

Oceanbundsdannelse

"SEAFLOOR SPREADING" TEORIENS HISTORISKE

BAGGRUND OG FREMKOMST.

af Hans Chr. Larsen.

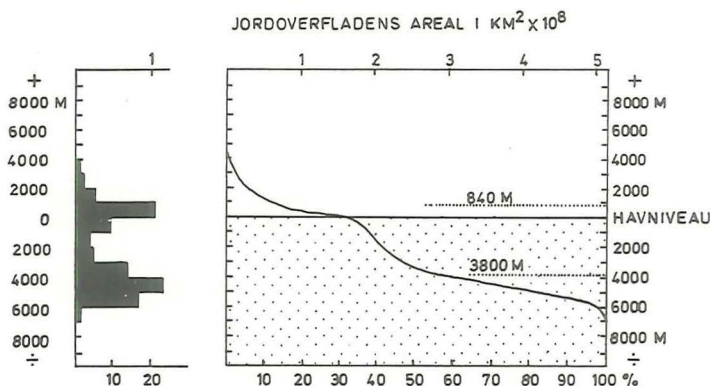
Emnet for denne og for efterfølgende artikler er oceanbundsdannelse. I den første artikel vil vi se på den historiske baggrund for den i dag almindeligt accepterede mekanisme for oceanbundsdannelse: "seafloor-spreading", samt analysere denne teori lidt nærmere. I de to efterfølgende artikler vil dannelsen af det Atlantiske og det Arktiske ocean blive beskrevet.

Der vil i det følgende blive ofret en del spalteplass på begrebet kontinentaldrift, tilsyneladende i modstrid med artiklens emne, men som vi senere skal se, hænger kontinentaldrift og oceanbundsdannelse meget nært sammen.

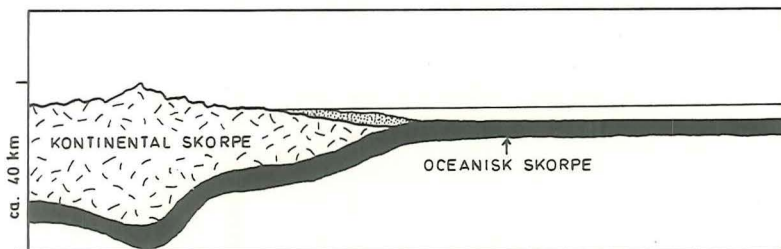
FORDELING AF OCEANER OG KONTINENTER

Jordens overflade kan tredeles i kontinentale områder, shelfområder (lavtvandede områder omkring kontinenterne) og oceaniske områder, det vil sige områder med over 2000 meters vanddybde. Som det senere vil vise sig, er det rimeligt at henregne shelfen til de kontinentale områder, og vi får da en fordeling af jordskorpen i cirka 34 % kontinentale områder og cirka 66 % oceaniske områder.

Figur 1 viser den procentvise fordeling af jordoverfladens højde over havet. Denne kurve, også kaldet den hypsometriske kurve, viser en tydelig to-toppet fordeling. Den hypsometriske kurve blev første gang (1912) opstillet af den tyske meteorolog og geofysiker Alfred Wegener.



Figur 1. Den procentvise arealfordeling af jordoverfladen - til venstre vist som spjlediagram og til højre som en kumulativ, hypsometrisk kurve. Landområdernes middelhøjde er 840 m, og middelhavdybden er 3.800 m.



Figur 2. Wegeners to-delte skorpemodel. Det lette kontinent "flyder" ovenpå det tungere oceaniske lag.

Wegener, der er kendt for sin teori om kontinenternes forskydning, tolkede den hypsometriske kurve som udtryk for en 2-delt jordskorpe. Det øverste lag opbyggede ifølge Wegener kontinenterne og underlejreredes af et lag, der ligeledes udgjorde de oceaniske områder (figur 2).

