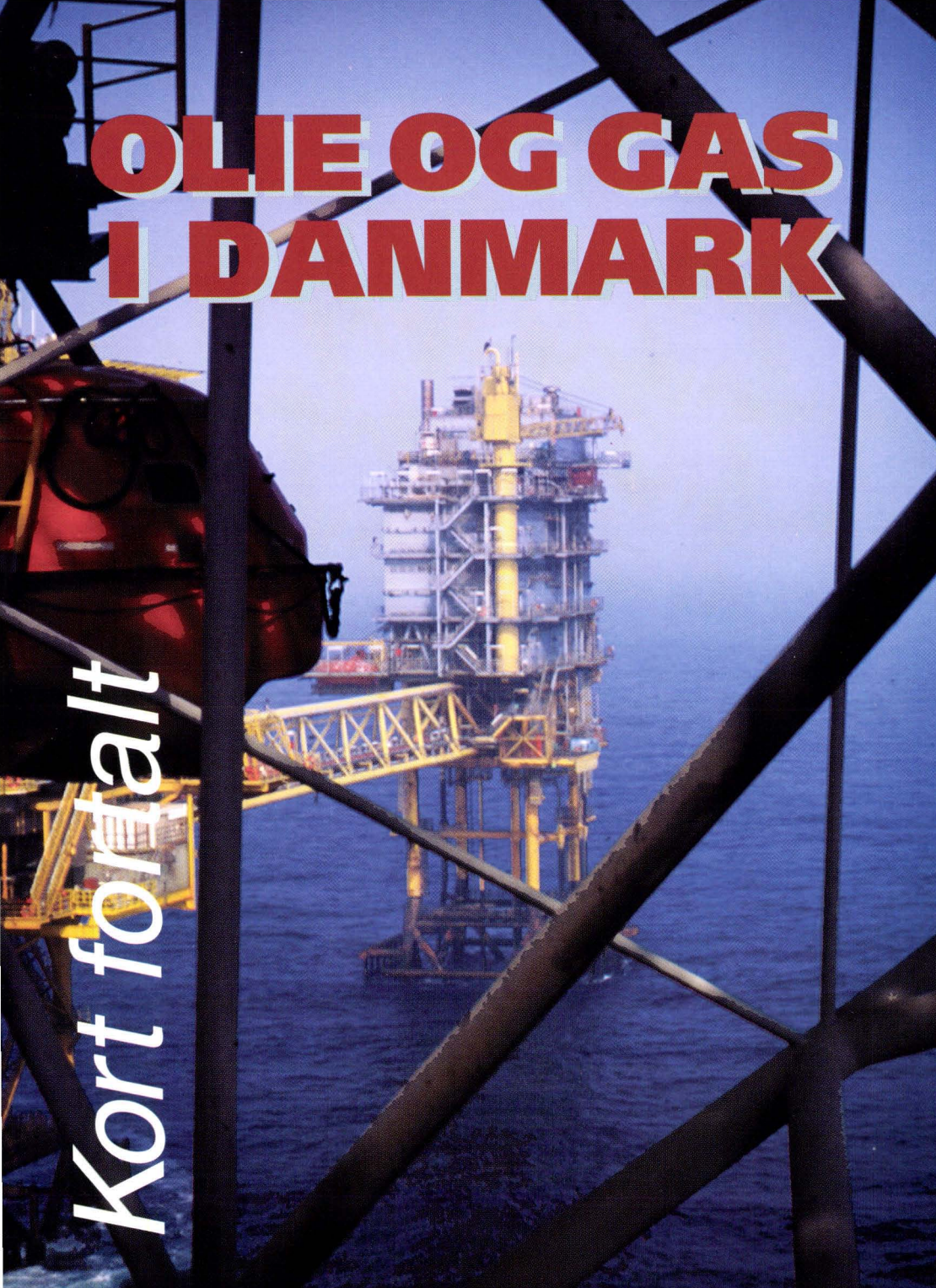


# OLIE OG GAS I DANMARK

Kort fortalt



# **OLIE OG GAS I DANMARK**

**- kort fortalt**

**Ib Marcussen og Stefan Hultberg**



**Danmarks Geologiske Undersøgelse  
Miljø- og Energiministeriet**

Udgivet af Danmarks Geologiske Undersøgelse  
Miljø- og Energiministeriet 1995.

*Tidligere udkommet i serien:*

Danmarks Jordarter - Kort fortalt 1.

Grundvand og drikkevand i Danmark - Kort fortalt 2.

Danske forsteninger - Kort fortalt 3.

2

Billedet på omslaget viser en boreplatform på havet.

Store forekomster af gas og olie gemmer sig i tykke sedimentaflejringer under bunden af den midterste nordsydgående del af Nordsøen. Vanddybden og de meget vekslende vejrforhold i Nordsøen gør indvindingsforholdene vanskelige og stiller store krav til udstyret.

ISBN: 87-89813-11-1

ISSN: 0905-894X

Kort fortalt, nr. 4.

Oplag: 3000

Tryk: From & Co

Repro og sats: DGU

Lay-out: Henrik Klinge Pedersen

Tegning: Henrik Klinge Pedersen, hvis ikke andet er anført i illustrationskilder.

Tekst: Ib Marcussen og Stefan Hultberg

Foto: Peter Moors, hvis ikke andet er anført i illustrationskilder.

Dato: 01.07.1995

Ib Marcussen og Stefan Hultberg

Redaktion: Knud Binzer

© Danmarks Geologiske Undersøgelse

Thoravej 8, 2400 København NV

Telefon 31 10 66 00 Telefax 31 19 68 68

I kommission hos:

Geografforlaget Aps

Ekspedition: Fruerhøjvej 43, 5464 Brenderup

Telefon: 64 44 16 83 Telefax: 64 44 16 97

# INDHOLD

<b>Forord</b>	4	Resultaterne	28
<b>Indledning</b>	5	Seismiske kort	29
<b>Nordsøens geologiske historie</b>	9	Boringer	30
De dybeste og ældste dannelser	9	Boreteknikken	31
Bunden går ud af Nordsøen	9	Prøver	33
Havet trænger ind	10	Borehulslogging	35
Hvor kommer olien og		Hvordan "ser" hullet ud?	35
gassen ind i historien?	11	Målingerne i borehullet	35
<b>Kulstoffets historie</b>	13	<b>Den geologiske historie</b>	
Kulstoffet i naturen	13	<b>stykkes sammen</b>	37
Kulstoffets kredsløb	14	Lagens aldersforhold, stratigrafi	38
Det grønne kredsløb	14	Det litostratigrafiske profil	38
Det hvide kredsløb	16	Det biostratigrafiske profil	38
<b>Olie- og gasdannelsen</b>	17	Det kronostratigrafiske profil	38
Sedimentationen i havet	17	Aflejringsmiljøerne	38
Sedimenterne begravnes	18	Hvordan ligger lagene?	39
De kemiske omdannelser	18	<b>Reservoirkortlægning</b>	41
Olie eller gas?	19	Reservoirets form og størrelse	41
Olien vandrer	20	Fysiske forhold i reservoiret	41
Olien i stenen	23	<b>Olie- og gasforekomster i Danmark</b>	44
Den hvide og den brune kalk	24	Indvindingen	44
<b>Hvordan finder man olie og gas?</b>	26	Samfundet og olie-gas forekomsterne	45
Seismiske undersøgelser	27	<b>Olie- og gasfelter i Nordsøen</b>	46
Naturlige og kunstige jordskælv	27	<b>Illustrationskilder</b>	48
Udførelsen af seismiske		<b>Benyttet litteratur</b>	48
undersøgelser	27	<b>Litteratur til videre læsning</b>	48

# FORORD

4

Som olie- og gasproducerende nation har Danmark ikke nogen lang tradition. På 20 år er vi gået fra en situation, hvor så godt som alle energiråstoffer blev importeret, til en situation, hvor vi er selvforsynende med hensyn til olie og gas - ja endog eksporterende af naturgas. Den intensive efterforskning har bragt nye metoder og tankegange til landet, og har i væsentlig grad forøget vor viden om undergrundens opbygning og om den geologiske udvikling. Det skyldes i meget høj grad et frugtbart samarbejde mellem de kommercielle efterforskningsselskaber og DGU. En af frugterne af dette samarbejde har været, at danske geologer har fået mulighed for, gennem studieophold hos firmaerne, at blive bekendt med og trænet i de nyeste geologiske og geofysiske metoder.

Det kan være vanskeligt at danne sig et overblik over emnet olie og naturgas. Fagligt dækkes det af en række specialer inden for geologi, geofysik, kemi, matematik og ingeniørvidenskab og teknisk kunnen. Da der selvsagt er store erhvervsinteresser knyttet til energiråstofferne, er området omgærdet af en høj grad af fortrolighed.

Det er hensigten med denne bog at beskrive det geologiske billede, der i dag tegner sig af Danmarks olie-gasfelter i Nordsøen, samt at give en oversigt over den viden, vi har om dannelsen af olie og gas, og de undersøgelsesmetoder, der benyttes for at finde forekomsterne. Bogens rammer giver kun mulighed for kortfattet at beskrive nogle facetter af emnerne, men vi håber, at læseren vil kunne finde henvisninger i litteraturlisten til egne fortsatte studier.

Ved udarbejdelsen af bogen har flere af vore kolleger været behjælpelige med råd og vejledning, og det har vi været taknemmelige for. Arne Dinesen, DGU og Flemming Ole Rasmussen, Energistyrelsen har gennemlæst manuskriptet og har på meget værdifuld måde forbedret det. De bringes vores varmeste tak.

Den grafiske tilrettelæggelse af bogen er foretaget af Henrik Klinge Pedersen, og vi takker for et inspirerende samarbejde.

Ib Marcussen og Stefan Hultberg

Danmarks Geologiske Undersøgelse, 1995.

# INDLEDNING

Da der i 1920'erne blev fundet olie i undergrunden i Nordtyskland, opstod der nord for grænsen tanker om, at der også kunne findes olie her. I Nordtyskland var olieforekomsterne fundet i sedimenter, der ligger udenom salthorste, og derfor mente man, at hvis man kunne påvise salt i undergrunden, var der gode chancer for, at der også var olie.

Kendskabet til Danmarks dybere undergrund var meget begrænset på dette tidspunkt. Geologerne kendte kun de dannelser, der kan ses i klinter, eller som man nåede ned til ved de normalt ikke særlig dybe vandforsyningsboringer. Hvis vi undtager Bornholm, var aflejringerne af skrivekridt de ældste lag, der var kendt. Hvad der gemte sig under kridtet vidste man ikke. Dog tydede forekomster af saltvand i en del vandforsyningsboringer rundt om i landet på, at der kunne være saltaflejringer i undergrunden.

I årene 1930 - 38 blev der udført en række geofysiske målinger i Danmark. Det var en helt ny teknik, der her blev taget i anvendelse for at få noget at vide om undergrunden. Nordvest for Kolding fandt geologerne to områder, hvor den lodrette magnetiske kraft var større end sædvanligt. Det blev tolket på den måde, at der kom grundfjeld tættere på jordoverfladen end andre steder. Områderne ligger nord for henholdsvis Harte og Vejen. I disse områder ville det være lettere og dermed billigere at bore ned for at få rede på hvilke aflejringer der gemmer sig under kridtet.

Rigsdagen vedtog i 1932 Undergrundloven. Loven, der er blevet ændret flere gange, er stadig den lov, der regulerer efterforskningen og indvindingen af råstoffer i Danmarks undergrund. Grundprincippet i loven er, at råstoffer, der havde været udnyttet før d.v.s. grus, sand, ler, kalk med flere, kunne indvindes som hidtil, medens alle "nye" råstoffer i undergrunden tilhørte staten. Regeringen kunne give tilladelser (koncessioner) til efterforskning og indvinding af disse råstoffer.

I 1935 fik amerikaneren Fred Ravling en tilladelse til i tre år at søge efter en række råstoffer herunder salt, olie og gas i undergrunden. Samme år blev en boring ved Harte nogle kilometer vest for Kolding påbegyndt. Der blev udført to boringer ved Harte, men der blev ikke fundet olie. Derimod fremviste koncessionshaveren en borekerne af stensalt, som han hævdede var fra boringen. Ravling mente, at fundet af salt berettigede ham eller hans firma, Danish American Prospecting Company (Dapco) til at få eneretskoncession for indvinding af olie, gas, salt og andre råstoffer i undergrunden i 50 år. Det var regeringen ikke enig med ham i, men efter en dom ved Østre Landsret og forhandlinger, blev den 50-årige koncession dog givet.

I 1938 solgte Ravling alle sine aktier i Dapco til det amerikanske firma Gulf Refining Company, der dermed fik koncessionen.

I 1942 kom der oplysninger frem, som antydede at saltkernen, der blev vist i 1936,



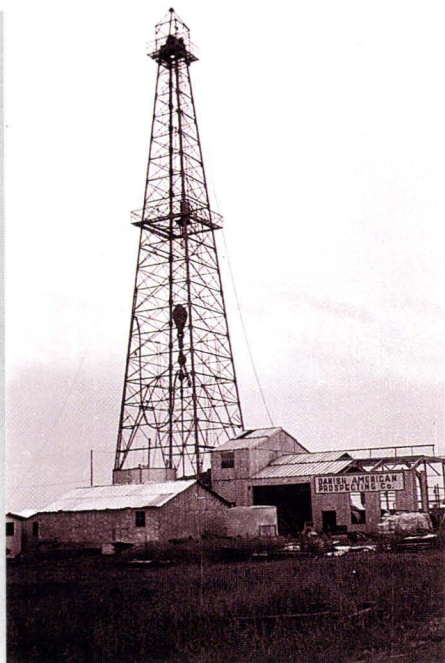
*Fig. 1. I perioden 1935 - 37 blev der ved Harte vest for Kolding udført 2 efterforskningsboringer. Det var de første forsøg på at finde olie i Danmark. Den første boring nåede en dybde på 794 meter og sluttede i kridt aflejringer. Den anden boring nåede 1099 meter, og kom derved gennem kridtet og ned i lerede aflejringer fra trias perioden. Ved en boring anvendes meget tungt udstyr, det er derfor ikke usædvanligt, at der opstår uheld under arbejdet. Også under boringerne ved Harte skete uheld. På billedet ses at borestammen af stål er revet fra hinanden.*

ikke stammede fra boringen ved Harte. Efter afslutningen af den Anden Verdenskrig blev der indledt en undersøgelse af saltfundet, og undersøgelseskommissionen nåede til det resultat, at saltprøven stammede fra en tysk saltmine, og at den var indkøbt hos en materialhandler i Odense et par dage før, den blev "fundet" i en boreprøve ved Harte. Det blev endvidere vurderet, at Gulf havde handlet i god tro, og den påviste svindel kom ikke firmaet til skade. Efter forhandlinger i 1950 fik Dapco en ny koncession på 50 år. (Fig. 1 og 2).

Dapco udførte før Anden Verdenskrig, men navnlig i årene efter, et meget stort geofysisk undersøgelsesprogram. For at supplere den viden om undergrunden, disse undersøgelser havde givet, udførte man i årene 1946-54 159 dybere boringer. Mange af boringerne havde til formål at fremskaffe oplysninger om dybden til laggrænser og prøver af bjergarterne i undergrunden. De mange undersøgelser gav geologerne indblik i en geologisk Danmarkshistorie, som hidtil havde været fuldstændig ukendt. I 1957 opgav Gulf Refining Company og solgte Dapco til Standard Oil Company of New Jersey (Esso). Undersøgelserne fortsatte under den ny ejer, men der blev stadig ikke gjort fund af olie og gas i sådanne mængder, at det kunne udnyttes.

Efterhånden svandt forhåbningerne om en olieproduktion i Danmark ind, og i 1959 opgav Dapco hele projektet.

Samme år viste det tysk olieselskab, Deutsche Erdöl Aktiengesellschaft, sin interesse for at få en koncession i Danmark, for at kunne videreføre undersøgelserne i Slesvig-Holsten nordpå i Sønderjylland.



*Fig. 2. Boretårn. Ved Abild nord for Tønder påbegyndte Dapco i juli 1952 den anden boring i området. Boringen nåede igennem saltaflejringer, og den sluttede i en dybde af 3196 meter. I begge borerer ved Tønder blev der fundet spor af gas og olie.*

områder blev fortsat, uden at der blev fundet forekomster af betydning, og interessen samlede sig i højere og højere grad om Nordsøen.

