

Hvad gemmer Nordsøen ?

BAGGRUNDEN FOR GAS OG OLIE

af Lone Svensson & Erling Bondesen

Varv har fra tid til anden bragt notitser om borerne efter olie i den danske sektor af Nordsøen, men det har gennemgående været meget begrænset, hvad der har været af geologiske informationer i de små meddelelser. Det har sin forklaring i, at Varv stort set kun har haft de samme korte pressemeddelelser at bygge på som pressen i øvrigt. Den geologiske viden, som borerne har ydet, er Dansk Undergrunds Consortiums ejendom og har ikke kunnet frigives, hverken af selskabet eller af Danmarks Geologiske Undersøgelse, som selskabet har indberetningspligt til. Den manglende frigivelse af de geologiske informationer må ses ud fra den betragtning, at en sådan viden kunne komme konkurrenterne i jagten efter olie til gode, selv om konkurrenceforholdene med den danske koncessionsordning er yderst begrænset.

I de senere år har forsyningskriserne, der i hvert fald i producentledet har betydet en mindre intensiv konkurrence, tilsyneladende medført en større åbenhed. Der foreligger derfor nu efterhånden en del oversigter, så et helhedsbillede af Nordsøens geologi og af olie- og gas-forekomsternes geologiske beliggenhed nu kan sammenstykkedes.

Omkring 1960 vidste man praktisk talt intet om geologien i Nordsøen. I 1959 havde man fundet det store gasfelt ved Groningen i Holland, og interessen vendte sig derefter mod havområderne i den sydlige Nordsø. I løbet af de næste 5-6 år opdagedes der såvel på hollandsk som på engelsk område en lang række nye gasfelter, og med geofysiske metoder gik man i gang med også at undersøge de nordligere havområder, samtidig med at de havretslige forhold afklarede på baggrund af Geneve-konventionen fra 1958. Danmark var på dette område det første land, der i 1963 ratificerede den i konventionen foreslåede grænsedragning.

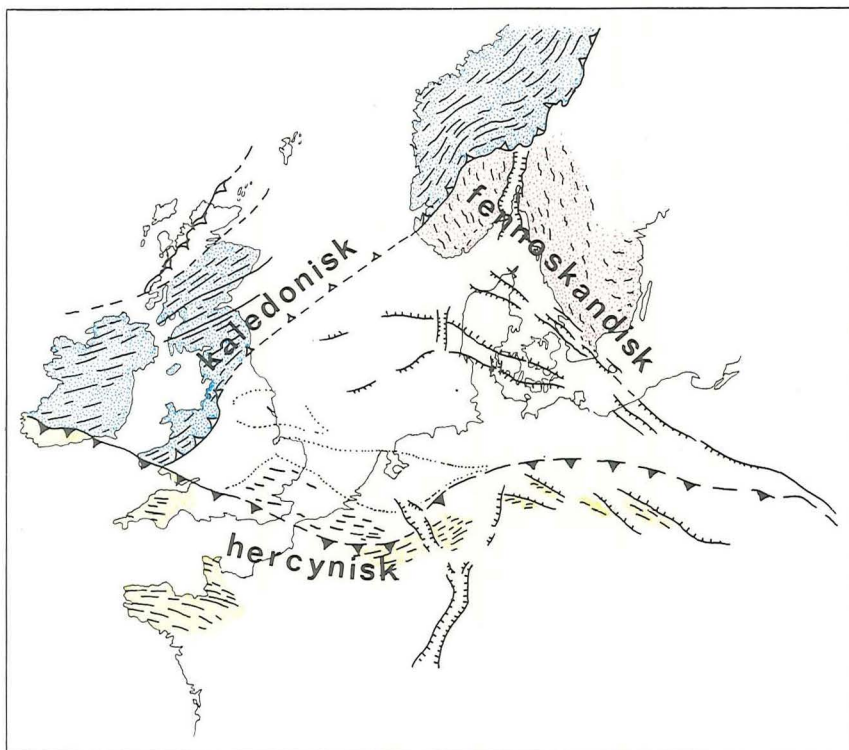
Så snart geofysikkens resultater og de nationale ejendomsforhold forelå, blev der sat ind med borerne også i den nordligere Nordsø (England 1964, Tyskland 1965 og den første danske boring til søs i 1966). Det blev imidlertid først i 1970, at de egentlige produktive oliefelter fandtes, f.eks. Ekofisk-feltet i den norske sektor i oktober 1970. Derefter er det gået slag i slag, således at kortet over olie- og gas-felter nu ser ud som vist i fig. 1.