Wegener postulerede således en forskel i den geologiske opbygning af kontinentale og oceaniske områder og fik her hjælp fra et større antal tyngdemålinger, der stik imod alle forventninger viste et tyngdeoverskud over de oceaniske områder og et relativt tyngdeunderskud over de kontinentale områder. Når man siger uventet, indebærer det, at tyngden burde være lille over oceanerne, da havvandet jo er lettere end de almindelige bjergarter - konklusionen må være, at bjergarterne under oceanbunden er så tunge, at tyngdegenemsnittet for havvand + oceanbund bliver over middel. Omvendt må det på kontinenterne være således, at lette bjergarter når dybere ned, hvorved tyngdegenemsnittet bliver relativt lavt. (Se også Varv 1972 nr. 3).

Wegener regnede følgelig med to forskellige bjergartstyper i jordskorpen - det gør geofysikerne også idag, selv om skorpemodellen er ændret i nogen grad.

Der skulle dog gå præcis 50 år (1962), før mekanismen bag skorpens strukturelle opdeling og hermed sammenhørende kontinentaldrift, blev erkendt. Man lad os først se lidt på teorierne om kontinentaldrift, både før og efter Wegeners epokegørende indsats.

KONTINENTALDRIFT OG OCEANBUNDSDANNELSE

FØR WEGENER

I begyndelsen af det 17. århundrede var det verdensomspændende kortmateriale tilstrækkeligt til at filosofen og videnskabsmanden Francis Bacon i sit værk "Novum Organum" (1620) konstaterer en vis "puslespil-

agtig" lighed mellem Afrika og Sydamerika. Dette forhold diskuteres af blandt andre Placet (1666), Leclerc (1749) og de Buffon (1778), men først teologen Lilienthal (1756) påpeger, at kontinentalopsplitning kan være årsagen hertil. Geografen Humboldt (1845) påpeger de geologiske ligheder omkring det sydlige Atlanterhav og følges af Pellegrini (1858), der fremholder eksistensen af identiske fossiler på de to sydlige kontinenter.

Årsagerne til ovennævnte forhold søgtes i den religiøse verden for eksempel i syndflodsteorien, men omkring midten af det 19. århundrede vinder den naturvidenskabelige metode frem. Oceandannelse foreslås således dannet ved at Månen er revet ud af Jorden eller at Jordens diameter konstant vokser, hvilket bevirker en opsplnitning af kontinenterne, hvis mellemrum opfyldes af oceaner. Denne teori er netop nu (1975 og 1977) genfremsat i et voluminøst værk af den australske geolog Warren B. Carey.

WEGENERS TEORI OG DENS MODTAGELSE

Det er dog Alfred Wegener (1912), der må tilskrives æren for at have formuleret den første videnskabelige teori om kontinentalforskydning og oceanbundsdannelse med inddragelse af vidnesbyrd fra alle naturvidenskabens grene. Wegeners indsats er bemærkelsesværdig af to årsager: et væld af geologiske og geofysiske data fremlægges her for første gang, og Wegener gør op med alle tidligere "katastrofeteorier" (bibelske eller ikke-bibelske) og postulerer, at kontinentaldrift er en langsom proces, der finder sted over millioner af år, og som foregår den dag idag.

Wegener var afgjort forud for sin tid, hvilket blandt andet fremgår af de 50-års "ventetid" i den videnskabelige verden, som teorien blev udsat for, før den i modificeret og justeret form blev almindeligt anerkendt.

"Ventetiden" skyldtes ikke kun Wegeners fremsynethed, men også en række fejl i teorien, der hurtigt blev påvist. I figur 2 er vist Wegeners model af jordskorpeopbygningen. Ifølge Wegener drev kontinenterne som isfjelde gennem oceanbundslaget under indflydelse af blandt andet tidevandskræfter og Jordens centrifugalkraft. Spredningen af Grønland og Norge beregnede Wegener til at foregå med en hastighed af cirka 36 m/år, ud fra forskellige astronomiske stedbemmelser i Grønland. Disse vigtige punkter blev kraftigt angrebet efter udgivelsen af Wegeners hovedværk "Die Entstehung der Kontinente und Ozeane" (1915).