I 1959 blev der fundet en meget stor forekomst af naturgas ved Groeningen i Holland. Det skabte interesse for at undersøge tilgrænsende dele af Nordsøen. DUC påbegyndte efterforskningen i 1966.

På baggrund af henvendelsen fra tysk side henstillede skibsreder A.P. Møller til regeringen, at den, inden en koncession blev givet til et udenlandsk firma, burde undersøge mulighederne for, hvorvidt danske selskaber kunne påtage sig opgaven. Det førte til, at A.P. Møller og nogle af hans rederier i 1962 fik en koncession på 50 år til efterforskning og indvinding af kulbrinter, svovl og ædle luftarter over alt i Danmark. A. P. Møller oprettede Dansk Boreselskab A/S, og overdrog sin del af koncessionen til dette firma. I 1963 blev bevillingen udvidet til også at omfatte den danske del af kontinentalsoklen, det vil sige Nordsøen og indre danske farvande.

Dansk Boreselskab gik, allerede fra starten, i samarbejde med nogle af de store internationale olieselskaber. Dette samarbejde skete i firmaet Dansk Undergrunds Consortium, DUC, og de selskaber der har deltaget er Gulf Oil Co. of Denmark A/S, Chevron Petroleum Co. of Denmark, Shell Olieudvinding A/S og Texaco Denmark Inc. Af disse firmaer er de to sidstnævnte stadig deltagere.

Efterforskningen på de danske land-



Det var risikofyldt at arbejde på Nordsøen. Olieselskaberne havde dengang en begrænset erfaring i at bore på de vanddybder, som forekommer her, men det var navnlig de meget ustabile vejrforhold, som er præget af hyppige storme, der i begyndelsen gav anledning til forsigtighed. Men det har jo vist sig, at det var en udbytterig satsning. Den første boring i den danske del af Nordsøen blev udført i 1966, og i en dybde af 1700 meter under havbunden fandt man i kalklagene et olie- og gasreservoir. Dette reservoir blev nogle år efter genstand for indvinding, og blev kaldt Kraka feltet.

Med det gode fund i første forsøg var der skabt grundlag for yderligere efterforskning, og de følgende år blev der påvist flere forekomster af olie og gas.

I 1971 blev olie- og gasforekomsterne i Danfeltet påvist, og den 4. juli 1972 begyndte produktionen officielt fra dette felt. I årene der fulgte, blev flere felter fundet og sat i produktion.

At efterforskningsinteressen og -aktiviteten har været stor, kan blandt andet ses i DGU's arkiver, idet et vilkår i koncessionerne til efterforskning er, at alle undersøgelsesresultater videregives til den danske stat. Idag findes der i DGU's arkiver oplysninger fra 562 borerier.

Også i den britiske, norske og hollandske del af Nordsøen havde efterforskningselskaberne heldet med sig, og Nordsøen er idag et af de store olie- og gasproducerende områder i verden.

I den oprindelige aftale fra 1963 mellem A.P. Møller og staten havde firmaet alle rettigheder i hele den danske del af Nordsøen og det danske landområde i 50 år, men ved forhandlinger i 1976 og 1981 blev aftalen ændret således, at området gradvis skulle gives tilbage til staten inden 1986. Dog kunne DUC beholde rettighederne på arealer, der indeholder strukturer, hvor produktionen var sat igang eller planlagt igangsat indenfor en vis tidsfrist. Samt på et sammenhængende område i den syd-vestlige, centrale del af Nordsøen. Disse sidstnævnte områder gives også gradvis tilbage til staten, og de sidste skal afleveres i 2012.

Den danske stat udliciterer nu efterforskningskoncessioner for begrænsede tidsperioder til firmaer i delområder i såvel Nordsøen som på det danske landområde.

# NORDSØENS GEOLOGISKE HISTORIE

Danmark henter al sin olie og gas fra Nordsøens undergrund. Derfor skal der i dette kapitel gives en oversigt over dette havområdes geologiske udvikling. (Fig. 3).

De mange undersøgelser, der er gennemført for at finde olie og gas i undergrunden, har også givet et indblik i Danmarks og Nordsøens geologiske opbygning og udvikling, som det ellers ikke ville have været muligt at få. Indtil olieeffterforskningen kom igang, kunne man kun samle oplysninger i daglokaliteter, for eksempel i åbne profiler i kystkliner. Boringer havde man kun få af, og i havområderne var det slet ikke muligt at skaffe sig viden.

Nordsøens geologi var derfor ukendt, men ved den omfattende aktivitet i de seneste 20 år, er det idag muligt at give et billede af dette havområdes begivenhedsrige geologiske historie.

## De dybeste og ældste dannelser

I den centrale del af Nordsøen har man dybest fundet bjergarter af gnejs- og granittypen. De er dannet ved den kaledoniske bjergkædefoldning, der indtraf i silur perioden. Denne bjergkædefoldning var resultatet af, at det canadisk-amerikanske og det europæiske grundfjeldsskjold blev trykket mod hinanden. De bjerge, der blev dannet, findes idag i Norge, Skotland (tidligere navn Kaledonien), England, Østgrønland og Østcanada.

I den efterfølgende devon periode skete der en kraftig nedbrydning (erosion) af de nydannede bjerge. Der blev aflejret tykke lag af røde sandsten både i den vestlige del af Nordsøen og i England (i Devonshire). De røde sandsten kaldes Old Red Sandstone, og de vidner om et tørt ørkenklima, hvor der lejlighedsvis var vandrige floder, og hvor vinden blæste rundt med sandet.

I karbon tiden var der ikke noget hav,

hvor Nordsøen nu ligger. Aflejringerne viser, at området var land med floder og søer. Klimaet var varmt og fugtigt som i tropiske egne idag. I England voksede store skove af bregnetræer. Det er dem, der er blevet til de tykke aflejringer af kul.

I de efterfølgende perioder, perm og trias, var klimaet stadig varmt, men det blev igen meget tørt. Ørknerne bredte sig ud over området, og der blev aflejret røde sandsten. Men der var et hav i ørkenområdet. Dette hav havde kun en snæver passage til verdenshavet. Antagelig var dette stræde i den nordlige del. Fordampningen fra havet var så stor, at der skete udfældning af salt. Saltet blev til de tykke aflejringer af stensalt, vi finder i Nordsøen, Nordtyskland og Nordjylland.

## Bunden går ud af Nordsøen

Trias periodens aflejringer er hovedsagelig kontinentale, og stærkt præget af det stadigt herskende ørkenklima. Det

Alder i mill. år	Periode	Klimaforhold	Aflejringsmiljø	Aflejringsstype
0	KVARTÆR	Tempereret-subarktisk	Hav	Ler og sand
3				
65	TERTIÆR	Tempereret	Hav	Sand, ler og Kalk
135	KRIDT	Nordligt subtropisk	Hav	Kalk, sand og ler
205	JURA	Subtropisk	Hav	Ler og sand
250	TRIAS	Subtropisk tørt	Flod, sø og indhav	Sand, ler, kalk og salt
290	PERM	Subtropisk tørt	Flod, vind og indhav	Salt, kalk og sand
360	KARBON	Tropisk	Søer og floder	Sand og kul
400	DEVON	Tropisk	Floder, vind	Sand
> 400	SILUR	Kaledonisk bjergkædefolding		

Fig.3. Forenklet oversigt over Nordsøens geologiske udvikling.

er aflejringer af sandsten, lerskifre, kalksten og stensalt.

Indtil trias perioden har det amerikanske og det europæiske grundfjeldsskjold hængt sammen. Ligeledes var Afrika og Sydamerika forbundet uden et mellemliggende hav. Der var intet Atlanterhav. Men i trias starter en ny udvikling. Kontinenterne begynder at glide fra hinanden. Først i det sydlige område mellem Afrika og Sydamerika. Senere, i kridt og tertiær tiden, sker det også i det nordatlantiske område. Ved denne proces opstår der store spændinger i jordskorpen. I Nordsøen udløses nogle af spændingerne ved, at området gennemsættes af forkastninger og udvider sig til siderne. Bunden synker ind, og der dannes en række bassiner. Indsynkningen var særlig stor i to områder i den midterste del af Nordsøen. Her dannedes Centralgraven og Vikinggraven. (Fig. 4).

## Havet trænger ind

I jura perioden fortsætter og forstærkes forkastningsaktiviteten, og havet trænger ind over området. Der aflejres tykke lag af ler og sand. Leret er meget rigt på organisk materiale. På grund af et lavt iltindhold ved havbunden bevares det organiske materiale, og det bliver senere udgangsmateriale for dannelsen af olie og gas.

Over ler- og sandaflejringerne aflejres i den sene del af kridtperioden kalk og kridt. Aflejringer som også kendes fra klinterne på Møn og Stevns. I Nordsøen bliver kridtet senere reservoirbjergart for olien og gassen.

I de efterfølgende perioder, tertiær og kvartær, aflejres tykke lag af ler og sand i Nordsøen; navnlig i Centralgraven,

Fig. 4. Kortet viser de store strukturer i undergrunden under Nordsøen. Forkastningszoner adskiller områder, der er hævet fra områder, der er sunket. På grund af senere erosion og pålejring kan man ikke se højdeforskelle mellem blokkene på den nuværende havbund. De gule streger refererer til profilerne på fig. 5 side 12.



hvor tykkelsen af disse aflejringer kan være 3000 meter.

### Hvor kommer olien og gassen ind i historien ?

Dannelsen og forekomsten af olie og gas i Nordsøens aflejringer er betinget af den geologiske udvikling. Dannelsen

er foregået i de lerede havaflejringer fra den øvre del af jura perioden. Fra leret er olien og gassen vandret ud i de omgivende sedimenter. Der er den blevet fanget i fælder i sand- og kalkaflejringer. Forkastningerne af blokkene i jordskorpen er sket på det rigtige tidspunkt, for at fange den vandrende olie og gas.

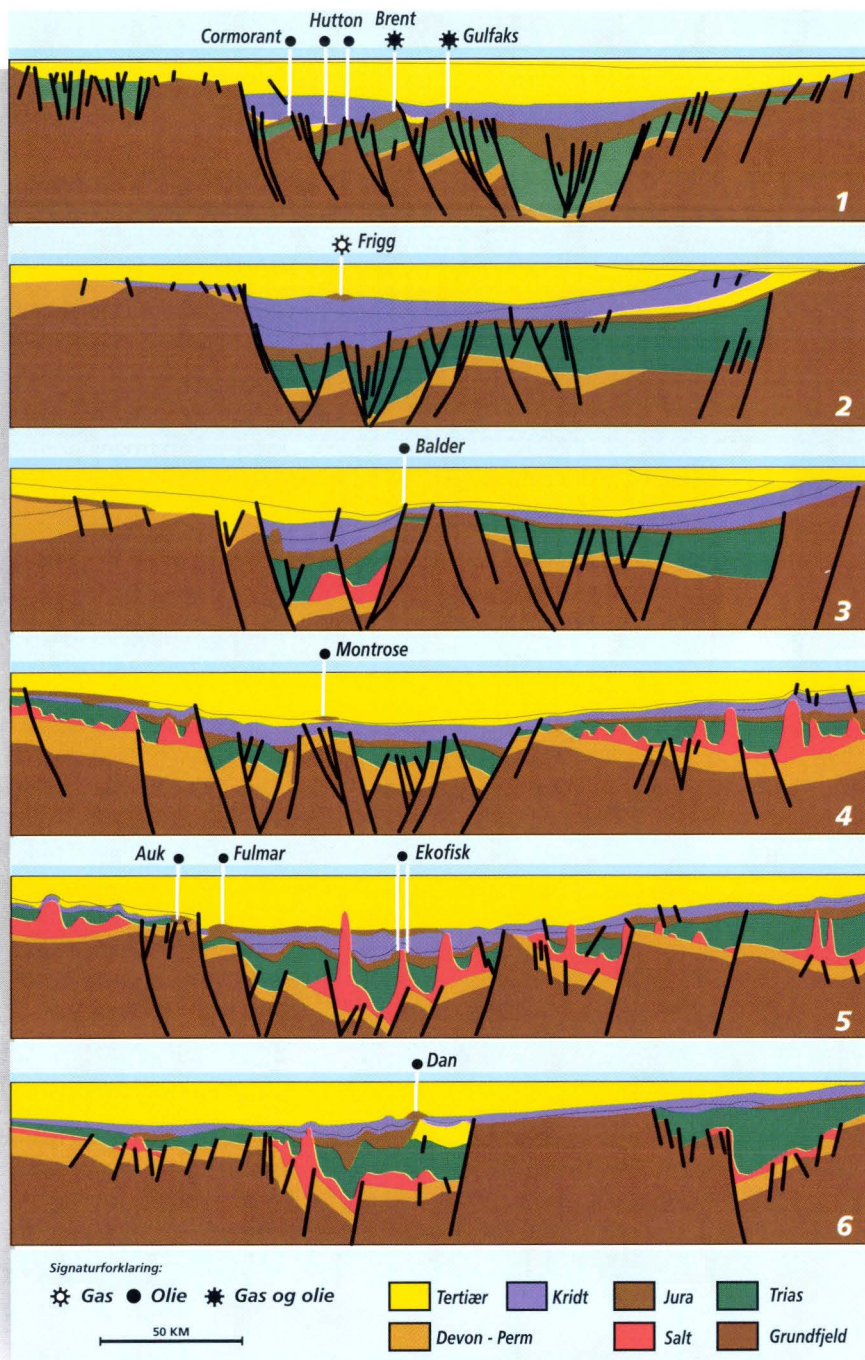


Fig.5. 6 snit tværs over Centralgraven, hvor man får et indtryk af, hvor komplekse forkastningssystemerne i undergrunden er. Tegningen fortæller også om de mange muligheder, der er for fælder for olie og gas, og derfor hvor vanskeligt det kan være at finde dem.

# KULSTOFFETS HISTORIE

Hvis man siger kul, vil de fleste mennesker sikkert komme til at tænke på de sorte klumper, man brænder på kraftvarmeværker, og som i tidligere tid også blev brugt til opvarmning i mindre kedler f. eks. i etageejendomme med centralopvarmning. Det sorte kul er gammelt plantemateriale, der langt tilbage i tiden blev aflejret i moser, og som gennem årmillioner er blevet presset stærkt sammen og omdannet. (Fig. 6).

## Kulstoffet i naturen

Både levende dyr, planter og det "døde" kul består af en række kemiske forbindelser. I disse forbindelser er grundstoffet kulstof (C) det mest betydningsfulde. Årsagen til kulstofs vigtige rolle for alt levende på jorden er dets særlige evne til at indgå i sammensatte forbindelser. Med en fællesbetegnelse kaldes disse utroligt mange forbindelser "organisk kemiske stoffer". Rækken af stoffer spænder fra det simpelt opbyggede sumpgas (metan) til det overordentligt komplekse DNA-molekyle.

Kul, olie, gas og andre organiske materialer består udover af kulstof tillige, hovedsagelig af brint (hydrogen), ilt (oxigen), kvælstof (nitrogen) og svovl. Ved forbrænding af organiske materialer sker der en iltning af stofferne, og der dannes kuldioxid ( $\text{CO}_2$ ), vand ( $\text{H}_2\text{O}$ ), forskellige kvælstofoxider ( $\text{NO}_x$ ) og svovldioxid ( $\text{SO}_2$ ). Mængden og sammensætningen af forbrændingsprodukterne varierer meget. En del af forbrændingsprodukterne er "usunde" for miljøet, og derfor gøres der meget for at undgå dem eller nedsætte mængden af dem. Det sker ved rensning af røgen

## HVOR FINDES KULDIOXID ( $\text{CO}_2$ ) I NATUREN

	Mængde i $10^{12}$ ton	Omtrentlige opholdstid
Atmosfæren	2,4	dage
Havet	130	uger
Levende organismer	0,3	måneder
Organiske rester	6,1	år
Kul, olie m.v.	25.000	100 millioner år
Karbonatbjergarter	67.000	500 millioner år

Fig. 6. Skema over kuldioxid mængder og opholdstider i forskellige medier.

fra store kedler (kraftvarmeværker og fabrikker), eller ved at bilernes udstødning ledes gennem katalysatorer.

