

*Figur 5. Overgangen mellem B2h og jernbåndet. Forneden i billedet ses det rødlige jernbånd, som udfylder omtrent alle porer med jernforbindelser. Ovenfor findes det mere granulære og brunlige organiske stof (B2h) og en del smårødder, som tilsyneladende ikke kan trænge gennem jernbåndet.*

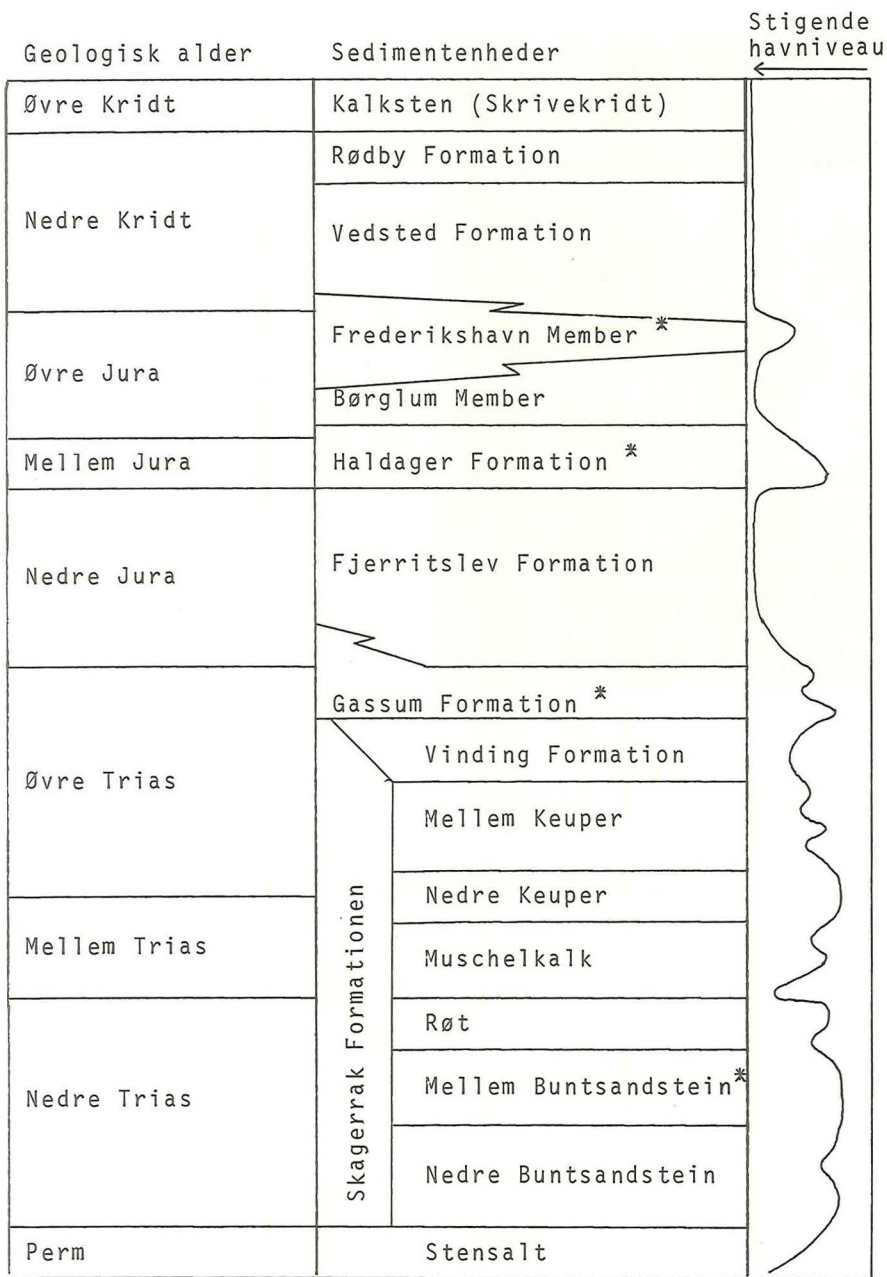
# Den varme undergrund

## GEOTERMISKE RESERVOIR-FORMATIONER I DANMARK

af Olaf Michelsen og Finn Bertelsen

I artiklen 'Geotermisk energi i Danmark' (Varv nr. 4, 1978) blev det kort nævnt, at det generelt er lagene under Skrivekridtet, især Trias-Jura lagserien, der har interesse i forbindelse med geotermisk efterforskningsarbejde. I denne opfølgende artikel er det derfor hensigten at beskrive den geologiske udvikling i Danmark gennem Trias, Jura og Nedre Kridt perioderne for dermed rumligt og dannelsesmæssigt at placere de lag eller lagserier, der i de kommende år kan komme til at spille en hovedrolle som reservoirer for geotermisk vand.