De astronomiske stedsbestemmelser blev med rette draget i tvivl, og geofysikeren Jeffrey's kunne påvise, at de anførte kræfter bag "driften" langt fra var tilstrækkelige. En række fremtrædende geologer, herunder den danske geolog Lauge Koch, afviste, at store kontinenter skulle kunne "sejle" i oceanbundslaget uden at sønderknuses, og ud fra Wegeners skorpemodel havde de ret, men herom mere senere. Når dette er sagt, skal det dog tilføjes, at Wegener og Du Toit's rekonstruktion af de sydlige konti-

nenter i superkontinentet "Gondwana", således som dette så ud i Kultiden, ikke er ændret væsentligt i dag (se for eksempel Varv 1977 nr. 3 samt Varv 1976 nr. 4).

En anden væsentlig årsag til den kølige modtagelse af Wegeners arbejde kan måske findes i det forhold, at kontinentaldriftteorien fra tidligere tid har været kædet sammen med religiøse og katastrofeagtige forklaringer, samt at Wegener, meteorolog af uddannelse, var autodidakt indenfor de berørte videnskabelige discipliner (geologi og geofysik).

Det må dog ikke glemmes, at nogle få videnskabsmænd tog teorien til sig og kraftigt forsvarede den. Her må nok først og fremmest nævnes geologerne Du Toit og Arthur Holmes, der i 30'erne tilførte teorien nye aspekter, der pegede hen imod dens moderne udformning, som normalt tilskrives amerikaneren Hess (1962). Den tidligere omtalte geolog Warren B. Carey havde dog allerede i 1958 fremsat en lignende teori, der dog ikke fik det eksplosive gennembrud, som 4 år senere blev Hess's teori til dels.

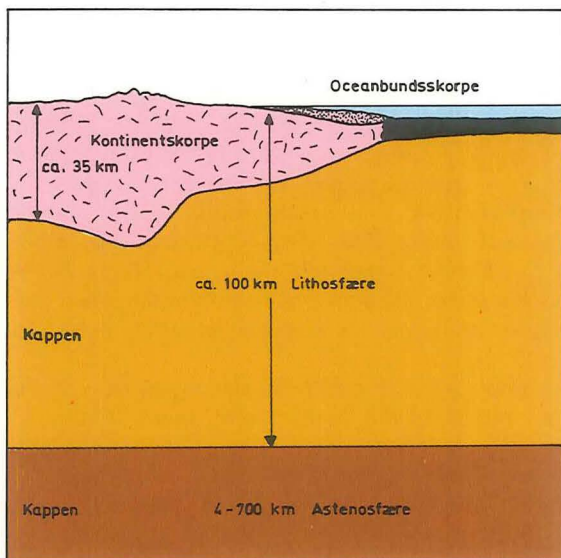
Efter denne historiske redegørelse vil vi nu gå over til at se på teorien for oceanbundsdannelse og kontinentaldrift, som denne blev fremsat i begyndelsen af 60'erne og videreudviklet op til i dag.

SEAFLOOR SPREADING TEORIEN

Som nævnt indledningsvis hænger oceanbundsdannelse og kontinentaldrift sammen, og det er Hess's teori, der sammenknytter disse to fænomener. Hess postulerer nemlig, at ny "skorpe" dannes kontinuerligt langs de verdensomspændende undersøiske bjergrygge, der ligger cirka midt i alle de store oceaner - midtoceaniske rift systemer, se også Varv 1975 nr. 2 og 1972 nr. 3.