Kulstof forekommer i alle levende organismer på jorden, og dermed også i rester af organismene, når de er døde. Men kulstof forekommer også i naturen, uden at det direkte kan sættes i forbindelse med levende organismer. Ved vulkanudbrud består en stor del af de gasser, der kommer op af vulkanen af kuldioxid. I hårde, omdannede bjergarter og i vulkanske bjergarter, kan man finde sort grafit og glasagtige diamanter. Begge mineraler består af kulstof.

I atmosfæren er der idag cirka 0,03% kuldioxid. Til trods for den lille mængde er det en meget betydningsfuld del af atmosfæren. Kuldioxid mindsker udstrålingen af varme til verdensrummet, eller sagt på en anden måde, det holder på varmen ved jorden. Kuldioxiden virker således på samme måde som glasset i et drivhus, og virkningen kaldes derfor drivhuseffekten. Ændringer i mængden af kuldioxid i atmosfæren forårsager ændringer i temperaturerne ved jordens overflade.

En meget stor mængde kulstof er i dag bundet i kalksten. Det er helt overvejende lyse bjergarter, der kemisk set består af calcium og magnesium karbonat ( $\text{CaCO}_3$  og  $\text{MgCO}_3$ ). Mængden af kalk, der er blevet afsat i forskellige perioder i jordens historie, har varieret. Ligeledes har størrelsen og hyppigheden af vulkanismen, der tilfører kuldioxid til atmosfæren, varieret gennem jordens historie. En hypotese søger at forklare svingningerne i jordens klimaforhold som en følge af ændringer i atmosfærens indhold af kuldioxid.

## Kulstoffets kredsløb

Kulstof forekommer kun sjældent i ren tilstand i naturen; det er i de fleste tilfælde kemisk bundet i mere eller mindre komplekse forbindelser. Den simpleste og mest udbredte måde kulstof findes på, er som luftarten kuldioxid, der er en forbindelse af kulstof og ilt.

Kuldioxid indgår i to store kredsløb. I det ene kredsløb er kuldioxid bundet i organisk materiale, og omsætningen er generelt meget hurtig. I det andet kredsløb er kuldioxid bundet til calcium og findes som kalk; omsætningen er derimod meget langsom i dette kredsløb.

Men lad os prøve at analysere, hvad der sker i de to kredsløb. (Fig. 7).

## Det grønne kredsløb

Organisk materiale dannes ved planternes vækst, ved den biokemiske proces, der kaldes fotosyntese. Ved hjælp af sollysets energi kan planterne opbygge *organiske* stoffer af de *uorganiske* forbindelser, kuldioxid og vand. Processen foregår under medvirken af det grønne klorofyl. Der findes andre biologiske processer, der omdanner uorganisk stof til organiske forbindelser, men de har underordnet betydning i denne sammenhæng, da de mængder, der dannes, er små.

Alle grønne planter har fotosyntese. Det er de planktoniske alger i havet, der fremstiller den største mængde organisk materiale, medens landjordens planter kun danner en forholdsvis lille mængde.

Når planterne dør, bliver de normalt

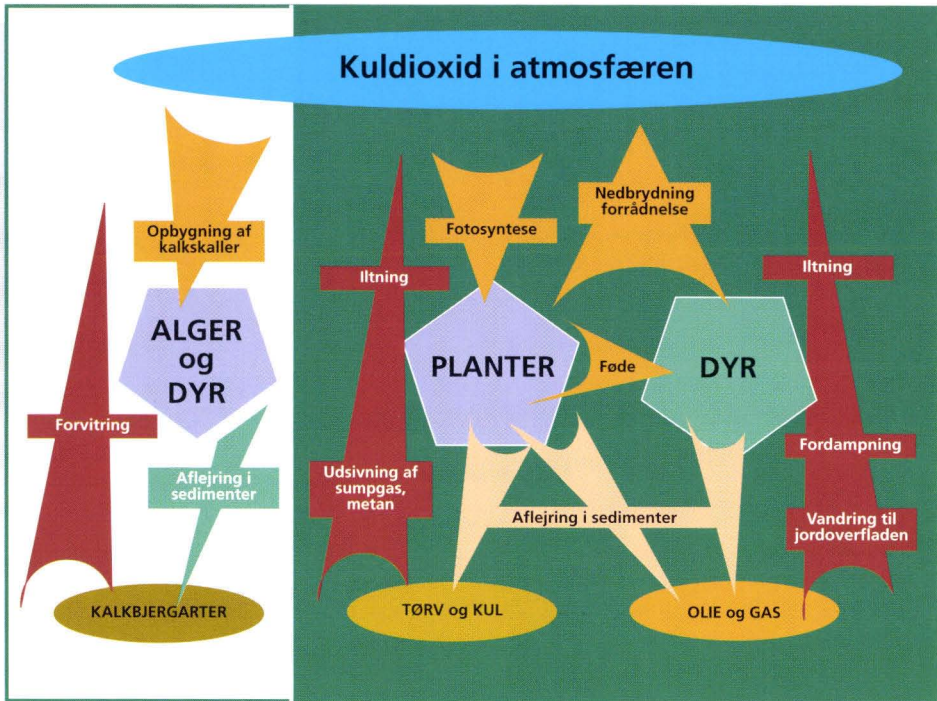


Fig. 7. Kulstoffets to kredsløb. Til højre ses det grønne kredsløb og til venstre ses det hvide kalkkredsløb. Grundstoffet kulstof indgår i alt organisk materiale her på jorden. Kulstof er med til at opbygge alle dyr og planter, men kulstof findes også i luften og i bjergarter i jorden.

nedbrudt hurtigt ved forrådnelse. Denne proces forudsætter, at der findes ilt. I jorden, på markerne og i haven, er der meget luft og dermed ilt, og gamle plantedele omsættes hurtigt og forsvinder. Hvis der derimod ikke er luft til stede, som for eksempel i moser, forsvinder plantematerialet ikke, men der sker en omdannelse af det. Hvis vi ser på jorden som helhed, er det kun omkring 0,1% af det levende organiske materiale, der bevares som sedimenter, efter at planterne og dyrene er døde. Tørven i moserne er et eksempel på dette. Tørven kan ved sammenpresning og opvarmning gradvis blive omdannet til brunkul og stenkul.

Det plantemateriale og andet organiske materiale, der er blevet aflejret på havbunden sammen med ler, kan danne udgangsmateriale for dannelsen af olie og gas. Sådanne finkornede bjergarter kaldes kildebjergarter. Men da olie og gas har mindre massefylde end bjergarterne, vil det have en tilbøjelighed til at søge opad. Meget olie og gas har således fundet vej op gennem jorden til jordoverfladen. Her vil der ske en nedbrydning, og kun de mest komplekse forbindelser vil blive tilbage f.eks. som naturlig dannet asfalt.

I atmosfæren er der en meget lille mængde gas af den type, der er mindst sammensat, nemlig metan. Der er tale





Fig. 8. Skrivekridt. I Møns Klint kan man se det hvide skrivekridt. Under Nordsøen er der også skrivekridt, hvori der er reservoirer med olie og gas.

om en mængde på to milliondele af atmosfæren. Til sammenligning udgør kuldioxid en andel af atmosfæren på omkring 300 milliondele. Det antages, at metanen i atmosfæren ikke stammer fra dybtliggende aflejringer, fordi den vil blive iltet i jordens øverste del. Men ved biologisk aktivitet på jordoverfladen dannes der meget metan, blandt andet af store planteædende dyr.

### Det hvide kredsløb

En anden måde atmosfærens kuldioxid

bliver bundet på, er, når det i dyr og planter, som følge af en biokemisk proces, forenes med grundstoffet calcium, og danner calciumkarbonat, kalk. Det er havets dyr og planter, der danner de største mængder kalk. Det sker i dyrenes skaller, for eksempel hos de encellede foraminiferer, og i nåle og plader i encellede alger. Rundt om på jorden findes meget store aflejringer af kalk. I Danmark har vi gode eksempler i lagene af skrivekridt og kalk, der kan ses i Møns klint, i Stevns klint og i klinterne ved Grenå og i Limfjordsområdet. (Fig. 8).

# OLIE- OG GASDANNELSEN

To vigtige forudsætninger, skal være opfyldt, for at olie- og gasdannelse kan finde sted.

Den første forudsætning for dannelsen af gas og olie er aflejringer bestående af sedimenter med et stort indhold af organisk materiale. Aflejring af den type sedimenter foregår både i ferskvand og i saltvand.

Den anden forudsætning er, at der opstår iltfattige forhold ved bunden af aflejringsbassinet, således at det organiske materiale, der synker ned og aflejres, ikke "forbrændes" ved iltning. I søer vil der i sommer- og vinterperioderne være en adskillelse af vandet i et øvre og et nedre lag uden nævneværdig udveksling mellem de to lag. Denne opdeling af vandmassen vil bevirke, at iltholdigt overfladevand ikke føres ned til bunden, og mulighederne for dannelsen af olie og gas i sedimenterne er derfor på forhånd gode. I Asien og i Afrika er der fundet store forekomster af olie og gas, der netop har sin oprindelse i søaflejringer. I det danske område er olie- og gasforekomsterne udelukkende dannet i havaflejringer, og vi skal derfor i det følgende beskæftige os nærmere med sådanne aflejringer.

## Sedimentationen i havet

Fra landjorden skyller floderne store mængder af materiale ud i havet. Det er en blanding af fint og groft materiale. Når strømhastigheden falder, vil det grove materiale af sand og grus blive afsat. Det finder vi derfor ved flodmundingerne og langs kysten. Det lerede, finkornede materiale finder ikke den nødvendige ro i vandet til at sedimentere tæt ved kysten, og det føres længe ud i havet af havstrømme. Her er der så lidt bevægelse et stykke nede i vandmasserne, at leret kan synke til bunds.

Når dyrene og planterne, der lever i havet, dør, synker de ned og bliver indlejret i leret på havbunden. Hvis leret senere skal blive en kildebjergart for dannelse af olie og gas, må der sedimenteres store mængder af organisk materiale; eller sagt på en anden måde,

der må være en stor biologisk aktivitet i havet. Den biologiske produktion er dybest set baseret på planternes fotosyntese. Da det i havet er de svævende (planktoniske) alger, der er den dominerende type af planter, er den biologiske produktion af organisk materiale afhængig af gode vækstbetingelser for algerne. En forudsætning for væksten af algerne er tilstedeværelsen af nærings-salte. I havområder, der er lukket inde mellem store fastlande, vil floderne bringe betydelige mængder af næringsstoffer ud i havet, og algerne vil derfor trives godt. Den type af have findes mange steder i verden. Eksempler på indhave, som de kaldes, er Østersøen, Kattegat, Middelhavet, Røde Havet og Den Persiske Golf.

I nogle somre kan der i Kattegat ske en kraftig opblomstring af alger, og som følge deraf en kraftig sedimentation af

døde alger på havbunden. På grund af iltforbruget ved forrådnelsen dannes der et iltfattigt miljø. De sediment, der dannes, er af den type, der ville kunne blive til kildebjergarter. Men det bliver de ikke. Det skyldes, at storme om efteråret og vinteren rører rundt i vandmasserne og ændrer de iltfattige forhold på havbunden, således at det organiske materiale iltes og indgår i det normale kredsløb.

I Røde Havet sker der ikke en omrøring af vandmasserne og dermed tilførsel af ilt til bundlagene. På bunden dannes der derfor sediment, som er rige på organisk materiale, og som i fremtiden kan blive kildebjergarter for dannelsen af olie og gas.

Forhold, som de, der er fremherskende i nutidens Røde Hav, findes idag kun få steder på jorden. Sådan har det antagelig også været i hele jordens historie. Der har til enhver tid sikkert eksisteret mindre havområder på jorden, hvor der har været kraftig algevækst og re-ducerende forhold på bunden.

Kildesedimenter for dannelse af olie og gas kan også dannes et andet sted i havet. Det er på kontinentalskrænten ud for udmundingen af store floder. På sådanne steder kan det forventes, at iltindholdet i vandet er stort, og derfor skulle det organiske materiale blive nedbrudt. Når det alligevel ikke sker, skyldes det, at tilførslen af materiale hele tiden er så stor, at ilten i vandet ikke rækker til.

### Sedimenterne begravnes

Fordi der stadig aflejres nye sediment ovenpå de tidligere aflejlrede, trykkes

de ned og udsættes for et stigende tryk og en stigende temperatur. Ved dette omdannes det organiske materiale gradvist. Processerne sker ikke pludseligt, men forløber over lang tid. Meget tyder på, at processerne forløber hurtigst ved temperaturer mellem 100 og 150 grader celsius. Da temperaturen stiger med dybden under jordoverfladen, kan vi regne ud i hvilken dybde, vi vil finde disse temperaturer. I Danmark vil det være på tre til fem kilometers dybde. Vi vil senere se, at det netop er i den dybde, at der findes nogle interessante bjergarter i Nordsøen.

### De kemiske omdannelser

Nedbrydningen og den kemiske omdannelse af det organiske materiale sker gradvist, og kan deles i flere faser (fig. 9).

Tendensen i de omdannelser, der sker med det organiske materiale, går i retning af, at de meget sammensatte kemiske forbindelser bliver nedbrudt til enklere sammensatte stoffer.

**I første fase**, "diagenesen" (dia = om, genese = dannelse) ændrer de kemiske processer materialet således, at rester af alger og andre organismer, der ellers kan genkendes ved hjælp af mikroskopet forsvinder. Der dannes en ensartet masse, der kaldes "kerogen".

**I den anden fase**, oliedannelsesfasen eller "katagenesen" (kata = nedbrydning, genese = dannelse), nedbrydes kerogenet, og der dannes mere simpelt opbyggede kemiske forbindelser. Det vil i denne sammenhæng sige, at der er færre kulstofatomer i hvert molekyle. Disse nye stoffer kaldes med en fælles betegnelse kulbrinter. Det er fordi

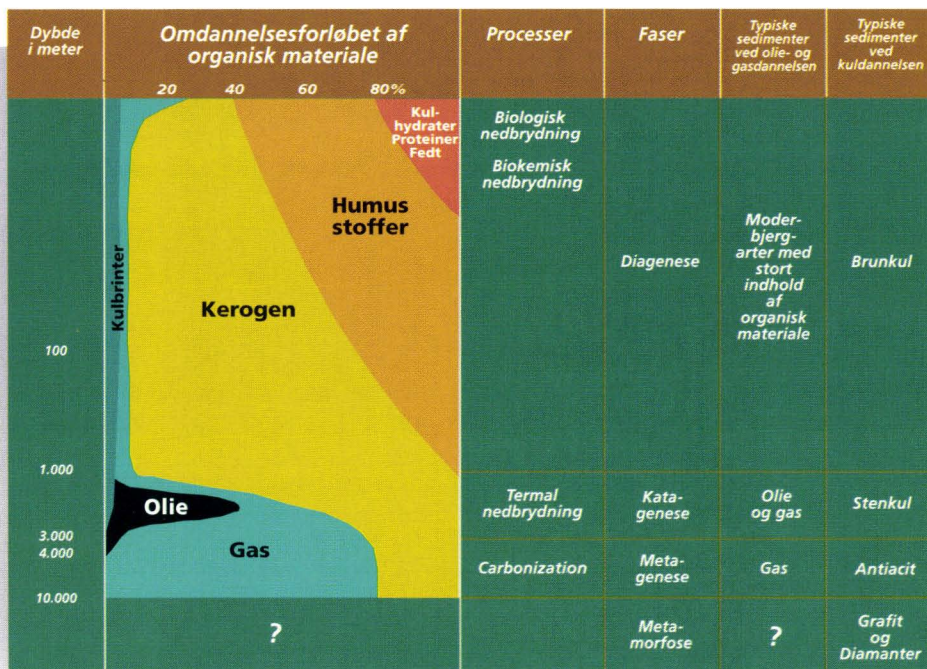


Fig. 9. Skema der viser sammenhængen mellem dybde og omdannelsesprocessen. Omdannelsen af organiske rester fra planter (og dyr) til olie og gas er afhængig af temperaturen. Da temperaturen stiger ned gennem jorden, er olie- og gasdannelsen afhængig af hvilken dybde kildebjergarterne har været nede i.

grundstofferne kulstof og brint er de vigtigste bestanddele. Der er tale om en løbende proces, og hvis temperaturen stiger, nedbrydes flere og flere bindinger mellem kulstofatomerne, og andelen af lette kulbrinter med få kulstofatomer stiger i hvert molekyle. Den simpleste af kulbrinterne er metan, og den bliver efterhånden dominerende. Metan er en luftart, en gas, som består af ét kulstofatom og fire brintatomer. Metan udgør den største del af den gas, der føres ud til forbrugerne i det danske naturgasnet.