Da det oftest drejer sig om velafgrænsede lag vil de blive beskrevet som formationer, der er sedimentlegemer af en vis ensartet karakter og afsat under ensartede forhold. Dette betyder, at de ikke behøver at have samme alder i forskellige dele af området. Derfor er der i skemaet, figur 1, vist forholdet mellem formationer og den geologiske alder.



\* mulige reservoirformationer

Figur 1.

Det danske område kan generelt set betragtes som en del af det større nord-vesteuropæiske sedimentationsbassin, hvor lagene hviler på hinanden i den tidsmæssigt rigtige rækkefølge og dermed dækker hinanden. Langs bassinets kanter, for eksempel i Skåne, på Bornholm og specielt i England, kan man se disse lag blottede i jordoverfladen. De ældste lag findes længst væk fra bassinets centrum og de yngste tættest herpå. Inden for det danske område, bortset fra Bornholm, findes der ikke ældre lag end Øvre Kridt i jordoverfladen. Det er derfor på grundlag af data fra dybe borer og geofysiske undersøgelser, udført i forbindelse med olie- og gasefterforskning, at nærværende beskrivelse er baseret.

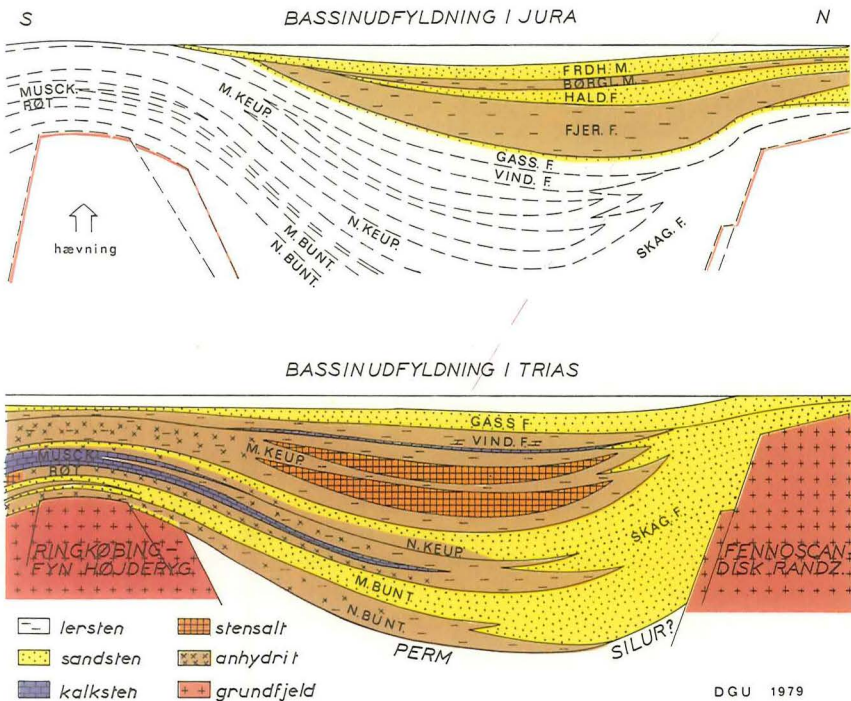
## BASSINUDVIKLING

Gennem perioderne Perm, Trias og Jura var det danske område opdelt i to aflejningsbassiner. Det danske Delbassin og, mod syd, den nordlige del af Det nordtyske Bassin (se Varv nr. 4, 1978, side 106 og figur 1). Sedimenttykkelser fra de pågældende perioder på 5-6000 m viser en ganske betydelig indsynkning af bassinerne. Den øst-vestgående tærskel mellem bassinerne, kaldet Ringkøbing-Fyn Højderyggen, har en kerne af højtliggende grundfjeld, der flere steder er adskilt af nord-sydlig gravsænkninger (det vil sige nedforkastede partier af grundfjeldet).