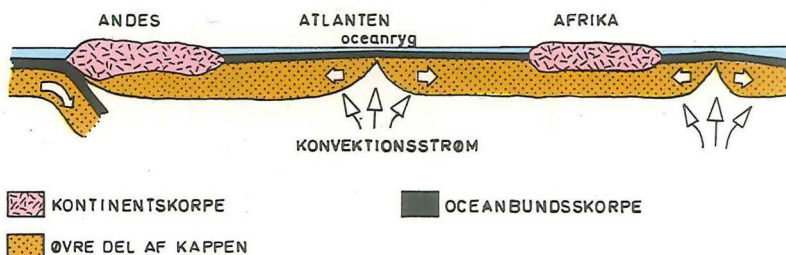
For at forklare seafloor-spreading måtte Hess inddrage det næste lag i jorden, det såkaldte kappelag (figur 3). De øverste dele af kappen samt skorpen udgør et cirka 100 km tykt lag, lithosfæren, underlejret af asthenosfæren. Sidstnævnte er betydeligt mere plastisk end lithosfæren, og Hess postulerede, at jordskorpen udgøres af et antal (cirka 12) "stive" lithosfæreplader (se Varv 1977 nr. 1), der kan bevæge sig indbyrdes på den mere plastiske asthenosfære. Det er denne teori, der kaldes "pladetektonik" (se Varv 1972 nr. 3) - som man kan se, er teorien en videreførelse af Wegeners ide, idet man bare er gået mere i dybden med placeringen af det nødvendige plastiske lag.

Det nye skorpemateriale bringes under indflydelse af dybtgående konvektionsstrømme (se Varv 1972 nr. 4) op til disse oceaniske rift zoner i form af flydende magma, der umiddelbart herefter størkner. Skorpen vokser dog ikke i tykkelse langs disse rygge, idet der stedsse sker en transport af størknet skorpe væk fra ryggen (figur 4), heraf navnet "seafloor-spreading".



Figur 3 viser jordklodens opbygning. Vigtigst er de yderste 800 km, som ses her.

Men hvis jorden tilføres ny skorpe i alle oceanerne, må denne da ikke vokse? Det er som nævnt senest postuleret af Carey, men den almindeligt accepterede teori, som fremsat af Hess, forudsætter en destruktion af skorpe et sted i samme tempo som denne nydannes et andet sted.

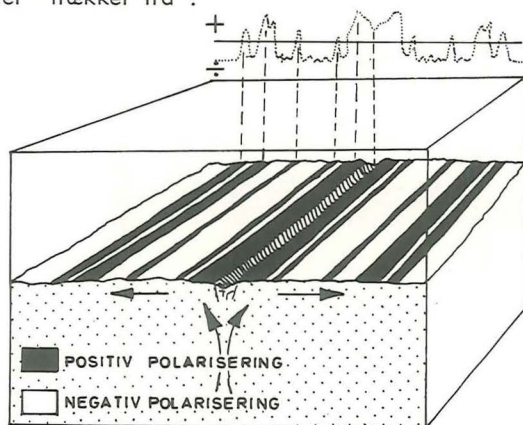


Figur 4 viser et lithosfæretværsnit. En opadgående konvektionsstrøm under den midtatlantiske ryg bringer smeltet magma op til overfladen hvor ny oceanbund dannes for derefter at transporteres væk. I dybgraven udfor Andeskæden "konsumeres" havbund i samme tempo som denne nydannes andetsteds.

Samtidig med at havbunden spredes væk fra de midtoceaniske rygge forsvinder denne nemlig igen ved de såkaldte dybgrave (Filipinergravene, japanske dybgrave, indonesiske dybgrave og så videre) som vist i figur 4. Seafloor-spreading og kontinentaldrift hænger således nært sammen og udtrykket "pladetektonik" bruges ofte som fællesnævner for disse fænomener, omend dette egentlig ikke er helt korrekt. Pladetektoniken har mange aspekter, hvoraf nogle er behandlet i Varv 1972 nr. 3. Her vil vi hovedsagelig beskæftige os med fænomenet seafloor-spreading.