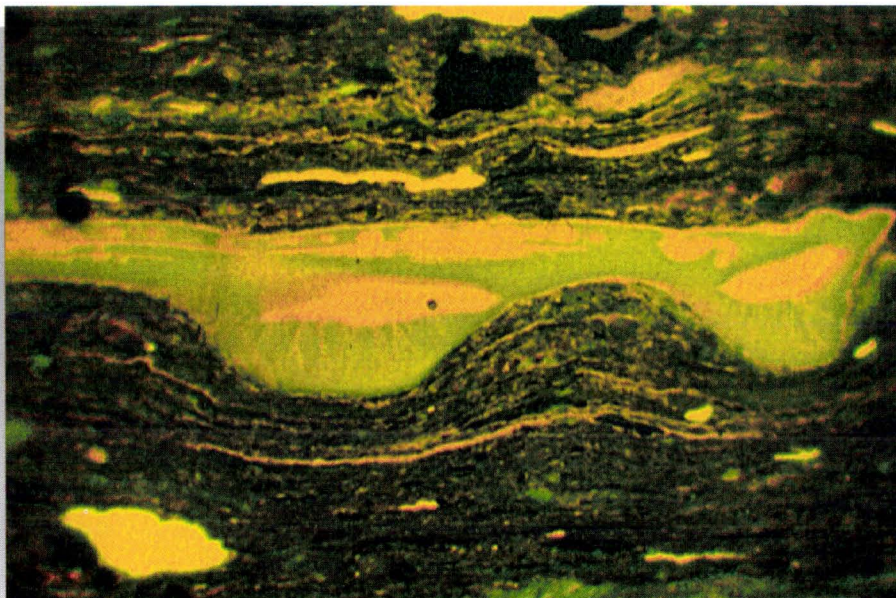
### Olie eller gas ?

I nogle sedimenter dannes gas og i andre både olie og gas. Forklaringen på

denne forskel skal søges i typen af plantemateriale, der oprindeligt blev aflejret. Forenklet kan man sige, at enten stammer materialet fra landjordens højerestående planter eller fra encellede alger i havet.

Materialet fra landjorden stammer for det meste fra træer og andre højtudviklede planter, og indeholder de vanskeligt nedbrydelige stoffer, cellulose og lignin. Når stofferne nedbrydes dannes hovedsagelig luftarter, og aflejringerne bliver derfor gasholdige. Sådanne aflejringer vil man derfor finde på kontinentalskrænten ud for store flodmundinger.

Det organiske materiale, der bliver dannet af de mikroskopiske plankton-



*Fig. 10. Billedet er et mikrofotografi (taget med ultraviolet lys) af en lerskifer med et stort indhold af organisk materiale, kerogen, der er under omdannelse til olie. Den store sammenhængende figur midt i billedet er en rest af en fisk, og de smalle gulrøde striber er "sammenklappede" alger. Det gullige slør, som gør billedet lidt uskarpt, er olie. ( Forstørrelsen er 312,5 gange)*

alger i havet, indeholder meget æggehvidestof (proteiner) og en stor mængde fedtstoffer (lipider). Ved nedbrydningen vil disse stoffer danne både olie og gas. Aflejringer, der er blevet afsat i det åbne hav, vil kunne danne både olie og gas. (Fig. 10).

### Olien vandrer

Nedbrydningen og omdannelsen af plantematerialet i sedimenterne til kerogen og videre til olie og gas medfører, at der dannes stoffer, der fylder mere end udgangsmaterialet. Ved denne rumfangsforøgelse opstår et tryk inde i sedimentet. Dette tryk forårsager

en mikroskopisk opsprækning af bjergarten, og gennem sprækkerne undviger olien og gassen til områder i kildbjergarten eller i nabobjergarterne, hvor der er et mindre tryk. Derved synker trykket i sedimentet, og sprækkerne lukker sig igen. Processen gentager sig sandsynligvis mange gange, og efterhånden tømmes sedimentet næsten for organisk materiale. Denne vandring af olie og gas ud af kildbjergarten kaldes den "primære vandring" (migration).

Når olien og gassen er kommet ud af den tætte, finkornede kildbjergart, vil den fortsætte med at vandre. Der er to kræfter, der driver olien og gassen af

sted; dels vægtfylden og dels trykforholdene i bjergarterne.

Olie og gas har en lavere vægtfylde end det vand, der findes i bjergarternes porer. Det betyder at olien og gassen vil søge opad i jorden.

Langs forkastningszonerne har blokke af jordskorpen bevæget sig op og ned. Ved disse bevægelser sker der ændringer i trykket i bjergarterne. Hvis trykket ikke har mulighed for at blive udlignet, fordi der ligger tætte (impermeable) lag i lagserierne, kan der opstå store tryk i lagene. Forskellen i tryk mellem lagene (trykgradienten) vil medvirke til, at olie og gas vandrer. Denne vandring er ikke nødvendigvis opad, men kan være i alle retninger.

Vandringen vil hovedsagelig ske i bjergarter med mange hulrum som sandsten og opsprækkede kalksten og skifre. Denne sivning af olie og gas kaldes den "sekundære vandring" (migration), og den kan ske over meget store strækninger både i horisontal og vertikal retning.

Hvis der ikke er noget, der stopper den vandrende olie og gas, vil den kunne vandre helt op til jordoverfladen. De mest flygtige bestanddele vil gå op i atmosfæren og her blive iltede. De kan i visse situationer bryde i brand på jordoverfladen. De tungere bestanddele af olien kaldes asfalt, og de kan samle sig i bassiner, såkaldte asfaltsøer. Asfaltsøer kendes fra Nord- og Sydamerika og fra Mellemøsten. Asfalten har langt tilbage i tiden været brugt til blandt andet at tætte skibe med.

Under oliens og gassens vandring opad

i jorden kan den blive fanget undervejs under et tæt, uigennemtrængeligt lag. Man kalder det en "fælde". Hvis olien og gassen er blevet fanget og ligger i en sedimenttype, der har mange hulrum mellem kornene (det kaldes høj porøsitet), taler man om en "reservoirbjergart".

Det er fra en reservoirbjergart, man har mulighed for at udvinde olien og gassen. For at det kan lade sig gøre, må det være muligt relativt let at dræne olien og gassen ud af bjergarten. Man taler om at bjergartens permeabilitet (gennemtrængelighed) skal være stor.

Der findes flere typer af fælder, men et fælles træk er, at et porøst lag er dækket af et tæt lag, et impermeabelt lag.

Fælderne kan have forskellig struktur og oprindelse.

En serie af foldede lag kan danne en fælde i de opadgående folder (antiklinaler). Hvis et tæt lag ligger som et bulet låg ovenpå porøse lag, kan der være en olie-gas fælde. Denne situation er vist på figur 11 og 12a.

En aflejring er ikke fuldstændig ensartet hele vejen igennem. Der kan for eksempel være mere grovkornede partier i et ellers finkornet sediment. Sådanne partier kan være fælder for den vandrende olie og gas.

De fleste af de fælder, hvorfra der produceres olie og gas i Nordsøen, skyldes forskydninger af lagene. Forskydningerne er opstået ved, at blokke har bevæget sig i forhold til hinanden langs forkastninger. (fig. 12b).

Ved salthorstenes opadgående be-

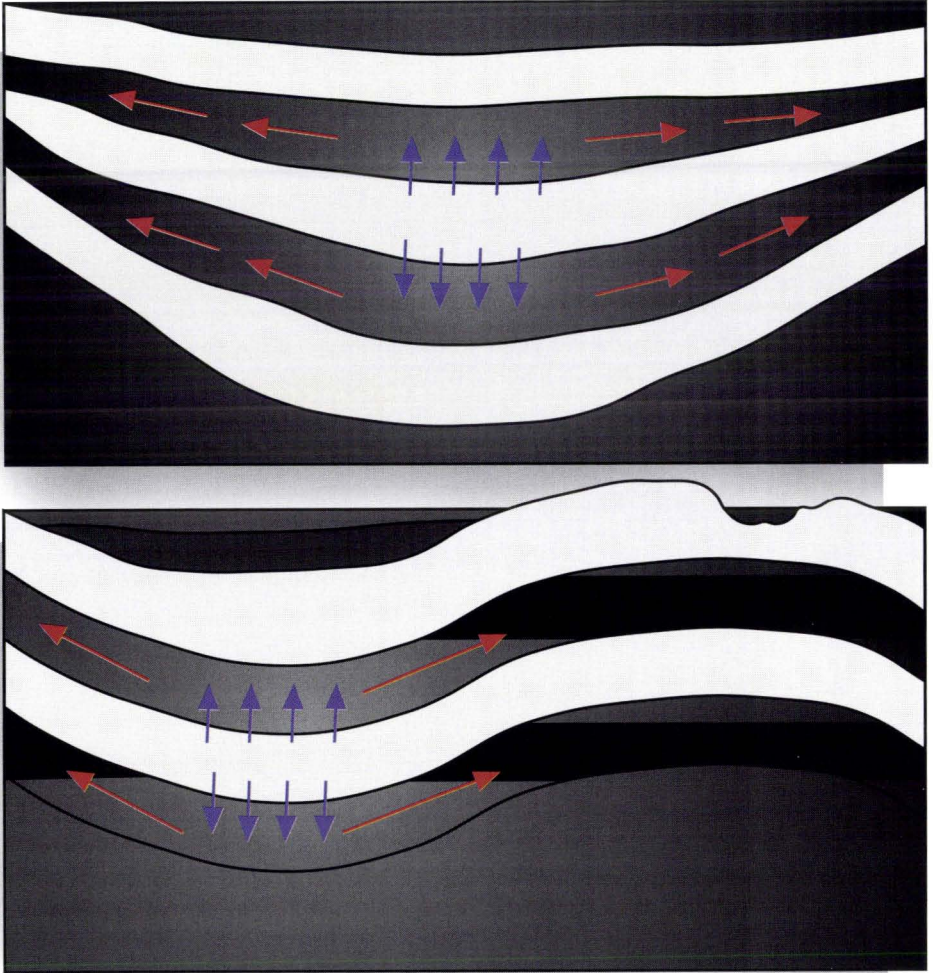


Fig. 11. Olie/gas vandringsveje. Ved den "primære vandring" (de blå pile) slipper olien og gassen ud af den tætte kildebjergart gennem små sprækker. Denne vandring skyldes, at der bliver overtryk i bjergarten ved dannelsen af olien og gassen, og derfor kan bevægelsen både gå opad og nedad.

I de mere porøse bjergarter begynder olien og gassen at vandre opad og horisontalt "den sekundære vandring" (de røde pile).

Fælderne i dette eksempel er dannet ved, at lagene er blevet foldede enten som følge af et sideværts tryk eller ved at underliggende saltaflejringer har presset lagene opad.

vægelse sker der forskydninger af lagene, og derved kan der også dannes fælder (fig 12c).

### Olien i stenen

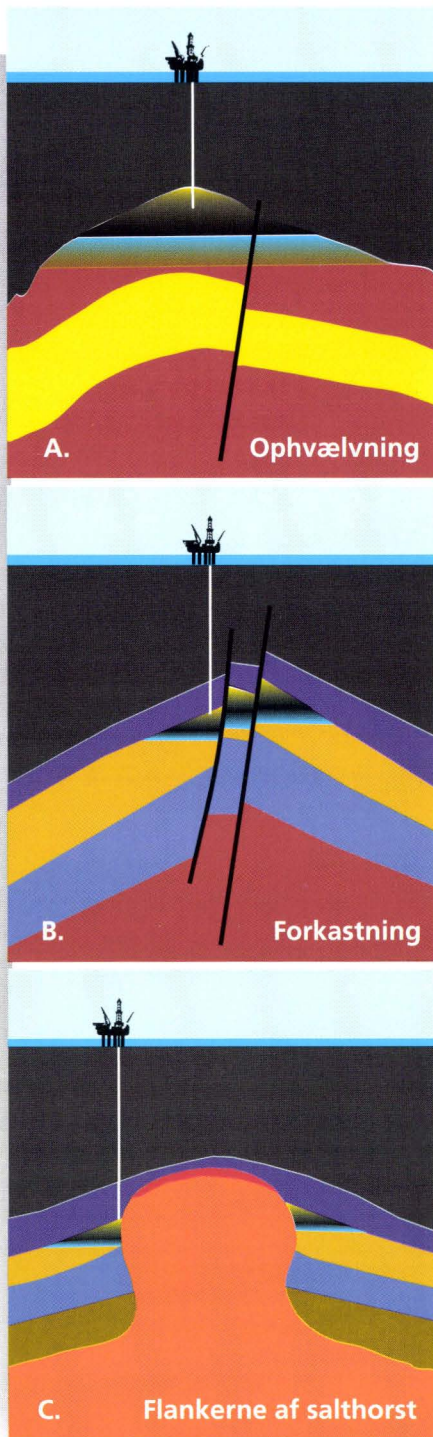
Når man står med et stykke sandsten eller kridt i hånden, føles det som en tæt, fast bjergart, men at det ikke er tilfældet, kan man se, hvis det bliver lagt under et mikroskop.

En sandsten består af korn, der ligger tæt sammen. Kornene kan være afrundede eller kantede, og de er ikke, som i for eksempel en granit, på nogen måde tilpassede hinanden i facon. Mellem kornene er der hulrum; store og små afhængig af kornenes størrelse og deres ensartethed i størrelse og form. Hulrummene kan dog være helt eller delvis opfyldt af mineralsk materiale (f.eks. kalk, kvarts eller jernforbindelser), der er udfældet, efter at sandstenen er blevet aflejret.

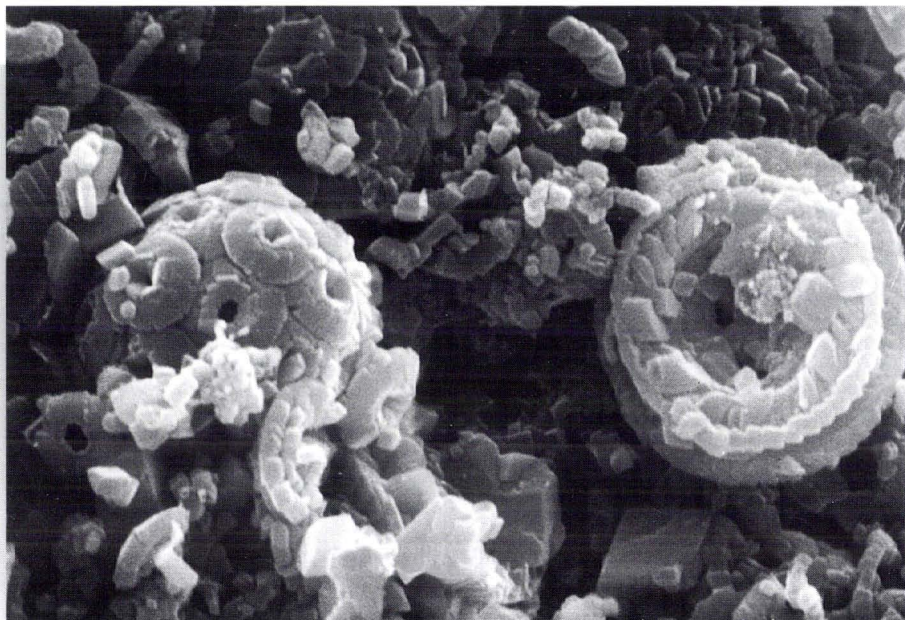
I kridt er hulrummene meget små. (Fig. 13). I hulrummene kan der også i denne bjergart være sket udfældninger efter at den er blevet afsat. Processen kaldes diagenese, og udfældningerne gør naturligvis hulrummene mindre, og dermed bjergarten dårligere egnet som reservoir.

I hulrummene mellem kornene vil der hyppigst være vand. I den øverste del af jorden er det ferskvand, men længere nede er det saltvand.

Fig. 12 A-C.. Eksempler på olie/gas fælder. Den lette olie og gas vandrer opad gennem de permeable bjergarter mod jordoverfladen. På vejen kan det blive fanget i flere typer af fælder. Derved dannes reservoirer.