De strukturelle rammer

De strukturelle rammer for Nordsø-bassinet kan i store træk beskrives som et trekantet område, der er knyttet til det europæisk-asiatiske kontinents

rand. Området begrænses i nordvest af den kaledoniske foldekæde (i det nuværende Skotland, Norge, Østgrønland og Spitsbergen) og i syd af den variskiske foldekæde (tværs gennem Mellemeuropa, Belgien, Nordfrankrig og Sydengland). Den nordøstlige begrænsning af det trekantede område udgøres af det fennoskandiske grundfjeldsskjold.

Mens det fennoskandiske grundfjeldsskjold, der udgør kontinentets dybeste og efterhånden fremeroderede dele, er af Prækambrisk alder (varierende fra 800 til 2700 mill. år), er de to foldekæder dannet i Palæozoisk tid, således at den kaledoniske kæde dannedes først (i Ordovicium/Silur) og den variskiske sidst (i Øvre Devon/Karbon). Set i lyset af pladetektonikteorien, der er behandlet tidligere i Varv, er de to kæder resultatet af lukningen af



Figur 1. De geologiske hovedstrukturer i Nordeuropa. Nordsø-bassinets område begrænses af henholdsvis den kaledoniske, den variskiske eller hercyniske foldekæde samt det feno-skandiske grundfjeldsskjold.

to oceaniske områder langs zoner, hvor jordskorpen dykker ned og absorberes i den dybere kappe, og hvor der er stor kompression resulterende i dannelsen af foldekæder. Det kaledoniske ocean kan siges at have svaret til Atlanten i dag.

I forlandet til de to kæder dannedes det komplicerede mønster af blokke, brudlinier og bassiner, der danner grundlaget for den strukturelle udvikling i Nordsø-området.

Linierner

Det første sæt af linier dannedes i forbindelse med den kaledoniske bjergkædedannelse og efterfølgende efterjusteringer med overvejende nord-vest-sydøstlig retning. Disse linier udgøres af f.eks. den fennoskandiske randzone (Tornquist-linien) og det aflange danske sænkingsområde. Fyn-Ringkøbing-ryggen, som er en fremtrædende struktur i den danske undergrund, må også anses for at være anlagt i forbindelse hermed.

Det andet sæt af linier, der blev anlagt i forbindelse med den variskiske foldning, forløber dels mere nord-syd følgende den såkaldte rhinske retning og dels øst-vest, såkaldte hercyniske retning. Det linesæt, der løber i nord-sydgående retning, ses især tydeligt i Oslo Graven og Horn Graven, der begge er gravsænkingsstrukturer, samt i saltryggene i Nordtyskland. De østvestlige lineamenter, der især er af betydning, følger retningen af den variskiske foldekæde, og passer desuden med længdeakserne i de nord herfor beliggende trug.

Mens den kaledoniske foldning og de postkaledoniske efterjusteringer og kædens nedbrydning gav sig udslag i tykke lag af røde kontinentale sandsten (Old Red Sandstone) i Devon, er de variskiske efterjusteringer og nedbrydning og den efterfølgende sedimentation i Øvre Karbon præget af de store mellemeuropæiske kulførende lagserier, der strækker sig fra Schlesien over Ruhr, Holland og Belgien til Midtengland.

Langt nordpå i det variskiske forland er Oslo Gravens vulkanske provins et dominerende træk.

Med begyndelsen til Perm var der således i Nordeuropa og i Nordsø-området etableret et underlag og et brudmønster for senere aktiviteter, som helt overvejende blev sedimentation i relation til det strukturelle mønster under indflydelse af skiftende klimaforhold. Dette sub-Permiske underlag kaldes også i olieprospekteringsmæssig sammenhæng for det økonomiske underlag, "economic basement". I henseende til olie- og gaseftersøgning opfattes de endnu ældre og mere dybtliggende bjergarter således som uinteressante.