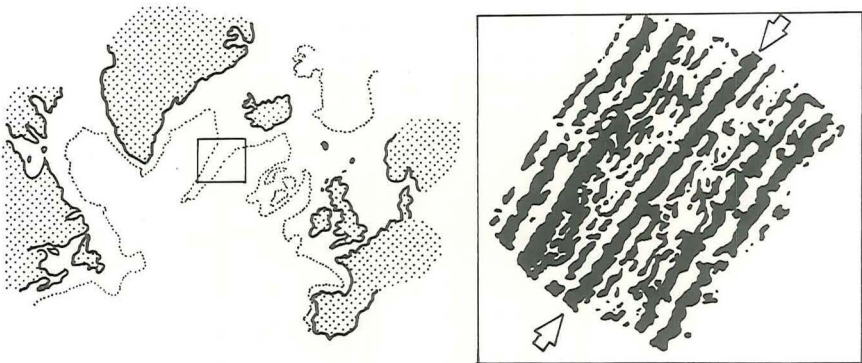
Da Hess fremkom med sine banebrydende teorier var disse at opfatte som hypoteser, men i årene efter 1962 fulgte en lang række opdagelser, der efterhånden forvandlede hypotesen til en almindeligt accepteret teori, omend der endnu eksisterer visse overbeviste modstandere. De mest betydningsfulde opdagelser til støtte for seafloor-spreading skal kort opsummeres i det følgende.

I 1963 fremsatte Vine & Matthews den hypotese, at havbundsspredning omkring de midtoceaniske rygge skulle kunne aflæses i magnetfeltet over havbunden. For at forstå dette må vi lige nævne, at positionen af Jordens magnetiske poler er forholdsvis stabil over mange millioner af år (for eksempel hele Tertiærtiden, cirka 60 millioner år), men magnetfeltet skifter forholdsvis hyppigt polarisering - det vil sige at magnetisk nord og syd byttes om - i gennemsnit en gang per 700.000 år. Den nuværende polarisering af magnetfeltet kaldes positiv, den modsatte negativ. Skorpen dannet langs de midtoceaniske rygge bliver derfor skiftevis "positivt" og "negativt" magnetiseret. Man registrerer variationer i feltstyrken - i et negativt bælte, hvor magnetisk nord og syd har byttet plads, vil polariseringen give en svækkelse ved måling af det nutidige felt - kort sagt, de negative bælte "trækker fra".



Figur 5. Schematisk snit gennem oceanbund dannet ved seafloor spreading udenom en midtoceanisk ryg. Den magnetiske feltkurve (øverst) varierer symmetrisk og i takt med den skiftende polarisering af oceanbunden.