*Fig. 13. Mikrofotografi af skrivekridt. Skrivekridt består næsten udelukkende af coccolither. Coccolither er meget små, og kan kun ses i detaljer med stor forstørrelse i elektronmikroskop. I form kan de variere meget, og længe var man ikke klar over, hvor de kom fra. Nu har man fundet ud af, at coccolitherne er kalkskaller fra encellede alger, der svæver i oceanernes vandmasser. Skrivekridt er en typisk reservoirbjergart i Nordsøen. De kugleformede skaller er fra 2 til 20  $\mu\text{m}$  i diameter ( $1\mu\text{m} = 1/1000\text{ mm}$ ).*

Olie og gas, der trænger ind i bjergarterne, vil delvis kunne fortrænge vandet i hulrummene. (Fig. 14).

### Den hvide og den brune kalk

I undergrunden under bunden af Nordsøen ligger tykke serier af kalksedimenter, der meget ligner det hvide skrivekridt, vi kan finde, for eksempel på Møns klint. Kalken har, til trods for sit tætte udseende, mange men meget små porer. Når porerne er fyldt med vand, har kalken en gråhvid farve. Hvis kalken tørrer, bliver porerne luftfyldte, og kalken bliver kridhvid.

Ovenpå kalken findes lerede aflejringer fra tertiærtiden.

Undergrunden i Nordsøen har været meget ustabil, og flere gange er der sket forskydninger op og ned af blokke langs forkastningszoner (Fig. 5).

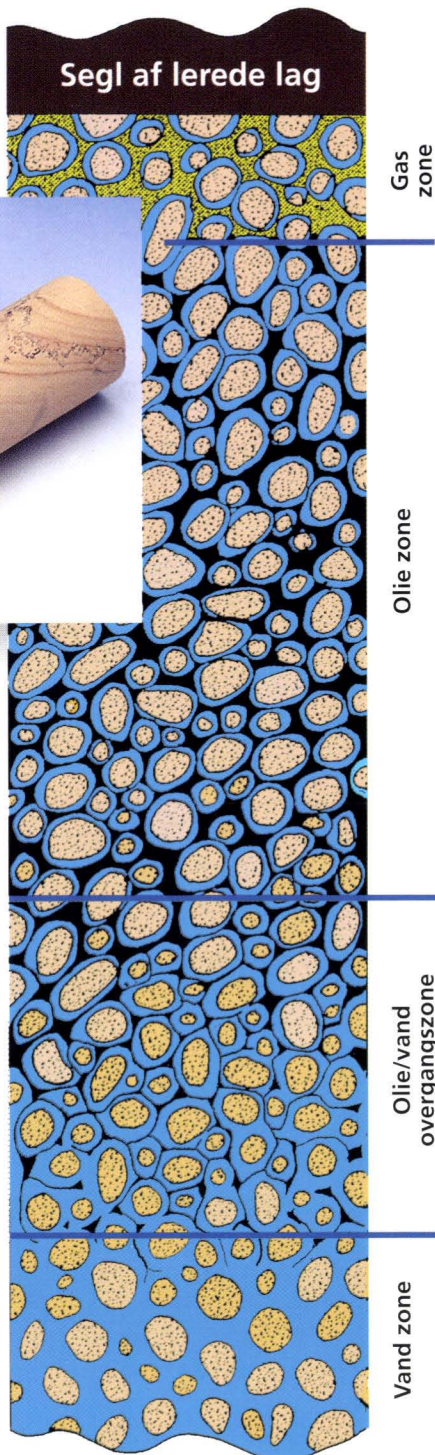
Betingelserne er derfor tilstede for, at der kan være dannet fælder. Kalken er reservoirbjergart for den olie og gas, der er trængt op fra de dybereliggende kildebjergarter. Kildebjergarterne er ler-aflejringer fra juratiden.

Fig. 14. Skematisk snit gennem en reservoir-bjergart. Den lette gas ligger øverst over olien, som igen ligger over vandet, fordi olien er lettere end vand.



Fig. 15. To stykker skrivekridt fra et olie-felt i Nordsoen. I den lyse kerne er pore-rummene fyldt med vand, og bjergarten har samme gråhvide farve som vådt kridt fra Møns Klint. Det brune stykke kerne indeholder foruden vand også olie, og det er fra denne bjergart olien tages op.

Når olien har fortrængt vandet, har kal-ken fået en svag brunlig farve. Desuden har bjergarten fået en lugt ligesom motorolie. (Fig. 15).



# HVORDAN FINDER MAN OLIE OG GAS ?

Det kan, for en ikke kyndig, ofte være et mysterium, eller noget af et tilfælde, at et olieeftersøgningselskab vælger at påbegynde en boring et givet sted. Hvad kan de se, som vi ikke kan se? Og hvad kan de få af oplysninger fra et hul i jorden?

I det følgende gives nogle korte svar på spørgsmålene.

Efterforskningselskaberne bruger tre hovedtyper af undersøgelsesmetoder.

## SEISMISKE UNDERSØGELSER

Ved disse geofysiske undersøgelser udnyttes to forhold; dels at lydbølger bevæger sig med forskellig hastighed i forskellige bjergarter, dels at lagflader mellem forskellige bjergarter reflekterer lydbølgerne, ligesom et spejl reflekterer lys.

Seismiske undersøgelser er særligt egnede til olie-gas eftersøgning, fordi de på en måde giver mulighed for at "se" ned i jorden. Derved får geologerne muligheder for at udpege områder, hvor der kan være fælder for olie-gas.

## BORINGER

De seismiske undersøgelser giver kun antydninger af, hvilke bjergarter der findes nede i jorden. For at få en mere præcis viden om bjergarterne, må man bore. Under borearbejdet kan man tage boreprøver af de lag boringen kommer igennem.

## BOREHULSLOGGING

Ned i borehullet kan man sænke måleudstyr, der i borehulsvæggene kan måle forskellige fysiske egenskaber ved bjergarterne. Måleresultaterne supplerer boreprøvernes oplysninger, og giver også oplysninger fra de dele af boringen, hvor der ikke bliver taget prøver.

Alt det indsamlede materiale af måleresultater og prøver bearbejdes af geologerne. Det er geologernes opgave at søge at sammenfatte alle oplysningerne om lagenes sammensætning, lagenes indre strukturer og deres indhold af fossiler for at kunne tolke i hvilket miljø lagene blev afsat, og i hvilken del af jordens historie det skete.

### *Naturlige og kunstige jordskælv*

Jordskorpen er opdelt i plader, der kan sammenlignes med dårligt tilpassede brikker i et puslespil. Pladerne bevæger sig i forhold til hinanden hen over underlaget. Som følge af disse forskydninger opstår der spændinger mellem pladerne og inde i pladerne. Spændingerne udløses langs forkastningszoner, ved at pladerne bevæger sig i forhold til hinanden. Ved udløsningen opstår svingninger i bjergarterne af samme natur som braget fra en eksplosion. Disse lydsvingninger breder sig ud i skorpen, og på jordoverfladen vil de opleves som jordskælv.

Ved seismiske undersøgelser efterligner geofysikerne jordskælvene ved at sende kortvarige, kraftige lydimpulser fra jordoverfladen ned i jorden, og måle hvorledes lyden udbreder sig.

Flader mellem lag af forskellig type (f.eks. skifer, sandsten, kalk eller salt) vil virke som et delvis gennemsigtigt spejl for lydbølgerne, der udbreder sig nede i jorden. Noget af lyden vil blive tilbagekastet (reflekteret) og sendt op til jordoverfladen igen. En mindre del af lyden vil gå igennem lagfladen og fortsætte længere ned. Det samme vil gentage sig ved næste laggrænse og de følgende ned ad.

Ved at måle tidsforskellen mellem det tidspunkt lyden udsendes, og ekkoerne (reflektionerne) fra jordlagene, får man et indtryk af, hvor langt, der er ned til laggrænserne. Lidt forenklet kan man sige, at jo længere tid der går, jo dybere ligger en laggrænse. Det er meget korte tidsrum der er tale om; de måles i

tusindedele sekunder (millisekunder), og det er nødvendigt at bruge elektronisk måleudstyr.

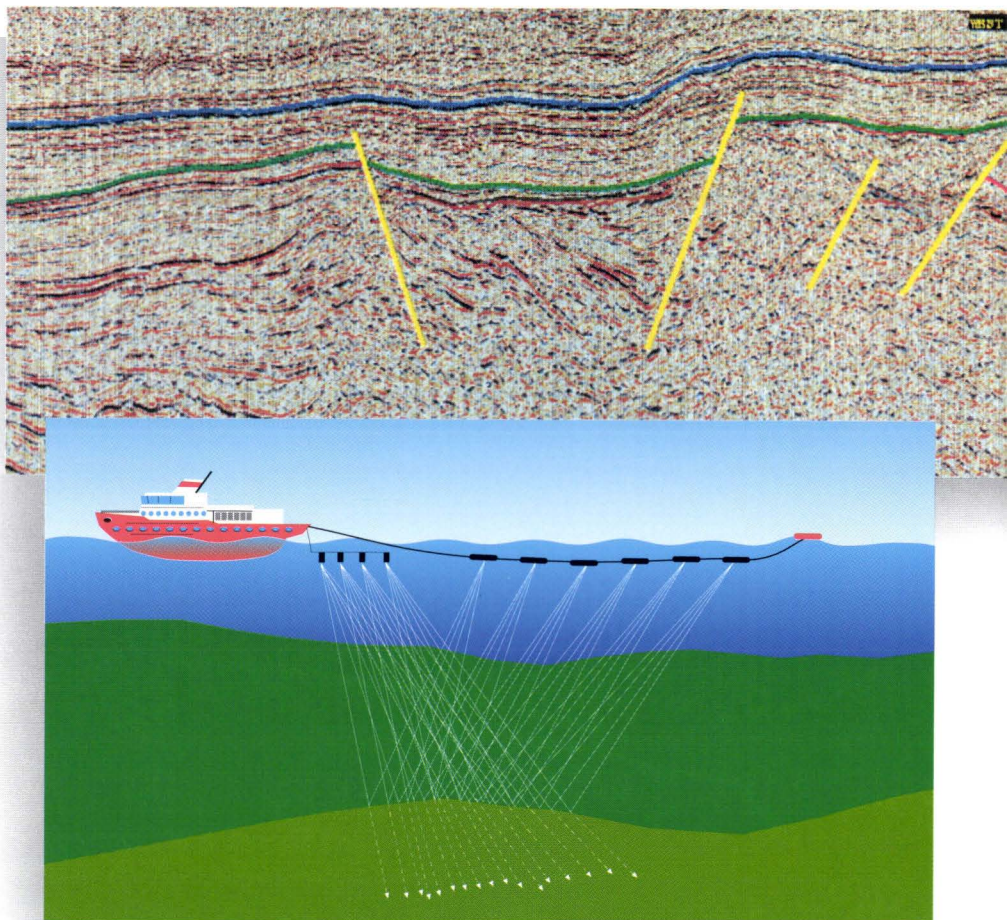
Man får således dybderne til lagfladerne udtrykt i millisekunder. Disse dybder kan ikke umiddelbart tages som udtryk for hvor mange meter, der er ned til lagfladerne. Det skyldes, at lyden ikke bevæger sig med samme hastighed i alle bjergarter. Og, at lyd-hastigheden i bjergarterne tillige er afhængig af trykket i porevandet i bjergarterne.

Ved borer og laboratorieforsøg kan man få oplysninger, der gør det muligt at omregne dybderne fra millisekunder til meter.

### *Udførelsen af seismiske undersøgelser*

For at kunne få de bedst mulige reflektioner også fra dybtliggende lag, skal den lydimpuls, der udsendes, være kortvarig og kraftig. Ved undersøgelser på landjorden bruges for eksempel en sprængning af dynamit som lydkilde, og det kaldes derfor i daglig tale et skud. Til at opfange de reflekterede lyd-signaler fra undergrunden, anbringes en række mikrofoner (geofoner) på jordoverfladen. Sprængladningen og mikrofonerne forbindes med elektriske ledninger til en elektronisk tidtager. For at kunne opfange og registrere de kolossalt mange informationer anvendes en meget stor båndoptager.

Seismiske undersøgelser på havet er i praksis lettere at gennemføre. Både lyd-giver og mikrofoner slæbes efter et skib. Lyden frembringes ofte ved, at trykluft slippes ud i vandet med faste mellemrum.



### **Resultaterne**

Geofonerne udlægges langs lange linier hen over jordoverfladen, og resultaterne vil derfor vise sig som et snit gennem jorden, et seismisk profil eller et seismogram. (Fig. 16 og 17).

På seismogrammet angiver den vandrette akse jordoverfladen eller havoverfladen med markering af de steder, skuddene blev udløst. Langs den lodrette akse angives tiden for lydets vandring. Når en lagflade reflekterer lydimpulsen, vil der komme en udbugt-

ning på den tynde, lodrette streg, der er ved hvert skudsted. Man kan derfor måle, hvor lang tid lydimpulsen har været om at bevæge sig ned til og op igen fra en laggrænse. Ved en seismisk undersøgelse udføres mange skud, og afstanden er typisk 25 meter mellem hver. På seismogrammet er der derfor mange lodrette linier, der hver især har udbugtninger. Udbugtningerne tegner et mønster, der afspejler formen af laggrænsen.

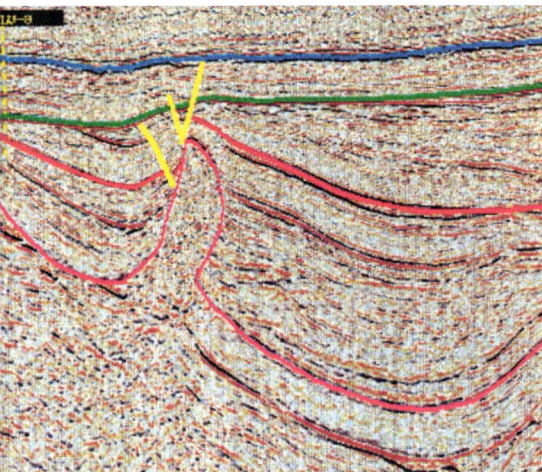


Fig. 16. Seismiske undersøgelser på havet foregår på den skitserede måde. Efter et skib slæbes dels en lyd giver og dels, læn gere bagved, en række mikrofoner. Fra lyd giveren bevæger lyd bølgerne sig ned gennem vandet og ned i havbunden. Lyden kastes tilbage, reflekteres, fra havbunden og fra lagflader nede i undergrunden. Jo længere lyd bølgen har været nede, jo længere tid varer det, før den kommer tilbage og kan blive opfattet af mikrofonerne. I princippet foregår seismiske undersøgelser på land på samme måde.

Seismogrammet viser de overordnede strukturer og flader i jorden, medens de mindre strukturer inde i lagene normalt ikke kan ses.

Når de seismiske undersøgelser er foretaget på havet, ses ofte flere strukturer på seismogrammet, end der er nede i undergrunden. Årsagen er, at lyd bølgerne, på vej op til hydrofonerne, bliver reflekteret af havoverfladen, og sendt endnu en tur ned i havbunden. Processen kan foregå flere gange, men med nogen træning kan geofysikeren udpege de "falske" ekkoer.

Fig. 17. Seismogrammet er fra Nordsøen. Det er omkring 38 kilometer langt, og er optaget langs en linie parallel med den danske sektors nordgrænse. I højre side af profilet ligger gasfeltet Harald, og borin gen Vest Lulu er angivet som en stiple t linie. Noget af det oprindelige seismo grams øverste del er udeladt, og profilet dækker dybdeintervallet fra cirka 2 til 8 kilometer under havbunden. De stærkt farvede linier viser geofysikerens tolkninger. Den blå og den grønne linie angiver henholdsvis toppen og bunden af kalkaflejringerne. Den røde linie er grænsen mellem lerede aflejringer fra øvre jura og sandede aflejringer fra nedre jura og trias. Grænsen til saltaflejringerne er vist med en rødilla farve. Bunden af saltet er angivet med en brun linie. Herunder findes ældre aflejringer og grundfjeld. De gule streger viser forkastningszoner.

### Seismiske kort

I områder, hvor man har gode formodninger om, at betingelserne er opfyldt for, at der kan være olie og gas tilstede i undergrunden, er der behov for at få så detaljeret en viden som muligt om lagenes udbredelse og om lagenes lejningsforhold. De seismiske profilinier lægges derfor meget tæt, det vil sige med 25 meters mellemrum. Det giver en meget stor mængde data, og et stort beregningsarbejde. Resultaterne giver helt andre og nye muligheder for geologiske tolkninger end de tidligere beskrevne lodrette seismogrammer. Med de mange oplysninger er det muligt at danne sig tredimensionale "billeder" af, hvordan forholdene er nede i undergrunden (fig. 28). Det betyder, at der kan tegnes kort over laggrænsernes "højdeforhold" og af lagenes tykkelser. (Fig. 18).

