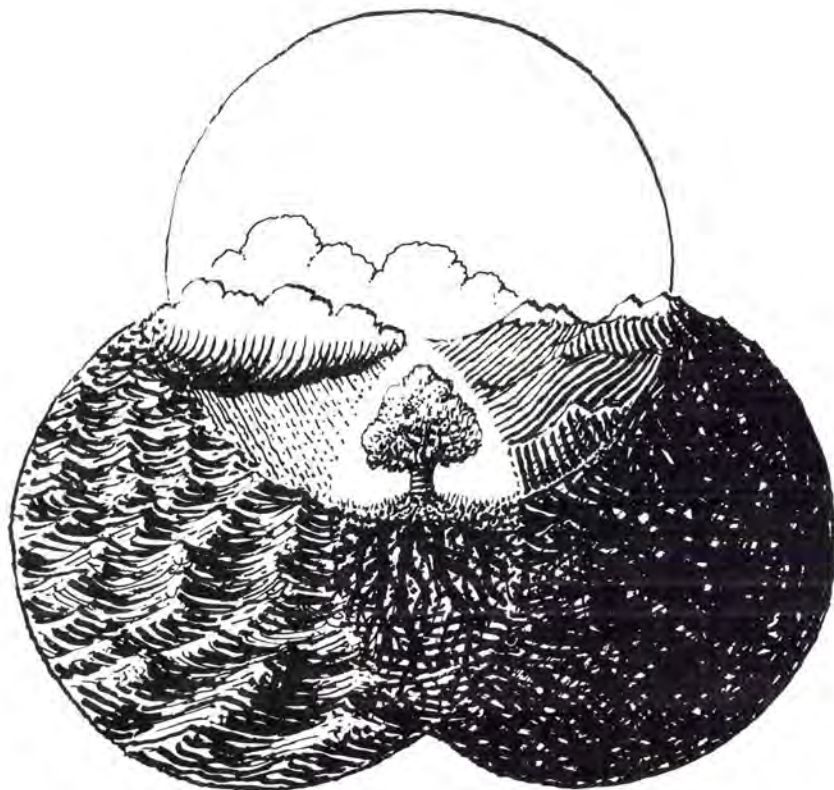
Naturressourcerne har som filosofisk begreb altid interesseret menneskene, og det er en udfordring til nutidens miljømyndigheder at se, hvor godt fjerne tiders begreber om naturressourcerne beskriver rammerne om vore dages problemstillinger.

I oldtiden inddelte man naturressourcerne i de fire elementer – *luft, vand, jord og ild*, hvor luft, vand og jord svarer til de materielle ressourcer og ilden til energien. Efter anerkendelsen af det »kopernikanske verdensbillede« – at Jorden er rund og kredser om Solen – blev denne altomfattende opfattelse ført videre i en ligeså altomfattende indde-



Det kopernikanske verdensbillede. – Kopernikus' observationer viste, at Solen er i centrum for planeterne bevægelse. Heraf kan man slutte, at planeterne og dermed Jorden er kugleformede. Denne revolutionerende opdagelse er i dag mere betydningsfuld end nogensinde: Jordkloden er et lukket system med begrænsede ressourcer.

ling af naturressourcerne. Opdagelsen af Jordens kugleform førte til inddeling af elementerne i tre kugleskaller, såkaldte sfærer, nemlig *atmosfæren, hydrosfæren og geosfæren*. Denne inddeling bygger på den opfattelse, at der findes tre elementære tilstandsformer for ethvert materiale – dvs. den luftformige, den flydende og den faste tilstandsform. Hver af disse tilstandsformer findes i hvert sit jordomspændende lag – i hver sin sfære. De tre sfærer udgør en lagdeling, som bestemmes af tyngdekraften og materialernes massefylde. Øverst findes luften, derunder vandet og nederst selve jordkloden.