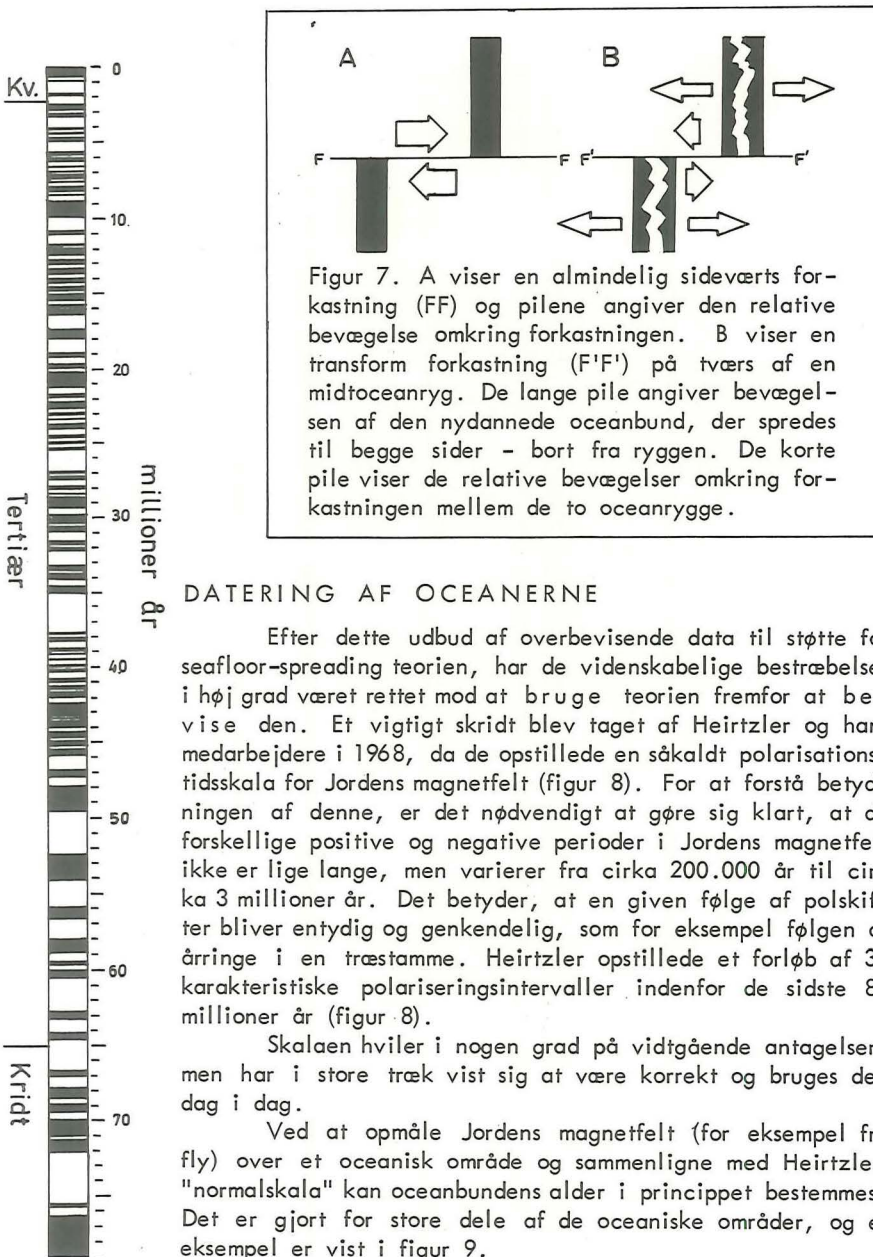
Ifølge Vine & Matthews skulle oceanbunden således virke som en slags "båndoptager" for Jordens skiftende magnetfelter og give anledning til henholdsvis positive og negative lineære magnetiske afvigelser fra normalfeltet grupperet parallelt og symmetrisk omkring de midtoceaniske rygge (figur 5). Vine & Matthews kunne meget kort tid efter vise dette i praksis med data fra Stillehavet og senere fulgte meget overbevisende data fra Reykjanesryggen syd for Island (figur 6).



Figur 6. Magnetisk kort over Reykjanes-ryggen, som er en del af den midt-atlantiske ryg. Sort og hvidt i figuren tilhøjre viser henholdsvis positiv og negativ afvigelse. Pilene viser positionen af den centrale brudzone, ud fra hvilken spredningen foregår.

Studiet af de midtoceaniske rygge havde vist, at disse til tider blev forsat op til flere hundrede kilometer lange såkaldte forkastninger. Den amerikanske geolog J. Tuzo Wilson postulerede i en nu klassisk afhandling (1965), at som følge af oceanbundsdannelse langs de midtoceaniske rygge måtte bevægelsen langs disse forkastninger være den modsatte af den man træffer i "normale" forkastninger på kontinentet (figur 7) og bevægelsen iøvrigt være begrænset til mellemrummet mellem ryggene. Wilson kaldte disse for transforme forkastninger. Kort tid efter kunne seismologen Sykes udfra studiet af jordskælv påvise, at Wilson's forudsigelser var korrekte.

På dette tidspunkt var vejen banet for en almindelig godkendelse af seafloor-spredningsteorien. Boringer og sedimentprøver har senere vist, at oceanbundsskorpen virkelig bliver ældre jo større afstand denne har fra spredningsryggene. Udstrakte magnetiske målinger over oceanerne har bekræftet Vine & Matthews hypotese yderligere, og studiet af varmeudstrømningen fra Jorden har vist sig at være stor langs de aktive spredningsrygge, ligesom de oceaniske jordskælvszoner er knyttet til disse.