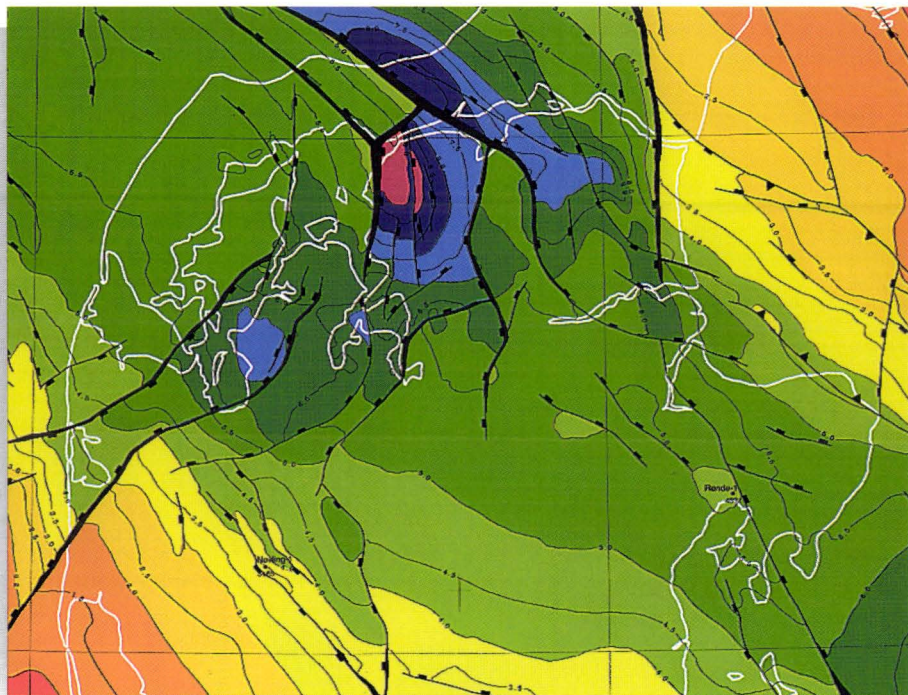


Fig. 18. Kortet er fremstillet ved hjælp af seismiske profiler, og det viser dybden til overfladen af de dannelser, der er ældre end stensaltet. Det vil sige overfladen af aflejringerne ældre end den øvre del af perm perioden. På kortet er fladens højdeforhold angivet ved hjælp af højdekurver. Vest for Ringkøbing fjord ligger fladen mindre end 1 kilometer under havniveau, men i de dybeste dele under Nordjylland og Skagerrak er der mellem 9 og 10 km. ned til fladen. De takkede linier er bevægelseszoner, hvor der er sket forkastninger af lagene.

## BORINGER

Ved hjælp af de seismiske undersøgelser kan geologerne danne sig et billede af strukturerne i undergrunden, men for at få at vide hvilke sedimenter der findes, må man have prøver. Det kan man kun få ved at bore ned til aflejringerne. Det er meget kostbart at bore, og der er stor fare for mandskabet og for miljøet forbundet med at udføre dybe borer. Trykket stiger meget hurtigt med dybden; på 100 meters dybde er der 25 atmosfærers tryk og på 4 kilometers

dybde, hvorfra man ofte henter olie, er der 1000 atmosfærer. Denne trykstigning skyldes vægten af de overliggende bjergartsmasser. Da dette tryk er jævnt stigende ned gennem jorden, er det teknisk set overkommeligt at tage hensyn til det. Det, der skaber de store praktiske og sikkerhedsmæssige problemer, er, at trykket i nogle lag kan være langt større, end det umiddelbart kan forventes. Under borearbejdet kan store trykstigninger pludseligt opstå i boringen,

når borekronen passerer en laggrænse. Sikkerhedsforanstaltningerne omkring en dyb boring er derfor store.

At igangsætte en dybdeboring kræver en omhyggelig planlægning. Borestedet vælges således, at mulighederne for at finde olie og gas er størst.

Samtidig skal der også tages hensyn til en række praktiske og sikkerhedsmæssige forhold.

### Boreteknikken

For tilskueren er boretårnet det mest iøjnefaldende ved en dybdeboring. Boretårnet er placeret centralt over borehullet, og fungerer som kran, når de 9,14 meter (30 fod) lange borerør skal samles og sænkes ned i eller trækkes op af borehullet. (Fig. 19).

Borerørene er kraftige stålrør, der har gevind i begge ender så de kan skrues sammen. Nederst sættes en borekron. Det er en rullemejsel, der, når boret roterer, med sine tænder kan gnave sig ned i jorden. På de bor der anvendes idag, sidder der i toppen af borestrengen en motor, der trækker den rundt. I princippet foregår det på samme måde, som når man på værkstedet borer med en håndboremaskine. Motoren i toppen af borestrengen er enten en elektromotor eller en hydraulisk motor, og drivkraften kommer fra en dieselmotor, der står på jorden neden for boretårnet. Trykket i jorden uden om borehullet vil

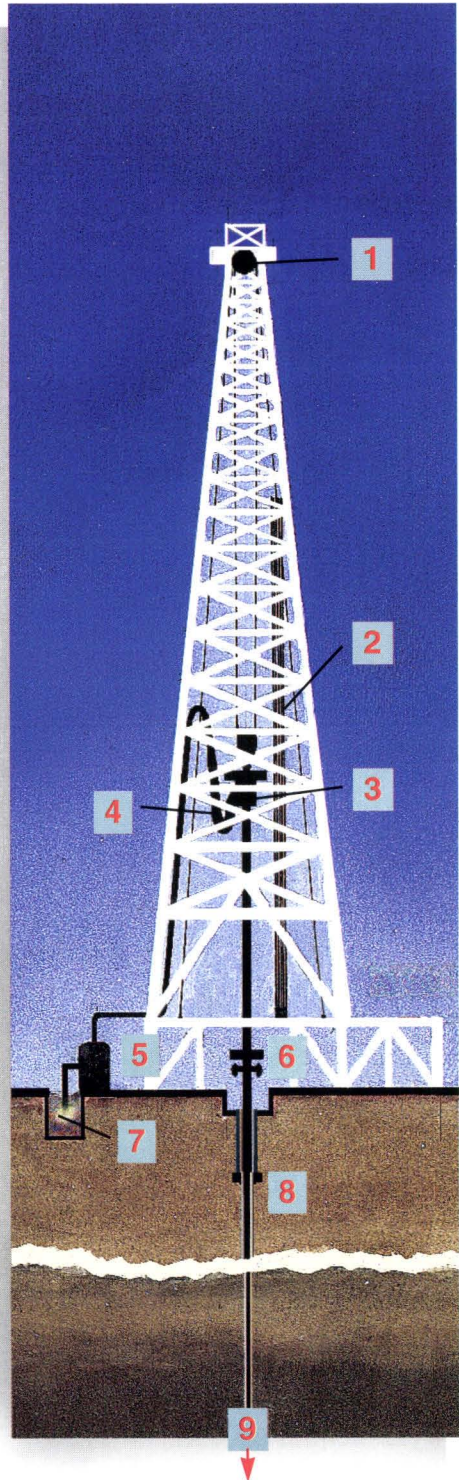


Fig. 19. Tegningen viser i skematisk form hvorledes boretårnet og hjælpemaskineriet er indrettet.

1. Talje. 2. Nye borerør.
3. El-motor der drejer borestammen.
4. Mudderslange. 5. Pumpe.
6. Ventiler. 7. Mudderbassin.
8. Borestamme. 9. Borekron (se fig. 20).



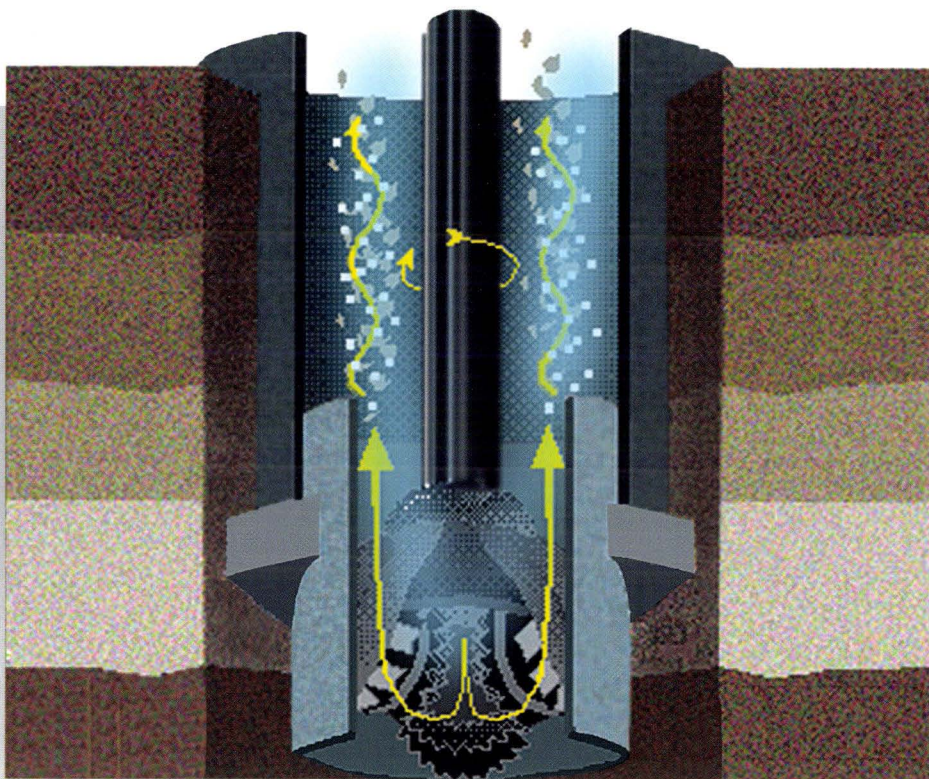


Fig. 20. Skematisk tegning der viser borestammen med borekronen nederst. Øverst på tegningen ses på begge sider af borestammen forerøret. Forerøret er i sin nederste ende støbt fast med en special type cement til den faste bjergart, eventuelt kan hele forerøret være erstattet af en cementstøbning. Borestammen roterer og afslider bjergartsstumper (cuttings). Boremudderet strømmer ned til borekronen inde i borestammen, tager bjergartsstumperne med og strømmer op til jordoverfladen på ydersiden af borestammen (angivet med pile).

forårsage, at hullet klapper sammen og lukker, hvis det kun er fyldt af luft. For at undgå dette, må der være et modtryk i borehullet. Det opnår man ved at fylde boremudder i hullet, medens der bores. Boremudder er vand med forskellige opløste og opslemmede stoffer, der gør mudderet tungere end rent vand. Boremudderets sammensætning bliver ændret i løbet af boringen, således at dets vægtfylde passer til de tryk, der findes i jorden. Foruden at modvirke trykket skal boremudderet afkøle

borestrengen og borekronen, der ellers ville blive meget varme. (Fig. 21).

Boremudderet pumpes ind øverst i borestrengen. Mudderet passerer ned gennem hele borerøret, og kommer ud nede ved rullemejslen i bunden. Herfra løfter boremudderet det løsnede materiale op til overfladen gennem det mellemrum, der findes mellem borestrengen og væggen i borehullet. (Fig. 20).

I borehullet sættes forerør af stål, en

Fig. 21. Borekrone.  
Borekronen her var i brug ved en boring ved Års i Himmerland den 9.-10. marts 1979.

Der blev boret i Fjerritslev-formationen fra juratiden fra 2659 m. til 2762 m. i løbet af 24 timer, og da var borekronen slidt op.

Sedimenterne der blev gennemboret var lersten og skifer med en mørk brun-sort farve.

Selve boringen nåede en dybde på 3401 m. og sluttede i Vinding-formationen fra øvre del af trias tiden.

For overskuelighedens skyld er borekronen fotograferet med de skærende tænder opad.



casing, hele vejen ned til bunden. Diameteren på forerørene er mindre og mindre, efterhånden som man kommer ned i jorden. Mellemmrummene mellem forerørene støbes til med cement, så foringen er helt tæt. Forerøret sættes i boringen for at forhindre, at det tunge boremudder trænger ud i lagene og sprænger bjergarterne i stykker.

Under indvinding fra boringen hindrer forerørene at olie og gas forsvinder ud i formationerne, og at vand trænger ind i brønden (borehullet).

### **Prøver**

Formålet med at bore er, at nå ned til de olie- og gasholdige lag. For at orientere sig om, hvor boret er nået til i den

geologiske lagfølge, tages der prøver af de lag boret går igennem.

De små bjergartsstykker, der bliver frigjort ved rullemejslens rotation, kommer op til overfladen sammen med boremudderet. Mudderet bliver derfor sigtet, og bjergartsfragmenterne, bore-spåner eller cuttings, bliver rensset for mudder. Prøver af cuttings, viser hvilke aflejringer der bores i, men der er en vis usikkerhed ved bestemmelsen af, fra hvilken dybde bjergartsfragmenterne stammer. (Fig. 22).

Under boringen bestemmes boremudders cirkulationstid med jævne mellemrum, og ud fra disse målinger kan transporttiden og dermed dybden for prøverne bestemmes.



*Fig. 22. Borepåner eller cuttings. Ved borearbejdet mejsles små stykker af bjergarterne løs, borepåner eller cuttings. Stykkerne føres med boremudderet op til jordoverfladen. Cuttings vaskes ud af boremudderet, og de små bjergartsstykker giver geologerne de første oplysninger om, hvilke formationer der børes i. Som målestok er benyttet en tændstik.*

Under transporten op til jordoverfladen kan det ikke altid undgås, at der sker en opblanding med andre sedimenter fra lagene højere oppe.

De bedste prøver er borekerner. Dem bliver der ikke taget så mange af. Det skyldes, at det er meget tids- og arbejdskrævende og derfor bekosteligt.

Når der skal tages borekerner skal hele borestrengen tages op, og en særlig type borekrone, en prøvetager, påsættes. Derefter skal borestrengen igen samles og sænkes ned. Når prøvetage-

ren er fyldt, skal borestrengen igen tages op, prøvetageren med borekernen tages af og den sædvanlige borekrone påsættes, og nok engang skal strengen samles og sænkes ned.

Prøvetageren er et cylinderformet rør, der har "savtænder" nederst og "modhager" indeni til at fastholde prøven.

Kernepróver bliver kun udtaget på steder, der er geologisk betydningsfulde eller vigtige for vurderingen af olie- eller gasforekomster. (Fig. 27).

# BOREHULLSLOGGING

## Hvordan "ser" hullet ud ?

Ved at sænke forskellige apparater, målesonder, ned i borehullet, kan man få noget at vide om de fysiske egenskaber hos de bjergarter, der er i borehullets vægge. Desuden kan man få en række teknisk betydningsfulde oplysninger om borehullets form og retning.

Det er mange typer af målinger, der kan foretages på denne måde, og metoden har den meget store fordel frem for prøvetagningen, at man kan få kontinuerlige oplysninger hele vejen ned. Endvidere at dybden, hvor målingerne foretages, hele tiden kan bestemmes meget præcist. Der er mange fordele ved at bruge borehullslogging, og metoden bliver derfor meget anvendt. Desuden er det ikke uvæsentligt, at metoden er billig i forhold til for eksempel kerntagning i boringen. (Fig. 23 og 24).

### Målingerne i borehullet

Logging i borehullet kan foregå løbende, medens der bores, men det er ikke så almindeligt. Normalt vil der blive logget, når man af borespånerne (cuttings) kan se, at der er sket interessante ændringer i sedimenterne. Når boringen har nået slutdybden, vil man normalt logge hele borehullet.