Under den ældste del af Trias perioden er det sandsynligt, at dele af Ringkøbing-Fyn Højderygens grundfjeldskerne har ligget blottet som 'øer' mellem de to indlandsbassiner, der indbyrdes var forbundet via de nord-sydlig gravsænkninger. I denne periode har der hersket tørre og varme, ørkenagtige tilstande med sporadisk nedbør, sådan som Trias lagserien fra store dele af det nordvestlige Europa bærer vidnesbyrd om. De rødlige og brunlige, lerede og sandede sedimenter kaldes Nedre og Mellem Buntsandstein og kendes blandt andet fra øen Helgoland i Nordsøen (se beskrivelsen i Varv nr. 4, 1970). Som det ses af figur 2 i denne artikel findes de største tykkelser centralt i Det danske Delbassin. Lagene fortsætter ubrudt, men udtynnende, henover Ringkøbing-Fyn Højderyggen.

Det udpræget tørre og varme klima fortsætter i den mellemste del af Trias perioden, men medens den ældste del er en regressiv periode er den mellemste del en transgressiv periode, det vil sige, havet skyller (fra syd) ind over området. Højderyggen synker og hele området indgår hermed i et sammenhængende aflejningsbassin - en tilstand der varer til slutningen af Nedre Jura. Bassinet indgår i det nordvesteuropæiske sedimentationsområde, der forbindes med det sydlige Trias-ocean (Tethys), - se figur 3. Røt og Muschelkalk aflejringerne, som ses på figur 2, afspejler i deres opbygning en udvikling fra brakvandsmiljø over marint og sluttende med brakvandsmiljø. Der aflejres lersten, mergelsten og kalksten. Forekomsten af stensalt (syd for Ringkøbing-Fyn Højderyggen) og anhydrit enkelte steder i lagserien skyldes indampning i det tørre og varme klima. Længst mod nord, i Det danske Delbassin, fortsætter aflejring af kontinentale lerede sandsten op gennem det mellemste Trias og ind i det øverste Trias. Disse ligner lagene der er omtalt for det nederste Trias, men er defineret som en særlig enhed, Skagerrak Formation.

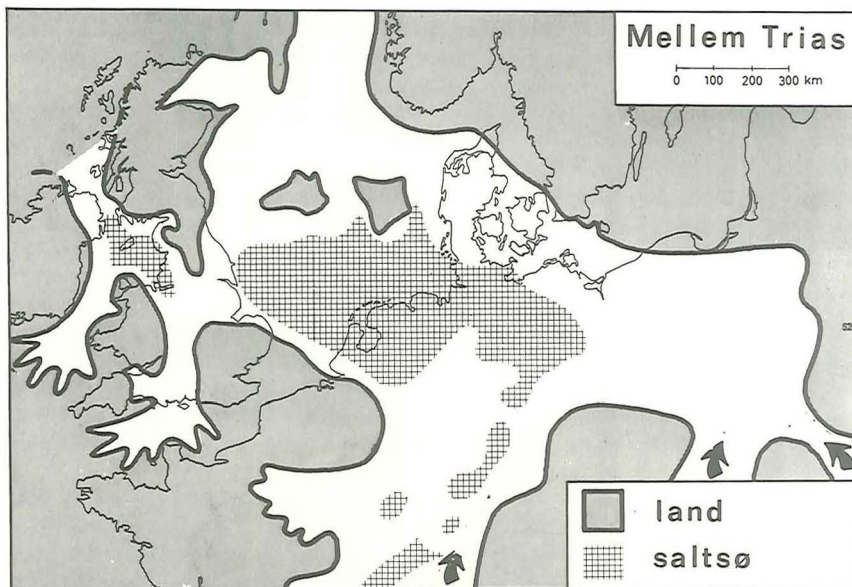




Figur 2 er et nord-syd snit gennem Jylland fra Skagerrak til Ringkøbing-Fyn Højderyggen. For at gøre forholdet mellem tykkelse og udbredelse af lagene tydeligt er snittets længde forkortet cirka 50 gange i forhold til dets højde. Dertil kommer, at Det danske Delbassin er tegnet betydeligt smallere end det er i forhold til bredden af højderyggen. Det fremgår af snittene, der viser bassinudfyldningen i Trias til Jura perioderne, at området med den tykkeste pålejring af sedimenter flyttes mod nord ved overgangen fra Trias til Jura, ligesom udfligningen af højdeforskellene, der finder sted i Nedre Kridt, påbegyndes i Frederikshavn Member.