Figur 7. A viser en almindelig sideværts forkastning (FF) og pilene angiver den relative bevægelse omkring forkastningen. B viser en transform forkastning (F'F') på tværs af en midtoceanryg. De lange pile angiver bevægelsen af den nydannede oceanbund, der spredes til begge sider - bort fra ryggen. De korte pile viser de relative bevægelser omkring forkastningen mellem de to oceanrygge.

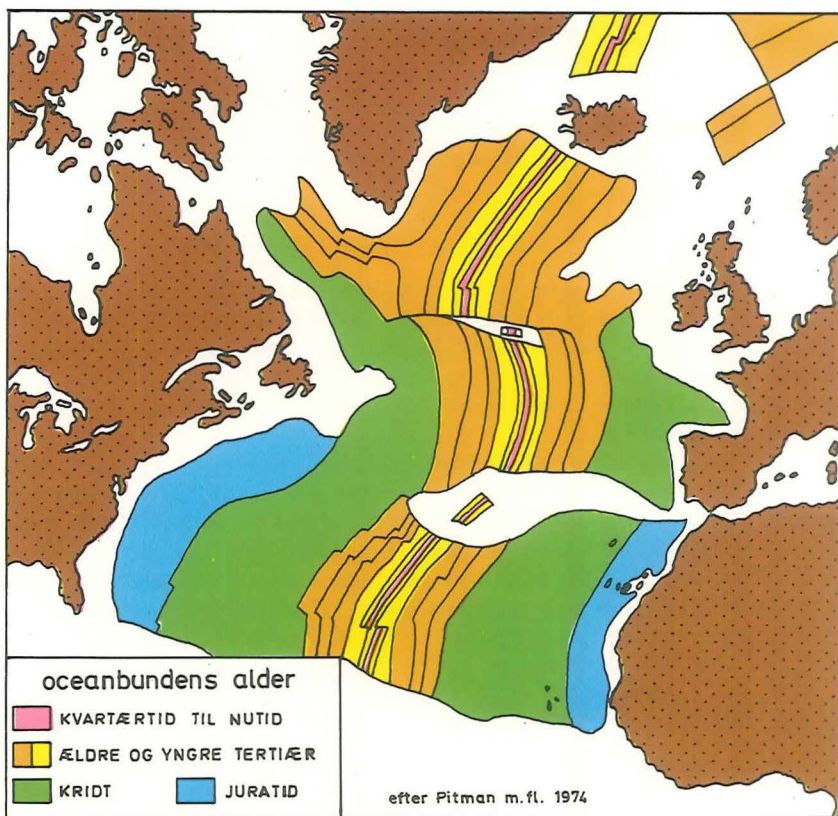
DATERING AF OCEANERNE

Efter dette udbud af overbevisende data til støtte for seafloor-spreading teorien, har de videnskabelige bestræbelser i høj grad været rettet mod at bruge teorien fremfor at bevise den. Et vigtigt skridt blev taget af Heirtzler og hans medarbejdere i 1968, da de opstillede en såkaldt polarisations-tidsskala for Jordens magnetfelt (figur 8). For at forstå betydningen af denne, er det nødvendigt at gøre sig klart, at de forskellige positive og negative perioder i Jordens magnetfelt ikke er lige lange, men varierer fra cirka 200.000 år til cirka 3 millioner år. Det betyder, at en given følge af polskifter bliver entydig og genkendelig, som for eksempel følgen af årringe i en træstamme. Heirtzler opstillede et forløb af 32 karakteristiske polariseringsintervaller indenfor de sidste 80 millioner år (figur 8).

Skalaen hviler i nogen grad på vidtgående antagelser, men har i store træk vist sig at være korrekt og bruges den dag i dag.