De bjergarter, der i Nordsø-området danner "economic basement", er i overensstemmelse med den ovenfor beskrevne udvikling:

Prækambrisk grundfjeld (graniter og gnejser)
Kaledoniske metamorfoserede bjergarter
Prækambriske dæklag (som f.eks. Neksø Sandsten)
Palæozoiske sedimenter (Kambro-Silure skifre og kalksten)
Kaledoniske nedbrydningsprodukter (Old Red Sandstone)
Variskiske nedbrydningsprodukter (blandede sedimenter og kul)

Bassinudvikling

Den første fase i udviklingen af Nordsø-bassinet og de tilgrænsende områder inden for de ovenfor beskrevne strukturelle rammer omfattede sedimentation af kontinentale røde sandsten og skifre afsat under ørkenagtige klimaforhold. Denne sedimentation var begrænset til Perm-periodens nedre del - Rotliegendes. Den næste fase kom i Øvre Perm - Zechstein - og er præget af dannelsen af store inddampningsbassiner, hvor fordampningen under de ørkenagtige klimaforhold blev så stor, at det førte til dannelsen af saltbjergarter (evaporiter) som karbonater, sulfater, klorider med både stensalt og i nogle tilfælde også kalisaltes. Der er tale om to store bassiner, det nordtyske og det danske, adskilt af Fyn-Ringkøbing-ryggen. Det kraftige indsynkning i de to bassiner medførte aflejring af op til ca. 1000 m salte i fire cykler.

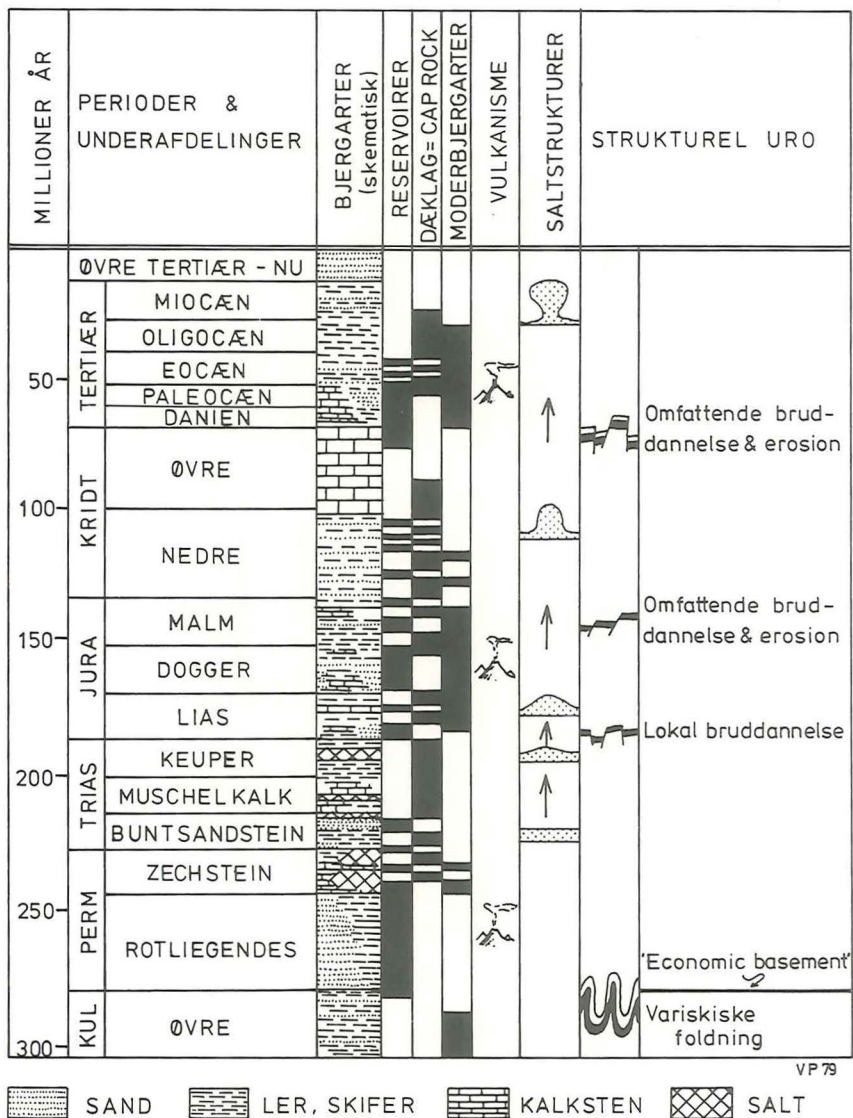
Den tredje fase startede med sedimentationen i Nedre Trias (Buntsandstein), hvor store dele af bassinets nordlige del vendte tilbage til kontinentale forhold, præget af røde sandsten og skifre med lokale salthorisonter. I Mellem til Øvre Trias (Muschelkalk og Keuper) kom det til aflejring af marine kalksten og skifre, og der skete en gradvis klimændring til mere tempererede forhold med nedbør.