De målesonder, der sænkes ned i borehullet, er af flere forskellige typer. Sonderne hænger i en stålwire og sænkes ned ved hjælp af et spil. De elektriske signaler fra måleapparaterne i sonden føres i ledninger op til registreringsudstyr på jordoverfladen. Under målearbejdet kobles flere sonder sammen til

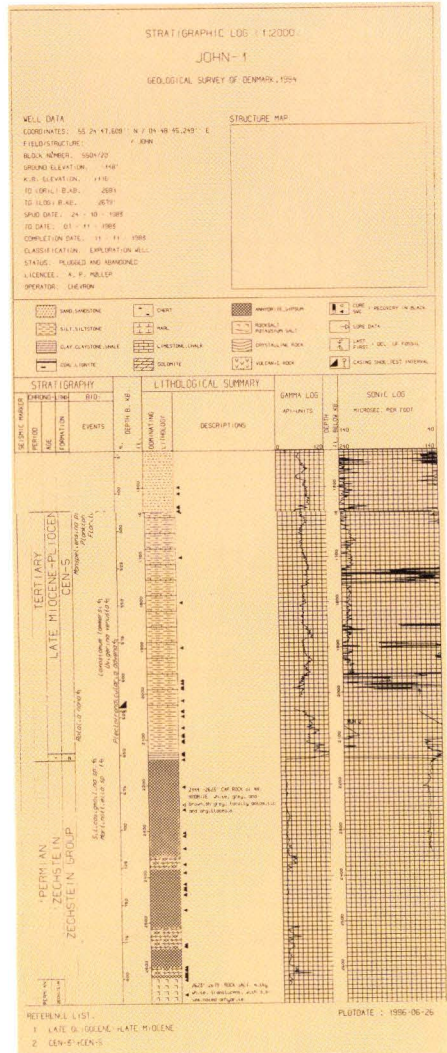


Fig. 23. Diagrammet viser en sammenstilling af forskellige undersøgelsesresultater fra en boring i Nordsøen.

en lang enhed, og det er den frie højde under boretårnet, der afgør hvor lang sondeenheden kan være.

Logtyper	Måling af:	Hvilke oplysninger får man?
Radioaktive	Naturlig gammastråling fra sedimenterne	<p>Der indeholder små mængder af radioaktivt materiale, men det gør sand sjældent. Ved målingen kan man derfor adskille de to sedimentter fra hinanden.</p> <p><b>Loggen kaldes ofte for en "gamma-log".</b></p>
	Neutronstråling fra kilde i sonden	<p>Neutronerne vil i sedimentet i særlig grad blive fanget af porevandets og olie-gassens brintatomer. Ved indfangningen udsendes lidt gammastråling, som måles af sonden.</p> <p>Målingen fortæller derfor om sedimenternes indhold af vand og olie-gas.</p> <p><b>Loggen kaldes ofte for en "neutron-log".</b></p>
	Gammastråling fra en kilde i sonden	<p>Gammastrålingen bliver delvis opfanget af atomerne i sedimentet. Hvor meget det opfanges er afhængig af elektrontætheden, der er afhængig af hvor tunge grundstoffer der er i sedimentet. Den tilbagekastede gammastråling er derfor et mål for sedimentets massefylde.</p> <p><b>Loggen kaldes ofte en "densitets-log".</b></p>
Akustiske	Lydens hastighed i sedimenterne	<p>I sonden er der flere lydgivere og -modtagere. Ved målingerne måles hvor lang tid en lydbølge er om at gennemløbe en fod af et sediment. Lydens hastighed er afhængig af, hvor tætte sedimenterne er, d.v.s. hvor meget porerum der er mellem mellem kornene.</p> <p><b>Loggen kaldes ofte en "sonic-log".</b></p>
Elektriske	Modstand og ledningsevne	<p>Mellem en afsender og en modtager på sonden sendes en elektrisk strøm ind i borehullets væg. Spændingsfaldet mellem elektroderne er et mål for modstanden eller ledningsevnen i sedimenterne. Mineralkornene er dårlige elektriske ledere, men det er det salte vand i porene ikke; Den elektriske modstand er derfor et mål for mængden af vand i sedimenterne, og det vil sige porøsiteten.</p> <p>Der anvendes flere forskellige typer af måleudstyr og målinger.</p> <p><b>Loggen kaldes ofte "el-log".</b></p>
Mekaniske	Borehullets diameter	<p>Boret laver i princippet et cirkulært hul med en diameter som borekronens. I løse og opsprækkede sedimentter kan hullet blive både større og få en uregelmæssig facon.</p> <p>Oplysninger om borehullets "udseende" fortæller noget om bjergarternes fasthed, de er betydningsfulde for beregning af mængden af boremudder, og de er vigtige for gennemførelsen og vurderingen af de andre logmetoder.</p> <p><b>Loggen kaldes ofte "kaliber-log".</b></p>

Ved at sammenligne med boreprøverne, brug af erfaring fra andre borer og forsøg i laboratoriet med bjergarts-

prøver, kan geologerne tolke de svingende kurver, der er resultatet af en borehulslogging.

## DEN GEOLOGISKE HISTORIE STYKKE SAMMEN

37

I de foregående afsnit er der fortalt om de mange og forskellige typer af oplysninger om jordens opbygning, der kan samles under efterforskningsarbejdet.

Selvom de oplysninger, der er samlet, er mange og kan virke overvældende, må man have for øje, at de kun repræsenterer det sted, hvor de er målt, det vil sige borehullerne eller langs de seismiske profillinier. I den del af jordskorpen, der ligger mellem målepunkterne, findes der ingen oplysninger. Det er naturligvis utilfredsstillende. Derfor forsøger geologerne, på forskellig måde at danne sig et billede af, hvad der findes mellem observationsstederne. Det kan ske ved sammenligning med andre steder, med lignende forhold, hvor der er flere oplysninger. Eller man kan sammenligne med nutidige miljøer af samme type. Hvis de geologiske forhold synes at variere meget, kan det blive nødvendigt, at der udføres fornyede undersøgelser så observationstætheden bliver større.

De oplysninger, man har samlet, stykkes sammen til et helhedsbillede af den geologiske historie i området.

Det er selvfølgelig tilfredsstillende fra et videnskabeligt synspunkt at udforme en samlet forestilling om, hvad der er sket. Men det er også af væsentlig betydning for det fortsatte arbejde med at finde værdifulde forekomster af olie og gas. Når man har et samlet billede af et geografisk områdes geologiske historie, kan man lettere og med større sikker-

hed udpege lag og strukturer, det lønner sig at ofre lidt mere opmærksomhed på.

I praksis vil arbejdet typisk forløbe således, at de indsamlede oplysninger bearbejdes ud fra tre forskellige synsvinkler, der dog gensidigt påvirker hinanden.

De tre synsvinkler er:

- Lagenes alder (stratigrafi)
- Lagenes dannelsesmåde (sedimentologi)
- Hvorledes lagene ligger i undergrunden, og hvilke processer kan have forandret de oprindelige lejringsforhold (strukturgeologi eller tektonik).

*Fig. 24. Oversigt over logging typer.*

◀ Ved borehulslogging måles en række fysiske forhold ved bjergarterne i borehullets vægge, og resultaterne giver vigtige og kontinuerlige oplysninger om bjergarterne.

*I skemaet er nogle af de mest benyttede log-metoder omtalt.*

## Lagenes aldersforhold, stratigrafi

Som et grundprincip gælder det, at en aflejring, der ligger oven på en anden aflejring, er yngre end den underliggende.

Men ved omhyggelige undersøgelser og sammenligning med aflejringer andre steder, kan man få mange flere oplysninger om aldersforholdene.

Det er formålet med disse undersøgelser, at klarlægge, hvornår i jordens historie dannelsen af aflejringerne er sket.

Ved at bearbejde oplysningerne og prøverne på forskellige måder kan tre stratigrafiske profiler sammensættes.

### *Det litostratigrafiske profil*

Sedimenternes sammensætning, laggrænsernes placering og lagenes alder i forhold til hinanden beskrives, og oplysningerne sammensættes til et litostratigrafisk profil.

### *Det biostratigrafiske profil*

Ved andre analyser undersøges sedimenternes indhold af forsteninger, fossiler. Forsteninger af store dyr eller planter er sjældne i borekernerne, men der er ofte mange mikrofossiler. I havaflejringer har navnlig to grupper mikrofossiler vist sig anvendelige til stratigrafiske studier. (Fig. 25 og 26).

Det er foraminiferer, som er encellede dyr, og det er dinoflagellater, der er encellede planktonalger.

I kontinentale aflejringer d.v.s. aflejringer afsat på landjorden studeres sedimenternes indhold af forskellige pollen (blomsterstøv) og sporer (formeringsskim fra mosser, bregner, svampe og bakterier).

Disse analyser fører frem til et biostratigrafisk profil, hvor grænserne mellem

forskellige zoner ikke behøver at være sammenfaldende med de grænser, der er fundet da det litostratigrafiske profil blev tegnet.

De fundne biostratigrafiske zoner kan, ved sammenligning med andre profiler, bruges til at angive alderen på de undersøgte bjergarter.

### *Det kronostratigrafiske profil*

Ved at sammenholde de to foregående profiler med hinanden, og navnlig ved at sammenligne med forholdene andre steder, kan aflejringeres alder bedømmes. Derved opnåes et kronostratigrafisk profil.

I dette profil henføres lagene til de forskellige perioder i jordens historie, for eksempel kridtperioden eller juraperioden.

En angivelse af en absolut alder i millioner år kan opnåes ved hjælp af radioaktiv datering. En sådan datering kan kun foretages på specielle bjergarter (bl.a. visse vulkanske). Når der sættes en alder på aflejringerne fra for eksempel Nordsøen, sker det ved sammenligning (korrelation) med kronostratigrafiske profiler fra steder, hvor man har en absolut datering.

### *Aflejringsmiljøerne*

Ved at studere lagenes sammensætning (kornstørrelse, mineraler, fossiler) og strukturer (den måde materialet er lejret på) er der mulighed for at geologerne kan bestemme, i hvilket miljø en aflejring er blevet afsat.

Fra et nutidigt hav ved vi, at de sedimentter havet aflejrer kan være meget



Fig. 25. Dinoflagellat. Dinoflagellater er en gruppe af encellede alger, der lever svævende i havet. Arterne har karakteristiske former, og deres skaller af et kitinagtigt stof bevarer overordentlig godt i sedimenterne. Da artssammensætningen ændrer sig fra aflejring til aflejring og fra periode til periode, er dinoflagellaterne særdeles egnede til undersøgelse af lagenes aldre.

forskellige fra sted til sted. For eksempel aflejres i marsken ved Sønderjyllands vestkyst et meget finkornet sediment, medens der langs Vendsyssels vestkyst aflejres sand og grus. Også ude på den egentlige havbund aflejres forskellige typer af sediment. Der eksisterer således, samtidigt, forskellige aflejringssmiljøer i samme bassin. I fortidens aflejringssbassiner var der også samtidigt forskellige aflejringssmiljøer og dermed forskellige sedimenttyper rundt om i bassinet. Forståelsen af udviklingen i et bassin er vigtig for bedømmelsen af, hvor olie og gas kan være dannet, og hvor det kan have samlet sig. (Fig. 27).

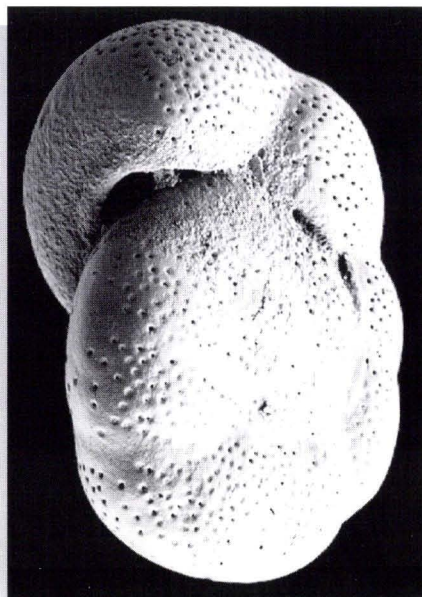


Fig. 26. Foraminifer. Foraminiferer er en gruppe af encellede dyr, der egner sig til undersøgelser af lagenes aldersforhold. Dyret på fotografiet har en kalkskal. Kalkskallens udseende er karakteristisk for hver art. Der findes andre typer, som ikke har kalkskal; i stedet opbygger de en slags skal ved at fæstne sandkorn i deres overflade. Til trods for deres skørhed kan de findes i visse sediment.

### Hvordan ligger lagene?

På det tidspunkt da sedimenterne blev aflejret, lå de i almindelighed vandrette over store områder. Fra de seismiske undersøgelser ved vi, at sådan ligger lagene i de fleste tilfælde ikke mere. Lagene kan være foldede som følge af tryk og udskridninger, eller, hvad der er det hyppigste i Nordsøen, være forkastet i blokke. Langs sprækkezoner, forkastningszoner, har store og små områ-





Fig. 27. Borekerne. Kernen består af et sandet sediment fra jura aflejringerne i Nordsøen. Aflejringerne er lagdelt med lag af sand med forskellig kornstørrelse. Lagdelingen er brudt op af to typer af "forstyrrelser"; nogle lodrette og nogle runde strukturer. Forstyrrelserne skyldes to forskellige arter af krebsdyr, der har gravet i havbunden.

Sedimentet og gravegangene tyder på, at aflejringerne er sket på lavt vand, hvor bølgenes virkning har nået bunden.

Eksemplet viser, at studiet af sedimenterne kan fortælle om det miljø, hvori aflejringerne er blevet til.

der bevæget sig op og ned. Ved disse bevægelser kan der også være sket kipping af blokkene.

En form for forstyrrelser, der har særlig interesse i det danske område, er knyttet til salthorstene. Da stensalt er lettere end de andre sedimenter i undergrunden, vil det søge opad; det sker i salthorstene. Sedimentlagene udenom salthorstene trækkes med op, således at de danner buede, opadgående lag.

For med størst mulig sikkerhed at kunne lokalisere fælder, hvor olien og gasen kan have samlet sig, er det vigtigt at have kendskab til typen, mønstret og rækkefølgen af de ændringer af lejningsforholdene, (deformationer), der har påvirket aflejringerne.

# RESERVOIRKORTLÆGNING

Ved hjælp af de tidligere omtalte geologiske og geofysiske metoder, kan vi nu forestille os, at der er fundet et olie-gas reservoir i undergrunden. For at kunne vurdere om en forekomst kan udnyttes kommercielt, må forekomsten kortlægges detaljeret, og der må opbygges en model af reservoiret. Formålet er, for olieselskabet, at skabe sikkerhed for, at indvindingen er økonomisk rentabel. Det vil sige om mængden af olie eller gas, der kan forventes at kunne produceres, står i et rimeligt forhold til de investeringer, der er nødvendige for at udbygge feltet.

For den statslige energiadministration er kortlægningen af et reservoir vigtig for at sikre, at så stor en del af olien og gassen som muligt hentes op til jordens overflade.

Beskrivelsen af et reservoir kræver et omfattende undersøgelsesarbejde. Reservoirets udstrækning i både horisontal og vertikal retning skal kortlægges. Ligeledes skal udstrækningen af de gasholdige og de olieholdige horisonter kendes. For at kunne beregne mængden af olie og gas skal porøsiteten og mætningsforholdene mellem olie, gas og vand kendes i de sedimente, som danner reservoiret. For at kunne vurdere, hvor meget der vil kunne indvindes, skal man også have kendskab til permeabiliteten i bjergarterne, trykforholdene i reservoiret samt oliens og gassens sammensætning og egenskaber.

## Reservoirets form og størrelse

Målet med disse analyser er, at nå frem til en detaljeret rumlig model af reservoirets opbygning og udstrækning.

Ved disse analyser inddrages alle de oplysninger, der er samlet gennem boringerne, ved de seismiske undersøgelser, ved logging i borehullerne, og ved de geologiske undersøgelser af prøverne fra boringerne.

Et vigtigt værktøj ved kortlægningen af et reservoirs geometriske form er EDB-udstyr med en grafisk arbejdsstation. Med et sådant udstyr kan der udarbejdes den 3-dimensionelle model af reservoirets form, der bedst muligt tager hensyn til alle de omtalte oplysninger. (Fig. 28).

## Fysiske forhold i reservoiret

### *Sedimenterne*

Ved de petrofysiske (petros = sten) undersøgelser bestemmes forskellige betydningfulde egenskaber i reservoirets bjergarter. Målingerne sker dels i borehullet ved logging dels i laboratoriet på boreprøver.