I det tynde blandingslag mellem disse tre sfærer findes biosfæren. Biosfæren (eller livet) er således udtryk for en fjerde tilstandsform – den levende. Biosfæren eksisterer i kraft af forbrug af materiale fra de andre sfærer, og den er opstået og udviklet længe før sfærerne blev forurenede. Derfor er biosfærens eksistens og livets opretholdelse afhængig af, hvordan vi behandler de tre andre sfærer.

Det sidste element – ilden – svarer til energien, d.v.s. Jordens egne kræfter og de kræfter, som verdensrummet påvirker Jorden med. Disse kræfter – *de geologiske og de kosmiske* – er energikilde til alle processer i de fire sfærer. De stammer fra en række forskellige energiformer, som for de geologiske kræfters vedkommende hovedsagelig stammer fra Jordens indre varmeenergi, og som for de kosmiske kræfters vedkommende hovedsagelig stammer fra lyset. Ud over disse energiformer eller kræfter er *tyngdekraften* (massetiltrækningskraften) særlig vigtig, fordi tyngdekraften i meget høj grad styrer processerne på og i Jorden.

Processerne i og på Jorden bevirker, at der uafsladelig finder en *energiomsætning* sted. Mæng-

den af energi er konstant, men spørgsmålet er, om energien findes i en form, vi kan benytte.

Når energien findes i en form, vi kan udnytte, kalder vi det en energiressource. Og når vi omdanner en energiform til en anden, som er lettere at udnytte, kalder vi det *energiforædling*. Når vi anvender (»forbruger«) energi, omdanner vi derimod energi, som er let at udnytte til energiformer, som vi vanskeligt eller slet ikke kan udnytte. Det kunne kaldes *energiforarmning*.

De fire sfærer, de geologiske samt de kosmiske kræfter beskriver således naturressourcerne som en helhed. I denne helhed bevirker den naturlige og den menneskeskabte energiomsætning, at der er en *materialeomsætning* i eller mellem de fire sfærer. Såfremt naturlige eller menneskeskabte processer gendanner eller regenererer de omsatte materialer, taler vi om et *kredsløb*. Såfremt dette ikke er tilfældet taler vi om en *forarmning* af naturressourcerne. Formålet med denne forarmning af naturressourcerne er som regel at foretage energi- eller råstofforædling.

Energianvendelsens styrende rolle for materialeomsætningen

Al energiomsætning har to modsat rettede virkninger. Set ud fra menneskers synsvinkel kan man tale om hensigtsmæssige virkninger, d.v.s. ønskede virkninger, og om uhensigtsmæssige virkninger eller såkaldte bivirkninger. Til de hensigtsmæssige virkninger hører forædling af energi og råstoffer. Og til de uhensigtsmæssige virkninger hører forarmningen af naturressourcerne.

Når energiomsætningen får et forløb, der forringer livsvilkårene, taler vi om *forurening*. Forurening kan først og fremmest karakteriseres som uhensigtsmæssig sammenblanding af materialer (af sfærerne eller elementerne). Og forureningen vil altid være et resultat eller en bivirkning af energianvendelsen.

Lad os bruge en bilmotor som eksempel på hensigtsmæssige og uhensigtsmæssige virkninger af energiomsætningen. Bilens motor drives af benzin, som er dannet i geosfæren ved omdannelse af organiske stoffer. De organiske stoffer er oprindeligt dannet ved energitilførsel fra Solen til planter i havet (fotosyntese). Benzinen er altså udtryk for en naturlig energiforædling, idet lysenergi er omdannet til let udnyttelig kemisk energi. Under forbrændingen af benzinen opnås den hensigtsmæssige virkning, at bilen drives fremad, hvilket er udtryk for en kortvarig energiforædling, idet den kemiske energi i benzinen omdannes til bilens bevægelsesenergi. Men hurtigt omdannes bevægelsesenergien til varmeenergi, f.eks. i bremserne under bilens standsning. Dette er udtryk for den resulterende energiforarmning. Hertil kommer, at motoren både varmer og støjer, hvilket er udtryk for en yderligere energiforarmning, idet resten af benzinens kemiske energi omdannes til varme- og lydenergi. Endelig medfører benzinens forbrænding, at atmosfæren tilføres vanddamp, gasser og tungmetaller. Dette er udtryk for en forarmning af atmosfæren, idet atmosfærens luft tilføres stoffer, som stammer fra geosfæren.