Ved at opmåle Jordens magnetfelt (for eksempel fra fly) over et oceanisk område og sammenligne med Heirtzlers "normalskala" kan oceanbundens alder i princippet bestemmes. Det er gjort for store dele af de oceaniske områder, og et eksempel er vist i figur 9.

Figur 8. Heirtzlers palæomagnetiske tidsskala. Sorte og hvide felter viser henholdsvis positiv og negativ magnetfretsretning.



Figur 9.

Det er senere forsøgt at forlænge tidsskalaen tilbage til cirka 120 millioner år, men identificeringen af anomalierne bliver her vanskelig, og i endnu ældre perioder næsten umulig.

DE "UNGE OCEANER"

Det er bemærkelsesværdigt, at Heirtzlers skala, kun dækkende de sidste 80 millioner år af jordklodens cirka 4.500 millioner år lange historie, er tilstrækkelig til datering af store dele af Jordens oceaniske områder. Over halvdelen af Jordens oceanbund må således være yngre end 80 millioner år, og kun mindre områder er ældre end 120 millioner år. De "gamle" oceanområder består hovedsagelig af de oceaniske randområder lige op mod kontinenterne, men også de mindre oceaner som for eksempel dele af det arktiske ocean, det Caribiske Hav og Sortehavet hører til

denne gruppe. Til sammenligning kan nævnes, at de ældste kontinentale bjergarter er dateret til 3.800 millioner år (indre Godthåbsfjord, Grønland), og at cirka 3000 millioner år gamle bjergarter forekommer på alle kontinenterne.

Den slående kontrast mellem kontinenternes og oceanernes alder er et næsten uafviseligt bevis for teorien om oceanbundsdestruktion ved dybgravene (figur 4).

PLADEBEVÆGELSER "PÅ MATEMATISK FORM"

Eftersom opmålingen af de oceaniske områder er skredet frem, har det kunnet lade sig gøre at bestemme de fortidige positioner af de enkelte "plader" indenfor de sidste 80 millioner år. Ud fra disse positioner kan bevægelsen af pladerne i samme tidsrum beregnes. Da bevægelsen foregår på en kugleflade (Jorden), kan denne beskrives matematisk, som en rotation omkring en bestemt pol.

Ved hjælp af computere, kan pladekollisionernes karakter og placering i tid og rum udregnes, og resultaterne viser god overensstemmelse med placeringen af jordskælvsaktive zoner, dybgrave og foldekæder. Beregninger har endvidere vist, at Wegeners spredningshastigheder var op til cirka 1000 gange for store. Det skal her indskydes, at såkaldte palæomagnetiske data også anvendes ved bestemmelse af pladernes bevægelser, men da disse data stammer fra kontinenterne, vil de ikke blive behandlet i denne artikel (se Varv 1969 nr. 3).

VOR "FASTE" JORD OG DE ANDRE PLANETER

Vor såkaldte "faste og uforanderlige" jord er, som læseren har erfaret, tværtimod ganske levende og foranderlig. Således bliver cirka 60 % af jordskorpen skiftet ud i løbet af geologisk set ret korte perioder (120 millioner år).

Det er naturligt at spørge: er andre planeter lige så levende som Jorden?

Det ved man endnu ikke, men givet er det, at det før omtalte forholdsvist plastiske lag i jorden, asthenosfæren, spiller en afgørende rolle i seafloor-spreading processen. Eksistensen af dette lag er betinget af blandt andet planetens størrelse, indholdet af radioaktive stoffer og overfladetemperaturen. Heraf kan vi slutte, at vor egen Måne givetvis er for lille til at seafloor-spreading forekommer, hvilket er i overensstemmelse med de høje aldre for hjembragt månemateriale (cirka 3000-4000 millioner år). Mars synes heller ikke at rumme muligheder for sådanne processer, medens Venus skulle have gode muligheder, hovedsagelig på grund af dens høje overfladetemperatur.

Når læseren griber næste nummer af Varv for at læse om dannelsen af det atlantiske ocean, er dette ifølge seafloor-spreading teorien blevet cirka 0.5 cm bredere.