De egenskaber, det er vigtigt at få kendskab til, er følgende:

**Porøsitet**, der er et udtryk for hvor meget porerum, der er mellem bjergartskornene.

**Permeabilitet** eller gennemstrømmelighed er et udtryk for hvor let en bjergart lader olie og gas passere igennem. Det er en egenskab, der i reservoirbjergar-

terne i den danske del af Nordsøen giver anledning til vanskeligheder ved indvindingen. Olien og gassen findes i en meget finkornet kalk af samme type som skrivekridtet i Møns klint. Porøsiteten er stor, hyppigt 30% eller mere, men porerne er meget små, og derfor har olien og gassen vanskeligt ved at strømme gennem bjergarten. Permeabiliteten er lille.

**Olie-, gas- og vandmætningen**, der er et udtryk for hvor meget olie, gas og vand bjergarten indeholder.

**Fraktureringsgraden** (fraktur = brud) er en angivelse af, hvor opsprækket bjergarten er. Det er af stor betydning at vide, idet sprækker gør det meget let for olien og gassen at bevæge sig i sedimentet. Sprækkedannelsen kaldes en sekundær permeabilitet.

Det er derfor meget lettere at få olien ud af en stærkt sprækket bjergart end en massiv bjergart.

**Den kapilære sugsevne.** Olien ligger mellem kornene i sedimentet, i porer-

ne. Jo mindre porerne er, desto mere vil oliens overfladespænding hindre den i at bevæge sig. I en bjergart med mange små porer "sidder olien mere fast" end i en bjergart med samme porøsitet, men hvor mellemrummene mellem kornene er større.

**Bjergarternes styrkeforhold.** Under og efter indvindingen vil trykforholdene i undergrunden ændre sig, og det er derfor vigtigt at kende til, hvormeget bjergarterne kan tåle uden, at der opstår forskydninger.

**Kulbrinterne.** Oliens og gassens egenskaber analyseres i laboratoriet på prøver hentet i borerne. Der er flere typer; nogle olier er meget tunge og sejtflydende, medens andre er lette og flygtige. Disse egenskaber har betydning når olien skal indvindes.

**Trykforhold.** Trykforholdene i reservoiret fastlægges ved målinger i borerne og ved beregninger på grundlag af tidligere omtalte oplysninger fra logningen og bjergartsprøverne fra boringen.

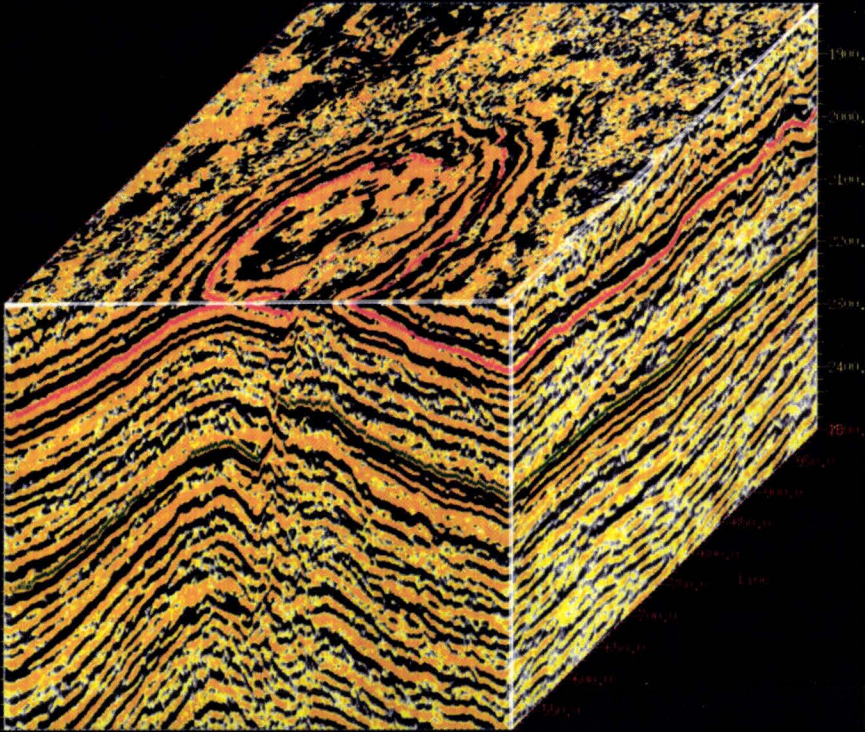


Fig. 28. Blokdagrammet er fra Danfeltet i Nordsøen.

For at få så detaljeret et billede af, hvorledes jorden er opbygget, lægges et tæt net af seismiske linier over feltet. Der er i dette tilfælde 25 meter mellem de seismiske linier. Ved hjælp af EDB kan de mange profiler sættes sammen, og derved danne en 3-dimensionel model af undergrunden. Under tolkningsarbejdet ved billedskærmen kan blokken drejes, og der kan laves vilkårlige snit i både vandrette og lodrette planer.

Den røde linie angiver toppen af kalkaflejringerne og den grønne bunden af disse aflejringer. Figuren viser at lagene er trykket opad i en bule. Det skyldes et opadgående tryk fra saltaflejringer længere nede. På et tidspunkt er lagene i bule knækket langs en forkastningszone, og den venstre side af blokken er gledet nedad. Forkastningen ses på den lodrette flade i blokkens front, og i toppen af blokken (forskydningen af de blå og okkerfarvede områder midt på fladen).

Ved hjælp af detaljerede modeller som denne kan geofysikerne beskrive et olie-gasreservoirs form meget præcist. Det giver derefter mulighed for at beregne mængden af olie og gas i reservoiret. Den 3-dimensionale model giver også muligheder for at bedømme hvor indvindingsboringerne mest fordelagtigt skal sættes ned.

# OLIE- OG GASFOREKOMSTER I DANMARK

44

Det er ikke altid muligt før en boring påbegyndes, at få sikker viden om tilstedeværelsen af olie- og gasforekomster i undergrunden, selvom efterforskningselskaberne udfører mange undersøgelser for at få denne viden. De mange boringer, der er udført i det danske område, uden at der er fundet olieforekomster, vidner om, hvor vanskeligt det er. Fra et økonomisk og produktionsmæssigt synspunkt er de såkaldte tørre boringer uheldige, men fra et geologisk synspunkt er de naturligvis meget værdifulde. De mange boringer og andre undersøgelser, der er udført i løbet af de sidste 50 år, har i væsentlig grad øget vor viden om undergrunden. Det er en viden, der selvfølgelig benyttes af efterforskningselskaberne ved planlægningen af nye projekter, så arbejdet kan på ingen måde siges at have været nytteløst.

Som tidligere omtalt skal en række geologiske betingelser være opfyldt, for at olie og gas kan blive dannet, og for at det kan blive fanget i reservoirer. Hvis kun nogle af betingelserne er opfyldte, vil man lede forgæves.

I det danske landområde, i Kattegat og i Skagerrak, findes strukturer og aflejringer, der er egnede som fælder for olie og gas. Der er dog endnu ikke fundet forekomster, der skønnes at være til at udnytte på kommerciel basis. I de nævnte havområder er der kun boret ganske få boringer, og derfor er kendskabet til aflejringerne begrænset. Det er af den grund vanskeligt at sige om mangelen på olie-gas fund skyldes manglende efterforskning eller om omdannelsen af mulige kildebjergarter ikke er kommet tilstrækkeligt langt.

I den centrale del af Nordsøen, i Centralgraven, er alle betingelserne opfyldt. De meget tykke, lerede juraaflejringer er kommet ned på godt 3000 meters dybde, hvor temperaturen er høj nok til, at det organiske materiale er blevet omdannet til olie og gas.

De overliggende aflejringer af kridt danner reservoirbjergart. Over kridtaflejringerne findes lerede tertiære aflejringer, der hindrer yderligere opstigning af olien og gasen.

## Indvindingen

Hele den danske produktion af olie og gas kommer fra Centralgraven i Nordsøen. Det har hidtil været fra kridtaflejringerne, at olien er blevet hentet, men det har nu vist sig, at der også findes reservoirer i nogle sandstensaflejringer.

Teknisk er det lettere at få olien ud af sandsten end af den finkornede kalk, så der er store forhåbninger til sandstensreservoirerne.

Kalkstenen har meget små porerum, og derfor er det vanskeligt at få olien ud. For få år siden var det kun muligt at få

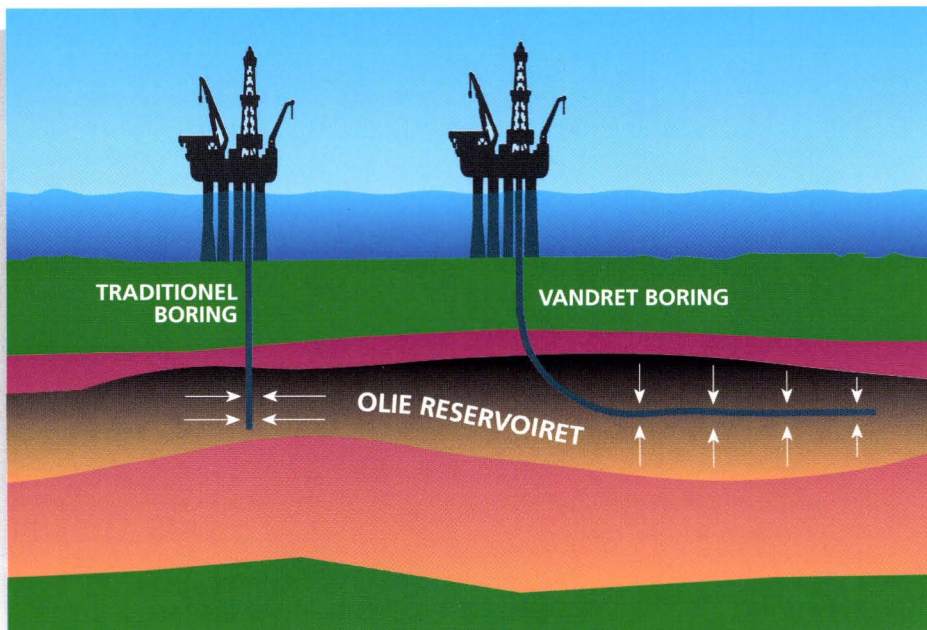


Fig. 29. Boringstyper. En vandret boring har en større "berøringsflade" med det olie- eller gasholdige lag, og den kan derfor yde en større mængde end den traditionelle lodrette boring.

5% af olien ud, som er indesluttet i reservoirbjergarten, men gennem forskellige tekniske forbedringer har det været muligt at nå op på omkring 19%. Det er, når vi sammenligner med andre oliefelter rundt om i verden, en meget lav indvindingsgrad, og derfor søger man gennem omfattende forskningsprogrammer at finde nye metoder til at få mere olie ud af kalkstenen.

I bestræbelserne for at udnytte reservoirerne bedst muligt, er det i Nordsøen lykkedes at udvikle en ny boreteknik.

I en traditionel, lodret boring er "berøringsfladen" mellem reservoirbjergarten og boringen begrænset til lagets tykkelse. I den nye type vandrette borer bliver den flade i boringen, der

giver mulighed for indsvining af olie meget større, og der kommer derfor mere olie fra en sådan boring end fra en traditionel, hvis forholdene ellers er ens. (Fig. 29).

### Samfundet og olie-gas forekomsterne

Olie og gas repræsenterer betydelige ressourcer for Danmark, og deres økonomiske og strategiske betydning kan næppe overvurderes. Det er vigtigt for samfundet at sikre en optimal og hensigtsmæssig udnyttelse af det danske olie- og gaspotentiale.

På statens vegne er det Miljø- og Energiministeriet, der varetager forvaltningen af ressourcerne. Det er således dette ministerium, som udliciterer efterforsk-



ningsområder og tildeler rettigheder til efterforskning og indvinding. (Fig. 30). Danmarks Geologiske Undersøgelse har et tæt samarbejde med energiadmini-

strationen om de geologiske forhold vedrørende olie- og gasforekomsterne. DGU arkiverer også alt undersøgelsesmateriale og alle boreprøver.



Fig. 30. Kort over olie- og gasfelterne i Nordsøen, samt indvindings- og raffineringstillationer på dansk grund.



# ILLUSTRATIONSKILDER

Omslagsfoto: David J. Jutson, DGU.

Fig. 1. Foto: S. Munck.

Fig. 2. Foto: S. Hansen.

Fig. 4, 5 og 27. Efter S. Hultberg, 1992.

Fig. 9. Modifieret efter Tissot and Welte, 1978.

Fig. 10. Foto: C. Guvad, DGU.

Fig. 12, 13, 14, 16 og 29. Efter N. P. Christensen og N. Stentoft, 1993.

Fig. 17 og 28. Efter I. Abatzis, DGU.

Fig. 18. Efter O. V. Vejrbæk og P. Britze, 1994, DGU.

Fig. 19. Efter S. Allin, Geologi for Enhver, Jens Morten Hansen, 1984, DGU.

Fig. 23. Efter F. Nyhuus Kristoffersen, 1986, DGU.

Fig. 25 og 26. Efter DGU information, december 1994.

Fig. 30. Sammenstillet kort på grundlag af oplysninger fra Norsk Hydro, 1990, Statoil, 1990 og Komgas, 1994.

## BENYTTET LITTERATUR

### ***N. P. Christensen og N. Stentoft, 1993:***

Temanummer om olie- og gasindvinding. DGU information Nov. 1993.

### ***O. Winther Christensen, Peter Japsen og Arne Dinesen. 1989:***

Reservoirkortlægning. DGU, Årsberetning for 1988.

### ***Energiplan 81.*** Energiministeriet.1981.

### ***P. Frykman og N. Stentoft. 1991:*** Oliedråbens skæbne. DGU, Årsberetning for 1990.

### ***J. M. Hansen. 1984:*** Geologi for enhver. DGU og Geografforlaget.

### ***S. Hultberg. 1992:*** Olieeftersforskningen i Nordsøen. DGU Årsberetning for 1991.

### ***S. Hultberg. 1992:*** Nordsøen - geologi og olie. Geografisk Orientering.

### ***N. Mikkelsen, J. Tulstrup, E. Thomsen, K. Lieberkind, F. O. Rasmussen og C. Langtofte***

### ***Larsen. 1991:*** Oliegeologi for ikke-geologer. DGU datadokumentation nr. 4. 1991.

### ***Saltfundet ved Harte. 1948:*** Beretning afgivet af udvalg til revision af Undergrundsloven.

## LITTERATUR TIL VIDERE LÆSNING

DGU information nr. 3, 1984: Seismik.

DGU information nr. 2, 1985: Optisk måling viser olie/gasdannelse.

DGU information nr. 1, 1986: Oliejagten intensiveres - nye licensudstedelser på vej.

DGU information nr. 1, 1986: Geologiske forudsætninger for at udnytte olie- og gasfund.

DGU information nr. 2, 1986: Olieforskning på mikroniveau.

DGU information nr. 1, 1987: Oliens fingeraftryk.

DGU information nr. 1, 1987: Ny metoder i olieeftersforskningen.

DGU information nr. 1, 1988: Matematik ind i olieeftersforskningen.

DGU information nr. 1, 1990: Sådan opstår et oliereservoir i sandsten.

DGU information nr. 3, 1991: Olie/gas potentialet i Danmark.

DGU information Nov., 1993: TEMANUMMER om olie- og gasindvinding

ENERGI-NYT, Nyhedsblad fra Energistyrelsen, september 1990,

Temahefte: Olie- og gaseftersforskning.

Olie og gas i Danmark. Eftersforskning og produktion.

Årsrapporter fra Energistyrelsen.

**Kort fortalt nr. 4**  
**ISBN: 87-89813 -11-1**  
**ISSN: 0905-894X**

I Danmark indvindes olie og gas kun i Nordsøen. I et første afsnit skildres Nordsøens geologiske historie og baggrunden for forekomsterne af de værdifulde energiråstoffer i dette havområde.

Bogen giver en kortfattet oversigt over de materialer og processer, der danner olie og gas i de geologiske lag. For at finde forekomsterne af olie og gas nede i jorden bruges forskellige undersøgelsesmetoder. Der fortælles om undersøgelserne og om de oplysninger de giver.

#### **Kort fortalt**

*- er tænkt som en række af små bøger, der præsenterer geologiske emner på en lettilgængelig måde.*

*Det er håbet, at den glæde fagfolkene har ved geologien kan smitte af på læserne, så geologiske synsvinkler i højere grad end hidtil vil indgå i naturforståelsen og diskussioner om miljøet.*



**Miljø- og Energiministeriet**  
**Danmarks Geologiske Undersøgelse**

**OLIE OG GAS I DANMARK**