Eksemplet viser to ting. For det første viser det, at råstofforbruget resulterer i råstofforarmning, dvs. i sammenblanding af ikke naturligt sammenhørende materialer. For det andet viser det, at energiomsætningen resulterer i anvendelige og uanvendelige energiformer – energianvendelse resulterer i produktion og forurening.

Blandingslagenes betydning for materialetransporten

Går vi videre med denne tankegang, kan man sige, at produktionen står i direkte sammenhæng med forbruget af de uforarmede naturressourcer, dvs. atmosfæren, hydrosfæren og geosfæren, mens forureningen står i direkte forbindelse med processer i overgangszonerne eller blandingslagene mellem sfærerne. Dette kan illustreres med tre cirkler (sfærer), som overlapper hinanden. Overlapningen eller overgangszonen mellem atmosfæren, hydrosfæren og geosfæren er identisk med biosfæren, idet den indeholder elementer fra alle tre sfærer. Derfor er biosfæren også i en nøgleposition i spillet mellem sfærerne. De tre andre overlappingszoner eller blandingslag er i nøglepositioner for kommunikationen mellem de enkelte sfærer, dvs. i nøglepositioner for forureningens opståen og transport.

Betragtet på denne måde må vi opfatte overgangszonerne eller blandingslagene mellem de tre materielle sfærer som de områder, hvor forureningen er mest kritisk, og hvor vi også bedst kan regulere den. Langt de vigtigste elementer i disse overgangszoner eller blandingslag er *nedbøren, arealerne og grundvandet*. Nedbøren (og fordampning, luftforurening o.l.) er den vigtigste del af blandingslaget mellem atmosfæren og hydrosfæren. På samme måde er arealerne uden tvivl den vigtigste del af kontaktfladen mellem atmosfæren og geosfæren. Endelig er grundvandet identisk med blandingslaget mellem geosfæren og hydrosfæren.

Hvis vi derfor især hæfter os ved forurening eller forarmning af disse tre »blandingselementer« – nedbør, areal og grundvand – kan vi også være sikre på at have fat i de vigtigste kommunikationskanaler mellem elementerne. I disse kommunikationskanaler vil vi med mindst mulig energianvendelse kunne regulere forureningen.



Råstofforbrug, energianvendelse og forurening

Svarende til denne inddeling af naturressourcerne i tre overlappende sfærer, kan man inddele forureningen i tre forureningsformer – fast affald, spildevand og luftforurening. Disse tre »forureningsssfærer« overlapper hinanden i tre forureningsstyper, som er særligt betydningsfulde i den samlede forarmning af naturressourcerne, fordi forureningens spredning går gennem disse overlappende zoner. Særlig betydningsfuld er derfor forureningen af nedbøren, arealerne og grundvandet, hvilket i en mere teknisk sprogbrug idag svarer til henholdsvis *forsuringen* (svovlsyre i nedbøren), *vækstlagets ødelæggelse* (af bl.a. tungmetaller) og *grundvandsforureningen*.

På denne måde må vi opfatte energianvendelsen som den regulerende mekanisme, der forrykker balancen mellem de rene og de forurenede naturressourcer. Når vi anvender fossile brændsler til fremstilling af elektricitet, resulterer denne energiforædling i, at balancen forrykkes mod øget forurening, mens forureningsbekæmpelse med denne elektricitet nødvendigvis vil resultere i forarmning af de geologiske energiressourcer.