Strukturelt skete der i sedimentationsområdet en justering af gamle kaledoniske og hercyniske linier. Dels skete en indsynkning af bassinerne på begge sider af Fyn-Ringkøbing-ryggen og langs den fennoskandiske randzone, og dels medførte Trias-sedimenternes belastning oven på Zechstein-saltet, at dette mobiliseredes og gennem plastisk flydning begyndte at danne saltstrukturer - puder og gennembrydningsstrukturer (diapirer). I det nordtyske bassin skete det under stærk indflydelse af nord-sydgående rhinske strukturer, resulterende i dannelse af saltrygge eller saltkulisser.

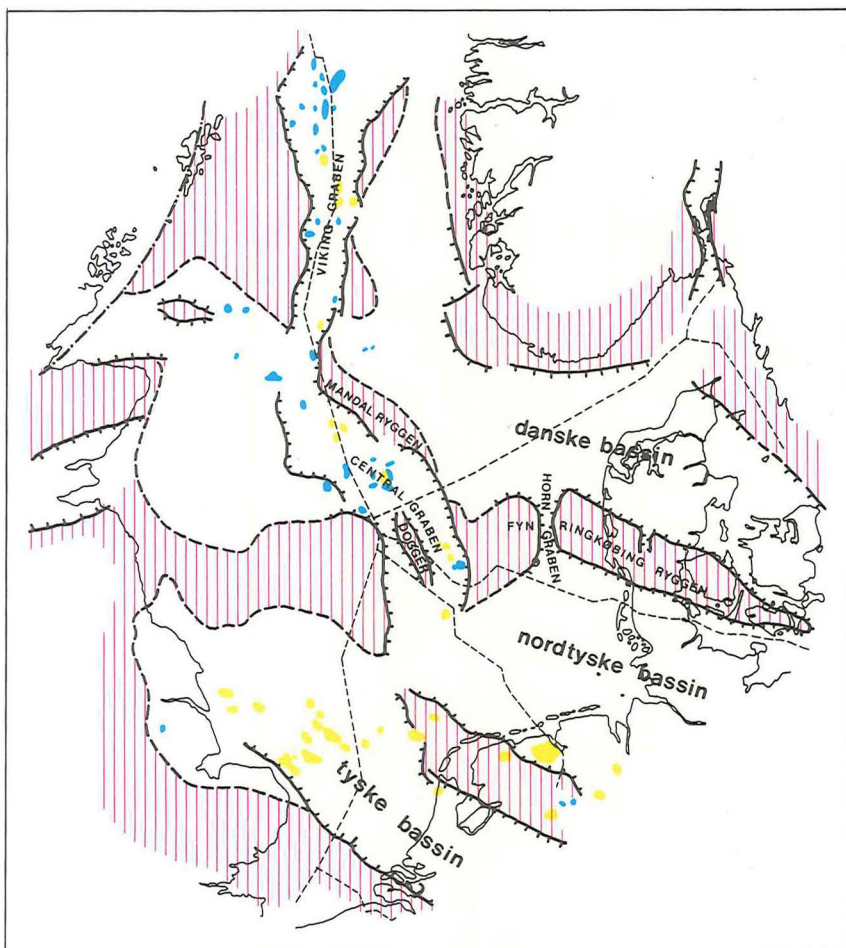
I løbet af Trias anlagdes begyndelsen til de betydningsfulde gravsænkingsstrukturer med nord-sydligt forløb i den centrale del af sedimentationsbassinet: Viking Graven og Central Graven. Disse strukturer er de første spæde vidnesbyrd om spredningsbevægelser som optakt til åbningen af Nordatlanten.

Med hensyn til kulbrinteakkumulationerne i Nordsø-bassinet skal der fra denne udvikling i løbet af Perm-Trias især peges på forholdene i den sydlige Nordsø og i Holland, hvor aflejringer af vindbårne sediment, klitter, flyvesand, fra Nedre Perm opefter forseglede af evaporiter fra Zechstein

og aflejringer fra Trias. De højporøse og højpermeable flyvesandsaflejringer danner de store gasreservoirer i Slochteren-feltet og i de engelske gasfelter i