Nedre og Mellem Keuper formationerne er aflejret i den sidste del af den tørre og varme periode, og består af rødlige og brunlige lersten og sandsten, ofte indeholdende inddampnet havsalt og anhydrit. Lagenes opbygning viser, at havet trak sig tilbage og at kontinentale forhold vekslede med periodiske brakvandsoverskylninger. På figur 2 ses, at der i Det danske Delbassin findes to stensaltserier, som viser at fordampningen i to perioder har oversteget vandtilførslen til bassinet.

Mod slutningen af denne periode begyndte dannelsen af de mange saltstrukturer (saltpuder og -diapirer), der kendes fra de to bassiner. På grund af det øgede tryk fra Trias sedimenterne, der var afsat over Perm periodens stensaltaflejringer, overgik



Figur 3. Det nordvesteuropæiske sedimentationsbassin i mellemste Trias-tid. De sorte pile viser de stræder havet benyttede ved sin indtrængen fra det sydligt beliggende Tethys hav.

saltet i en plastisk tilstand og pressede de overliggende lag op eller pressesedes op gennem disse. Denne proces har fortsat siden Mellem Keuper Formationens aflejring og foregår stadig. Den lokale variation i tykkelse og udbredelse af de enkelte Trias og Jura lag, der derved er opstået, er ikke indtegnet på profiler eller kort i denne artikel.

Det varme klima fortsætter i øverste Trias, men ligesom i Jura og Nedre Kridt perioderne bliver klimaet fugtigt og regnfuldt, hvilket fører til aflejring af overvejende grålige sedimente, dannelse af kulførende lag og så videre.

Den øverste del af Trias perioden er en vekslende transgressiv og regressiv periode, der markerer indledningen til Jura perioden, hvor egentlige havaflejringer dominerer. Vinding Formationens ler- og kalkaflejringer er afsat i brakvand med ringe vanddybde, medens Gassum Formationens kulførende sandsten er afsat i deltaer og floder. Enkelte gange har stigning i havspejlet bevirket at deltafladen druknede og sedimentation af sandsten blev afbrudt.

Jura transgressionerne betød en egentlig ændring af aflejningsmiljøet. I den ældste del fortsatte ganske vist dannelsen af Gassum sandsten i tidevandsprægede delta- og marskmiljøer, men havet steg langsomt og nåede i den yngste del af Nedre

Jura frem til Den fennoscandiske Randzone. Efterhånden som havniveauet steg, dækkedes de ældre aflejringer af den nedre jurassiske Fjerritslev Formation, der består af lersten aflejret i havet uden for kystzonen.

På overgangen Nedre-Mellem Jura hævedes store dele af det danske område og en erosion i de allerede aflejrede Nedre Jura og Trias sedimenter fandt sted over og omkring Ringkøbing-Fyn Højderyggen (se figur 5). Bevæger man sig fra midten af Det danske Delbassin mod syd spores erosion af ældre og ældre dele af Fjerritslev Formationen. Fortsætter man hen over Højderyggen mangler Fjerritslev Formationen helt, og man kommer til ældre og ældre Trias lag.

Den mellem jurassiske periode indledes med en tilbagetrækning af havet under hvilken der aflejredes kulførende, deltaiiske sedimenter, som er kaldt Haldager Formationen. I den øverste del af denne formation spores en begyndende øvre jurassisk transgression, idet havsedimenter fra en lavtvandszone, svarende til tidevandszonen, udgør den største del af sedimenterne. I begyndelsen af Øvre Jura nåede transgressionen sit maximum og lersten, kaldet Børglum Member, aflejredes i Det danske Delbassin. De er ligesom Fjerritslev Formationen afsat i havet på dybere vand uden for brændingszonen.

Med udgangen af Nedre Jura ophører den åbne forbindelse til det sydlige ocean, der fandtes gennem Trias og Nedre Jura perioderne. En ny forbindelse mod nord via Nordsøen etableres i Øvre Jura. Den sættes i forbindelse med den mellem jurassiske tektoniske aktivitet blandt andet i Nordsøen og den påbegyndte åbning af Nordatlanten. Forbindelse mellem syd og nord etableredes via de centrale nord-syd gænde gravsænkninger i Nordsøen.