Anderledes forholder det sig med anvendelsen af den kosmiske energi (lys) eller andre energiformer, som er direkte resultater af den kosmiske energi (vind, bølgeslag, tidevand, vandkraft). Disse energiformer er det muligt at anvende uden at forarme naturressourcerne, fordi de materielle ressourcer praktisk taget ikke sammenblandes ved forædling af kosmisk energi. Derfor kan disse energiformer som de eneste anvendes uden at forrykke balancen mod øget forurening.

Anvendelsen af de geologiske og kosmiske

energiformer svarer idag til anvendelse af fossile brændsler og i langt mindre skala til anvendelse af vedvarende energi. Derfor vil forædlingen af energi (f.eks. elektricitetsfremstilling) uundgåeligt medføre forurening eller forarmning af naturressourcerne. Hvis man derimod anvender elektriciteten til forureningsbekæmpelse, vil man opnå en miljøforbedring, som »betales« med en forarmning af energiformen (f.eks. elektricitet til varme og støj).

Men vi kan ikke anvende den nuværende mængde af forædlet energi til både at forbedre vor materielle levestandard og til forureningsbekæmpelse. Det nødvendige overskud af forædlet energi er ikke til stede og kan næppe skaffes fra de fossile brændsler. Da langt de fleste mennesker ønsker både at forbedre den materielle levestandard og at forbedre miljøet bl.a. ved forureningsbekæmpelse, er det indlysende, at vi må tilvejebringe mere energi. Dette nødvendige overskud af forædlet energi må derfor skaffes fra hidtil ubenyttede energikilder. Disse energikilder må desuden have den egenskab – til forskel fra de fossile brændsler – at »oprydningen« efter forædlingen ikke er mere energikrævende, end at den kan dækkes af det tilvejebragte energioverskud.

Om atomkraften eller den vedvarende energi kan tænkes at opfylde disse betingelser, må først og fremmest bero på en afklaring af problemerne med deponering af radioaktivt affald og på en vurdering af, hvor stort et energioverskud den vedvarende energi kan levere. Disse spørgsmål må formodes at blive helt centrale i fremtidens energi- og miljødebat.

Energi- og miljøregnskabet

Spørgsmålet er derfor, hvordan vi bedst muligt anvender naturressourcerne med mindst mulig forarmning til følge. Eller sagt på en anden måde – spørgsmålet er, hvordan vi forbedrer levevilkår og livskvaliteten idag uden at ødelægge mulighederne for fremtidige generationer.

Derfor må vi tilrettelægge energianvendelsen således, at der er et overskud af forædlet energi, *efter* at vi har bekæmpet forureningen. Dette overskud af forædlet energi kan i det lange løb kun skaffes fra den kosmiske (eller vedvarende) energi, hvis vi slår ind på disse energiformer, inden forbrændingen af fossile brændsler har ødelagt sfærens evne til at regenerere eller læge sporene efter vore dages energianvendelse.

At denne regenererende evne er delvis ødelagt betvivles kun af få. Det er derfor en almindelig opfattelse, at fissions- og fusionsenergien (kernespaltning og kernesammensmeltning) er de eneste energiformer, som kan give det overskud af forædlet energi, der skal til for at sætte en stopper for forureningen og forarmningen af energiressourcerne. Overfor dette synspunkt står den ligeså almindelige opfattelse, at et eventuelt overskud af forædlet energi ikke vil blive anvendt til forureningsbekæmpelse, men til yderligere forarmning af naturressourcerne. Tilbage står derfor det syns-

punkt, at vi må regulere forarmningen af naturressourcerne og forureningen på de områder, hvor det koster mindst energi. At dette bedst kan ske ved en indsats på kontaktfladerne mellem de grundlæggende naturressourcer luft, vand og jord, betyder at håndteringen og forvaltningen af luftforurening og nedbør, arealer og grundvand bliver centrale for fremtidens miljøforvaltning.