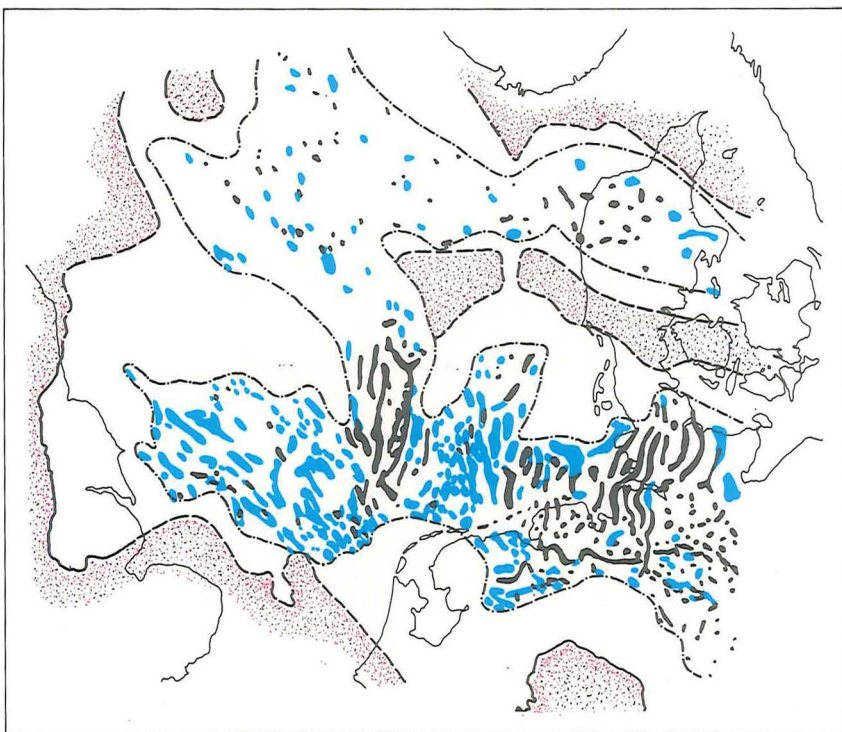


den sydlige Nordsø. Det må antages, at gasserne stammer fra kulaflejringer i de variskiske randtrug, idet der under vægten af de overlejrende lag er sket en komprimering og afgasning af kullene på stort dyb.



Figur 3. Nordsøens hovedstrukturer. De lodret skraverede områder angiver højtliggende "economic basement" og de takkede linier er betydende forkastningszoner. Blåt er oliefelter mens gult er gasfelter. De stiplede linier er nationale sektorgænsers.

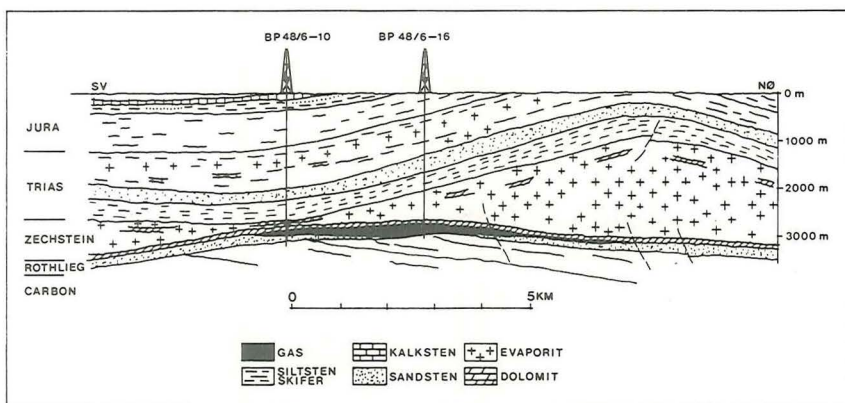
Gennem Jura-perioden og den nedre del af Kridt-perioden gennemløb Nordsøen en mere dynamisk udvikling. Desuden var der klimatiske ændringer, hvis forvarsel kom i Øvre Trias i form af mere nedbør og større produktion af biomasse i såvel det marine som det kontinentale miljø. Det forhold fik den største betydning for kulbrintedannelsen. Sedimentationen er således præget af sedimentation af grove materialer (sandsten) i de kystnære områder, mens der i bassinets mere centrale dele sedimenteredes ler (skifer) med stort indhold af organisk materiale. Tykkelsesforholdene varierer meget, dels fordi forkastningsstrukturene gav en meget varieret bundtopografi i bassinet, og dels fordi der var en fortsat udvikling af saltstrukturene, som opbyggedes af det efterhånden dybtliggende Zechstein-salt. Fyn-Ringkøbing-ryggen fungerede i lange tidsrum som land i løbet af Jura-perioden. Den allerede anlagte