På overgangen Jura-Kridt sker der atter en hævnig af området og mængden af groft materiale, der føres ud i bassinet, stiger. Dette materiale opbygger den sandede serie kaldet Frederikshavn Member. Den er overvejende afsat i havet, men på lavt vand. Mod nord og øst er den meget tyk og repræsenterer et stort tidsinterval, medens den mod vest (det vil sige i en retning vinkelret på snittet i figur 2) tynder ud og sedimenterne bliver mærkbart mere finkornede. Frederikshavn Member afspejler således en generel sænkning af havniveauet, men ikke en absolut tilbagetrækning af havet, som det var tilfældet under aflejring af Gassum og Haldager Formationerne.

I løbet af Nedre Kridt sker der atter en indsynkning af Det danske Delbassin, og marine lersten, kaldet Vedsted Formationen, afsættes. Mod slutningen af Nedre Kridt dækkes hele landet af havet, først med aflejring af Vedsted Formationens øvre del, og derefter med Rødby Formationens mergelsten. Hermed er indledt en ny hovedfase, idet Ringkøbing-Fyn Højderyggen atter dækkes af havet. Klimaet bliver atter tørt (tropisk) og havet tilføres derfor kun ringe mængder ler og sand. I stedet bundfældes slamkalk bestående af skeletdele fra planktoniske mikroorganismer, - Øvre Kridts hvide kalksten.

## MULIGE RESERVOIRFORMATIONER

*Figur 4, side 48 øverst.*

Buntsandstein serien består af rødlige og brunlige sandsten og lersten, der som



nævnt er afsat under kontinentale forhold. Kortet figur 4 og snittet figur 2 viser, at der nord for Ringkøbing-Fyn Højderyggen findes meget tykke lag. Det ses ligeledes, at lagene er overvejende lerede mod syd og sandede mod nord. Sandfordelingen viser, at materialet er ensidigt transporteret fra nord og nordøst ud i bassinerne. De tykkeste og mest grovkornede reservoirbjergarter findes derfor antageligt i et bælte langs den nordlige og østlige rand af Det danske Delbassin. Den arkoselignende bjergart længst mod nordøst, Skagerrak Formationen, er imidlertid med hensyn til andre reservoirkarakterer, såsom porøsitet og permeabilitet, måske af ringere kvalitet end de neden for nævnte formationer. Denne forringelse kan blandt andet hidrøre fra et forholdsvist stort indhold af fint fordelt ler dannet ved forvitring af feldspatkorn, samt fra mineralimprægnationer af sandsten dannet i det tørre, varme klima ved lejlighedsvis vandtilførsel (dolomitisering, forkisling).

*Figur 5, side 48 nederst.*

Gassum Formationen består overvejende af fint til mellemkornet, velsorteret kvartssandsten, der veksler med mørkere grå lersten og siltsten. Figur 5 viser, at formationen tynder ud og bliver mere finkornet og leret mod syd. Også her må man regne med en ensidig transport til bassinet fra nordøst, hvorfor den groveste sandsten er at finde langs bassinets nordøstrand, men den ringere dybde til formationen i denne zone bevirker en lavere temperatur. Formationen vurderes som helhed til at have gode reservoirkarakterer, specielt i de centrale dele af Det danske Delbassin, hvor velsorteret sandsten aflejret i deltaets front er påvist.

*Figur 6, side 49 øverst.*

Haldager Formationen består ligesom Gassum Formationen af fint til mellemkornede kvartssandsten mellemleret af enkelte tynde lerlag, og er lige som denne dannet i deltaer og flodløb. Sandstenen er uden væsentlige mængder af fint fordelt ler, og materialet er transporteret ud i bassinet fra nordøst. Den øverste del af formationen består af vekslende tynde lag af lersten, siltsten og sandsten, der anses for aflejret på en tidevandsflade. Den større tykkelse mod nordøst bevirker, at formationerne i geotermisk henseende har størst kapacitet langs bassinets nordøstrand, men den mindre dybde til formationen betyder her en lavere temperatur. Generelt set er temperaturen i Haldager Formationen mindre end i Gassum Formationen.

*Figur 7, side 49 nederst.*

Frederikshavn Member er opbygget af siltsten og finkornet sandsten, der veksler med siltholdig lersten, som er aflejret i et kystnært, lavvandet marint miljø. Materialet er tilført bassinet fra øst med en tydelig udtynding af lagserien og tiltagen af lerindholdet mod vest til følge. Lagserien må anses for kun at have moderat gode reservoir egenskaber, fordi den er opbygget af forholdsvis finkornet materiale og blandingsbjergarter, samt fordi den ikke ligger særlig dybt og derfor ikke har ret høje temperaturer.