På grund af koblingen mellem energiforædling og naturressourcernes forarmning må vi derfor i fremtidens teknologivurdering være særlig opmærksomme på, om der er balance i ressource-regnskabet. Dette kan helt enkelt udtrykkes på den måde, at vi ved enhver energiforædling må vurdere, om der efter »oprydningen« efter forædlingsprocessen er et energioverskud til rådighed for en forbedring af levestandarden. Ved elektricitetsfremstillingen betyder dette, at vi må gøre op, om der ved de energiformer, vi anvender idag, vil være noget overskud, når vi har bekæmpet de skadelige virkninger af den forurening, som elektricitetsfremstillingen medfører.

Såfremt dette overskud ikke findes, har energifremstillingen og -forædlingen kun et kortsigtet formål og medfører langsigtede skadevirkninger på miljøet, forarmning af naturressourcerne og egentlig råstofmangel.





Indeks

- Affald*, 6, 19, 57
Aflastningsboring, 19
Aflejringsbassin, 35
Aflejringsmiljø, 32
Aldersbestemmelse, 28-32
Ammonit, 29
Amorft kerogen, 67
Anhydrit, 57
Artesisk vand, 62
Askelag, 44
Atmosfæren, 35, 19
Atomaffald, 77
Atomkraft, 77, 83
- Bakterie*, 29
Balanceret boring, 25
Biostratigrafi, 29
Bit, 19-21
Blæksprutte, 29
Blåler, 64
Blok, 22
Blomsterstøv, 30, 40
Blotning, 9
Blow out, 19
Boredæk, 22
Boreddybde, 22
Borehastighed, 22
Borehulslogging, 27
Borehulsmålinger, 26
Borekerne, 26
Borekrone, 25, 26
Boremudder, 25-26
Boreplatform, 19
Borerør, 21-24
Borerig, 22
Boreslange, 23
Borestamme, 22-24
Boretårn, 19
Boretryk, 22, 24
Boringer, 18-28
Brint, 67
Brunkul, 66
Bryozokalk, 45-47
Brønd, 20
Bundmoræne, 39
Byggeråstoffer, 6
- Caliper*, 28
Cap-rock, 57
Cement, 24, 33, 64
Cementering, 24
Cementfremstilling, 64
Cementprop, 24
Centralgraven, 35-36
Chockbølger, 11
Conductor-pipe, 23
Cuttings, 23, 25
- Dækfrøede planter*, 38
Danien, 47
Danskekalken, 47
Darwin, 29
Den fennoskandiske Randzone, 36
Den geotermiske gradient, 38
Deponeringsboring, 19
Det aktualistiske princip, 38
Det dansk-norske Bassin, 35
Det dansk-tyske Bassin, 35
Diagenese, 33, 38
Diagenetiske fælder, 73
Diamant, 32
Diapir, 35
Dinoflagellat, 29-30
Dolomit, 51
Domefælder, 71-74
DONG A/S, 75
Drikkevand, 59
Drikkevandsreservoir, 59-63
Dybhulsløsning, 77
- Eksplorationsboring*, 19
Elektromagnetiske undersøgelser, 17
Energiråstoffer, 7, 59, 67
Energireserver, 6
Erosion, 35
- Farve*, 32
Fedsten, 33
Feldspat, 15
Filterkage, 28
Filterrør, 60
Fiske-operation, 26
Flage, 42
- Flint*, 63
Folder, 54
Foraminifer, 30
Forerør, 24
Forkastning, 53
Forkastningsfælde, 72
Forkastningszone, 35-37
Forskydningsspænding, 53
Forstening, 29
Fossil, 29, 30
Fotosyntese, 32
Fremstillingsråstoffer, 7, 63-66
Fugle, 38
- Gas*, 67-74
Geoelektriske undersøgelser, 15-17
Geofon, 15
Geofysiker, 13-15
Geofysiske metoder, 11
Geolog, 9, 13, 15
Geologisk barriere, 77
Geostatisk tryk, 19-20
Geotekniske boringer, 19
Geotermisk energi, 75
Gips, 57
Gipshat, 57
Glans, 32
Glaukonit, 44
Gletscher, 39-42
Glimmer, 44
Grønsandsten, 44
Granit, 12, 52
Gravsænkning, 36
Grundfjeld, 52
Grundvandssænkning, 61
Grundvandsspejl, 61
Grundvandsstand, 61
Grus, 63-64
Gruskastning, 60
Gulbrændende ler, 64
- Hævningssområde*, 54
Hårdhed, 32
Halveringstid, 31
Havaflejring, 29-30
Havstigning, 40