Figur 4. De Permiske (Zechstein) inddampningsbassiner i Nordsøen. Den stiplede linie angiver den formodede ydergrænse for inddampningsbassinerne, således at de røde områder i det væsentlige må opfattes som land. Prik-streg linien angiver ydergrænsen forskellig strukturdannelse i saltbjergarterne, hvor de sorte er gennembrudsstrukturer (salthorste), mens de blå er pudestrukturer som f.eks. vist på figur 2.

centrale gravsænkningszone - Viking Graven og Central Graven - var under hastig indsykning med dannelse af store forkastningssystemer i randområderne. Samtidig hermed skete en intensiv sedimentation i gravsænkningszonen, først af finkornede lerede sedimenter og lokalt af mere grove, sandede aflejringer i nær tilknytning til forkastningerne, især i den senere del af Jura-perioden. Der er i tilknytning til jordskorpebevægelserne konstateret vulkansk aktivitet i f.eks. Mellem Jura (Dogger).

I den nedre del af Kridt-perioden havde sedimentationsforholdene samme præg som i Jura. For Kridt-periodens vedkommende var der dog tale om en mere kalkbetonet sedimentation, ligesom de landområder, der eksisterede gennem Jura, f.eks. Fyn-Ringkøbing-ryggen, omsider blev havdækket.



Figur 5. West Sole gasfeltet i den sydlige del af den britiske Nordsø-sektor. Reservoiret ligger i Rotliedendes sandsten under en pudestruktur af Zechstein salt.

De store mængder finkornede sedimenter, der blev afsat i løbet af den ældre del af Jura-perioden, må opfattes som hovedmoderbjergarter for kulbrinterne i Nordsø-bassinet. Forekomsten af gennemtrængelige og porøse aflejringer ovenover disse aflejringer, f.eks. i Viking Graven, danner store reservoirer for olie og gas (f.eks. Statfjord-sandlagene fra Dogger og Brent-sandlagene fra Nedre Jura). I Central Graven er det sandede sedimenter fra Øvre Jura-Kridt, der danner de største oliereservoirer.

Ved overgangen fra Nedre til Øvre Kridt begyndte en omfattende havindtrængning, som må hænge sammen med den igangværende åbning af Nordatlanten - men også med bevægelser i den sydlige zone, der førte til dannelsen af den alpine foldekæde i Sydeuropa. Der aflejredes helt overvejende kalkbjergarter med skrivekridt i bassinets centrale dele. Kalksedimenter findes så langt nordpå som til Skotland, hvor de afløses af mere sandede og lerede sedimenter. Selv om der stadig var bevægelser i gravsænkningssonen, var jordkorpebevægelserne i denne fase dog meget svagere. Kalksedimentationen fortsatte ind i Tertiær med Danien-kalk og Paleocæn kalksten, som dog efterhånden får en mere mergelagtig karakter, det vil sige større lerindhold. I Øvre Paleocæn var der aktivitet i gravsænkningssonen, hvor der aflejredes dybvandsskifre og slamstrømme (turbiditer), der sammen med Øvre Kridt- og Danien-kalk indeholder betydelige olie- og gasakkumulationer.

Det overlejrende Eocæn i Nordsøen er som helhed opbygget af marint ler, der i visse områder kan indeholde en del organisk materiale. Det menes, at dette ler i f.eks. Forties, Frigg og andre nordlige felter sammen med Paleocænet er udgangsmateriale for gas- og kondensatakkumulationer. Eocæne sandede let gennemtrængelige aflejringer er dog almindelige i Viking Graven, hvor de kan danne reservoirstrøgarter. Desuden er Eocænet præget af vulkanisme, i denne periode dannedes den egentlige nordatlantiske oceanbund, og oceanbundsspredningen tog for alvor fart. De store vulkanprovinser på Hebriderne, Færøerne og i Østgrønland dannes ligeledes i Eocæn. De sorte lag af vulkansk aske i det jyske moler er en fjern afspejling af disse begivenheder.