- Historisk geologi, 74
 Horst, 55
 Hose, 23
 Hydrosfæren, 35, 79
- Ilt, 67
 Inddampningscyklus, 51
 Indkulning, 69
 Indsprøjtningsboring, 19
 Injiceringsboring, 19
 Isotop, 31
- Jordens kappe, 35
 Jordens magnetfelt, 12
 Jordens skorpe, 9
 Jordolie, 67
 Jordoverfladens udstråling, 11
 Jordrytelse, 13
 Jura, 47-49
- Kæmpeøgle, 29, 45
 Kæmpebregner, 29, 45
 Kænozoikum, 38
 Kærnetagning, 26
 Køkkensalt, 65
 Kalisalt, 51
 Kalk, 7, 15, 45-47, 64-65
 Kalkspat, 15
 Kalksten, 45
 Kaolin, 63
 Katagenese, 67
 Kelly, 22
 Kelly-bushing, 22
 Kelly-bøsning, 22
 Kernerør, 26
 Kernetagning, 26
 Keuper, 55
 Kildebjergart, 70
 Klima, 40
 Koglepalme, 29
 Kogsalt, 65
 Kokkoliter, 45
 Konsistens, 22
 Kontinentale aflejringer, 30
 Kridt, 45-47
 Kridttiden, 45-47
 Krystalform, 32
 Krystalstruktur, 32
 Kul, 7, 67
 Kulbrinter, 67
 Kulstøv, 69
 Kulstof, 31, 69
 Kulstof-14 dateringsmetoden, 34
 Kultveilte, 31, 69
 Kvartærtiden, 39-42
 Kvarts, 15
 Kvartssand, 44
- Lag-time, 23
 Landhævning, 40
- Laramide fase, 54
 Lava, 31
 Leca, 64
 Ler, 7, 39, 64
 Lerminerale, 15
 Lersten, 30
 Log, 27-28
 Logging, 27-28
- Magnetit, 12
 Mergel, 44
 Mesozoikum, 45
 Metalmalm, 6
 Metamorfose, 33, 52
 Middelmodne aflejringer, 70
 Mikrofossil, 29-30
 Mineral, 7, 32
 Modenhed, 69-70
 Moderbjergart, 70
 Moler, 44
 Moræneler, 39
 Morssalthorsten, 77
 Mosdyr, 47
 Mudder, 25
 Mudderbassin, 22
 Mudderkabine, 22
 Mudderkage, 26
 Mudderpumpe, 22
 Mudderstrøm, 39
 Muddertab, 26
 Musling, 29
- Nåletræer, 38
 Nedisning, 40-44
 Niveauforandring, 40-41
 Normalforkastning, 53
- Olie, 67-74
 Oliebaseret mudder, 25
 Olie dannelse, 36, 67-69
 Oliefælde, 70-74
 Omlejrrede lag, 47
 Opskydning, 35
 Overbalanceret boring, 25
 Overfladevand, 59
 Overhæng, 57
- Padderokketræer, 45
 Pattedyr, 38
 Perm, 51, 55
 Permeabilitet, 19, 27, 60
 Petroleum, 67
 Plankton, 29-30, 67, 69
 Planlægning, 59
 Plastisk ler, 44
 Pollen, 30, 40, 67, 69
 Porøsitet, 28, 45
 Porevandstryk, 62
 Prøvepumpning, 60-61
- Primærproduktion, 69
 Produktionsboring, 19
- Rødbrændende ler, 64
 Rødler, 64
 Røntgen, 32
 Råolie, 67
 Radioaktive aldersbestemmelsesmetoder, 30-32
 Randsænke, 55
 Reservoirbjergart, 71-74
 Reversforkastning, 53
 Ringkøbing-Fyn Ryggen, 35, 37
 Round-trip, 23-24
 Rullemejsel, 20-24
- Sænkningstragt, 61
 Salt, 51, 55-57, 62, 77
 Salt grundvand, 62
 Salthorst, 55-57, 77
 Saltlag, 51
 Saltpude, 55-57
 Saltstruktur, 55-57
 Saltvandsindtrængning, 62
 Sand, 63-64
 Sandspand, 20
 Sandsten, 31
 Sapropel, 67
 Sedimentation, 35
 Sedimentationscyklus, 35
 Sedimentstruktur, 32
 Segl, 70
 Seismiske undersøgelser, 13-15
 Sen-kimmeriske fase, 54
 Senmodne aflejringer, 70
 Shale-shaker, 22
 Shothole, 15
 Sideværtsforkastning, 53
 Skakt-mineløsning, 77
 Skrivekridt, 45-46
 Slambassin, 22
 Smeltevandssand, 39
 Solution mining, 65
 Spaltelighed, 32
 Spore, 30
 Sporfossil, 32
 Sprækker, 27, 57, 61
 Sten, 63-64
 Stenalderen, 40
 Stenalderhavet, 39-40
 Stenkærne, 30
 Stenolie, 67
 Stensalt, 51
 Stratigrafi, 28
 Stratigrafiske fælder, 73
 Stregfarve, 32
 Styrerør, 23
- Tørv, 30
 Talje, 22

Talk, 33
Teglværker, 64
Tertiærtiden, 43-44
Test, 27
Tidligmodne aflejringer, 70
Timing, 74
Transport, 35
Trias, 50
Tricone bit, 21
Trilobit, 29
Trykluft, 76
Tyndslib, 32

Tyngdekraften, 11-12, 35
Ulvefodstræer, 45
Umodne aflejringer, 70
Underbalanceret boring, 25
Undersøgelsesboring, 19
Væsketryk, 19, 20
Vand, 7, 59-63
Vandårer, 59
Vandbaseret mudder, 25
Vandboring, 60-61

Vandforsyningsboring, 60-61
Vandindvinding, 60-61
Vandstandsende lag, 59
Varmeledningsevne, 38
Varmtvandslagring, 76
Vibrationssigte, 22, 23
Videnskabelig boring, 19
Vippeakse, 41
Viskositet, 24
Vulkansk aske, 44
Zechstein, 51, 55

Billedkilder

Torkild Balslev: s. 65.
Tove Birkelund: s. 29 m.
Hans Christian Steen Hansen: s. 39.
Kirsten Hansen: s. 31 t.h.
J. Hevelius (Selenographia, 1647): s. 79.
F. Lyngsie Jacobsen: s. 56.
Niels Oluf Jørgensen: s. 45 f.o.
Kirsten Klein: s. 41, 44, 58.
Niels W. Knudsen/Biofoto: s. 82.
Bjarne Madsen: s. 62.
Hans Meinecke/Biofoto: s. 52.
Olaf Michelsen m.fl.: s. 48 f.o., 75.
A. P. Møller: s. 18, 21, 23, 25 f.o.
Jens Jørgen Møller og Jørgen Thulstrup: s. 14.
NASA: s. 83.
Naturgasselskabernes Billedarkiv: s. 76.
Klavs Nielsen/Biofoto: s. 78, 84.
Erik Nygaard: s. 46 f.o., 46 f.n.
H. Wienberg Rasmussen: s. 42.
Julie Rønnow: s. 8.
Henrik Tauber: s. 31 t.v.
Erik Thomsen: s. 45 f.n.
Svend Tougaard: s. 34, 43.
Bert Wiklund/Biofoto: s. 66

Kursiverede sidehenvisninger: uændret gengivelse.