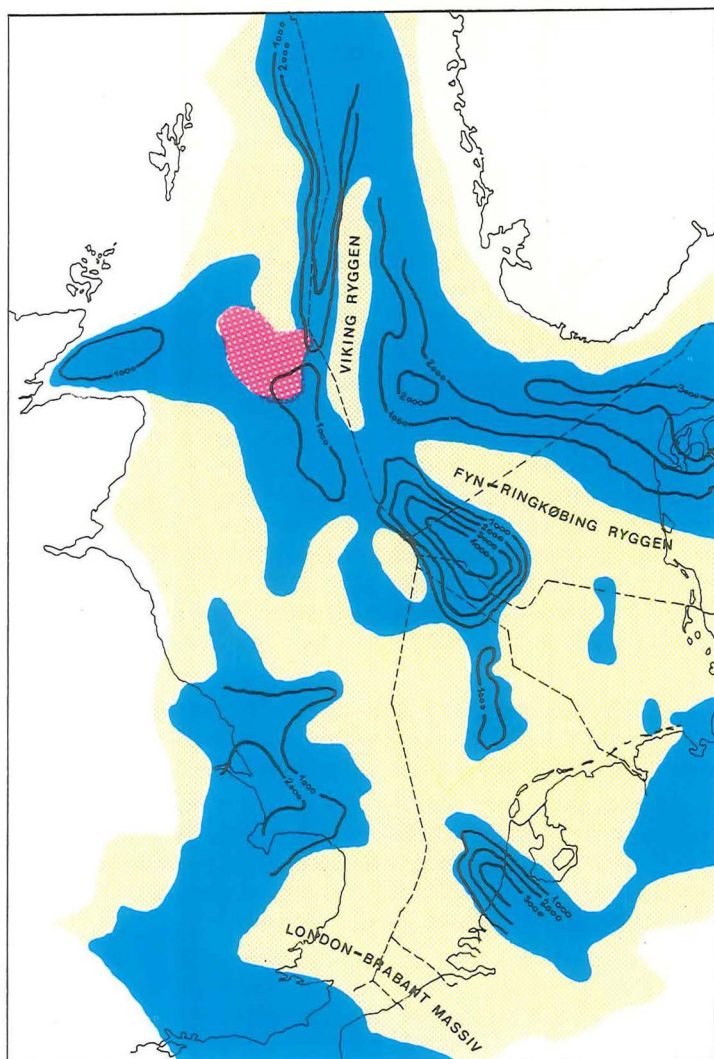
Nedre Oligocæn mangler i store dele af Nordsøens randområder, fordi havet trak sig noget tilbage under den generelle landhævning, der fandt sted i forbindelse med hævnngen af den alpine foldekæde i Sydeuropa og Asien.

I gravsænkningssonen kan der findes op til 600 m tykke aflejringer fra Oligocæn, og indsynkningen forstærkedes gennem Miocæn, som det fremgår af, at der i enkelte borer findes helt op til 1500 m sandede bjergarter. Der findes gasakkumulationer flere steder i disse bjergarter, f.eks. i Ekofisk-feltet, med de er tilsyneladende uden økonomisk interesse.

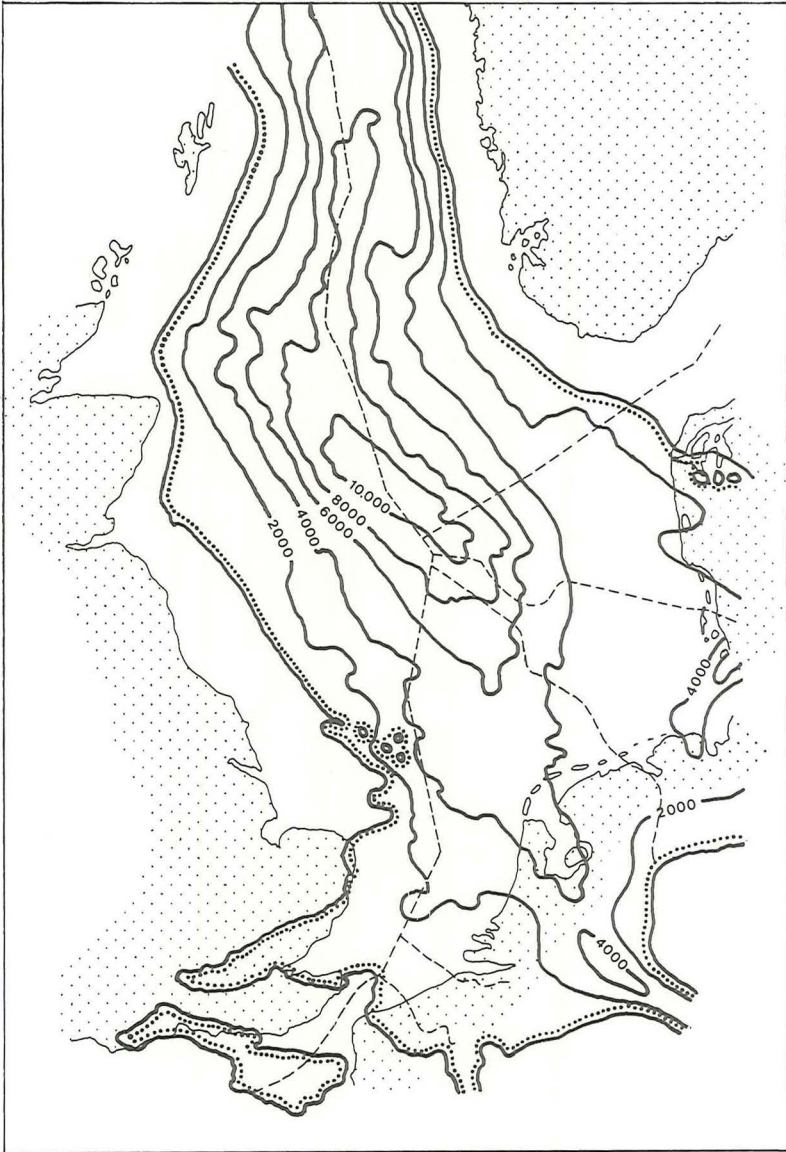
I forlængelse af den tendens, der er karakteristisk for udviklingen i såvel Nedre som Øvre Tertiær, dannedes der også i Kvartærtiden tykke aflejringer i den centrale del af Nordsø-bassinet i områder svarende til gravsænkningssonen. Kvartæret kan her være op til 500 m tykt.

Olie- og Gasforekomster

På baggrund af den beskrevne geologiske udvikling i Nordsø-området vil man kunne forstå fordelingen af de indtil nu fundne olie- og gasforekom-



Figur 6. Kort over Nordsøens Juraaflejringer med angivelse af tykkelserne i fod (1000 fod mellem hver kurve). Rødt angiver et område med vulkanske bjergarter, gult angiver hvor der kun er meget tynde eller helt manglende Juraaflejringer. De blå områder er områder med tykke Juraaflejringer, bl.a. på dansk sokelområde.



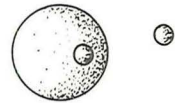
Figur 7. Udbredelse og tykkelse i fod af tertiære aflejringer i Nordsøen. Den prikkede linie angiver grænsen for udbredelse, og er ikke en kystlinie. Denne varierede meget gennem Tertiærtiden.

ster. Det er først og fremmest den nord-syd forløbende gravsænkingsstruktur - Viking Graven og Central Graven - der har været givtig. I den sydlige del heraf er det overvejende olie- og gasfund knyttet til Danien-aflejringerne, som f.eks. i Dan-feltet og Ekofisk-felterne, mens det i den nordligere del overvejende er olie knyttet til Juraaflejringer, men her også olie og gas i tilknytning til aflejringer fra Nedre Tertiær. Imidlertid er der dog mange variationer over dette generelle mønster.

I den sydlige Nordsø er der fundet en lang række store gasfelter knyttet til et øst-vest forløbende strøg fra Nordholland til England. Gassen er den methanrige kulfgas og må have sin oprindelse i dybtliggende kulforekomster knyttet til et aflejringsbassin langs den variskiske foldekædes nordrand. De gasførende aflejringer er Rotliegendes sandede bjergarter, der opefter er forsegledede af Zechstein-salt.

Det er disse to strukturer, der især har været genstand for olieselskabernes interesse, men det behøver ikke at betyde, at der ikke andre steder i Nordsøen findes områder med potentielle olie- og gasstrukturer. I hvert fald er det iøjnefaldende, at aktiviteterne i de senere år har bredt sig også til andre områder.

Jupiter og dens måner



af Lars Skov Andersen

Voyager satellitterne blev opsendt i august og september 1977 for at udforske de ydre planeter i vort solsystem. De passerede Jupiter i marts og juli 1979, og skal efter planerne passere Saturn i november 1980 og august 1981. Herefter vil Voyager 1 have fuldendt sin mission, men det er muligt at Voyager 2 skal fortsætte mod Uranus, hvortil den i så fald når i 1986.

Billederne stammer fra Voyager 1 og er taget under dens indflyvning til Jupiter i tiden 13. februar til 5. marts, hvor den passerede Jupiter i en afstand af kun 300 000 km. Ved passagen bag om Jupiter afbøjedes banen næsten 90° så Voyager 1 fik retning mod Saturn, samtidig med at den accelereredes kraftigt.