

Pladetektonikkens fødsel

Erkendelsen af, at Jordens ydre skal består af store plader, som konstant driver af sted og omformer oceaner, kontinenter og bjergkæder, har været mere end 400 år undervejs. I dag udgør denne pladetektoniske teori den basale geologiske forståelsesmodel – et geologisk paradigme.

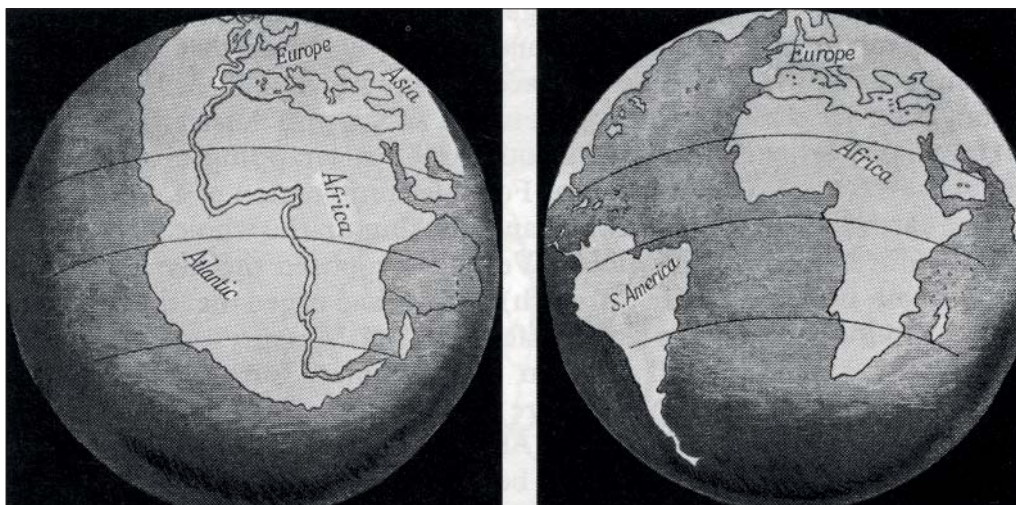
Af Henrik Olsen

■ Et geologisk paradigmeskifte! Det prædikat er blevet stemplet på pladetektonikkens sejrsgang i 1960'erne. Men hvordan blev den pladetektoniske teori egentlig til, og er der i det hele taget tale om et paradigme-skifte? Det kræver jo, at der i forvejen var et etableret paradigme – og var det overhovedet tilfældet?

Disse grundlæggende spørgsmål prøver jeg at besvare i denne artikel, hvor jeg også kommer ind på, hvordan pladetektonikken kun tøvende blev accepteret blandt danske geologer, og hvor geologistuderende langt op i 1970'erne og 80'erne måtte gætte sig til pladetektonikkens revolutionerende karakter.

Et langt tilløb mod en kontinentaldriftsteori

Tilløbet til formuleringen af den pladetektoniske teori er en langstrakt affære over godt 400 år. Den tager efter alt at dømme sin begyndelse i 1596, hvor den belgiske geograf Abraham Ortelius i sit værk »Geografiens skatkammer« *Thesaurus Geogra-*



Antonio Snider-Pellegrini var én af pionererne inden for kontinentaldriftsteorien. I publikationen *La Création et ses Mystères dévoilés* fra 1858 viste han med denne før-og-nu illustration, hvordan han opfattede Jordens geologiske udvikling. Snider-Pellegrinis teori fik dog ikke tilslutning af hans samtidige kolleger.

phicus argumenterer for, at de amerikanske kontinenter oprindeligt dannede en fælles landmasse med Afrika og Europa, men senere blev brudt op af jordskælv:

»Resterne af brud afslører sig selv, hvis man tager et kort over verden og omhyggeligt sammenligner kysterne,« er hans skarpsindige iagttagelse.

Det får dog ikke datidens

videnskabsfolk op af stolene, men bliver i stedet mødt med overbærende ligegyldighed. Samme skæbne overgår englænderen Francis Bacon, da han i 1620 genopdager de spejlende kystlinjer på hver side af Atlanten. Larmende tavshed møder også den franske geograf Antonio Snider-Pellegrini i 1858 på trods af hans velillustrerede afhandling med før-og-nu-

kort af kontinentaldriften, der lanceres under den selvsikre titel »Skabelsen og dens mysterier afsløret«, *La Création et ses Mystères dévoilés*.

Det samme er tilfældet 50 år senere, da den amerikanske amatørgeolog Frank B. Taylor i 1910 får trykt en artikel i *Bulletin of the Geological Society of America*. Her kan man læse, at Atlanterhavet har åbnet sig

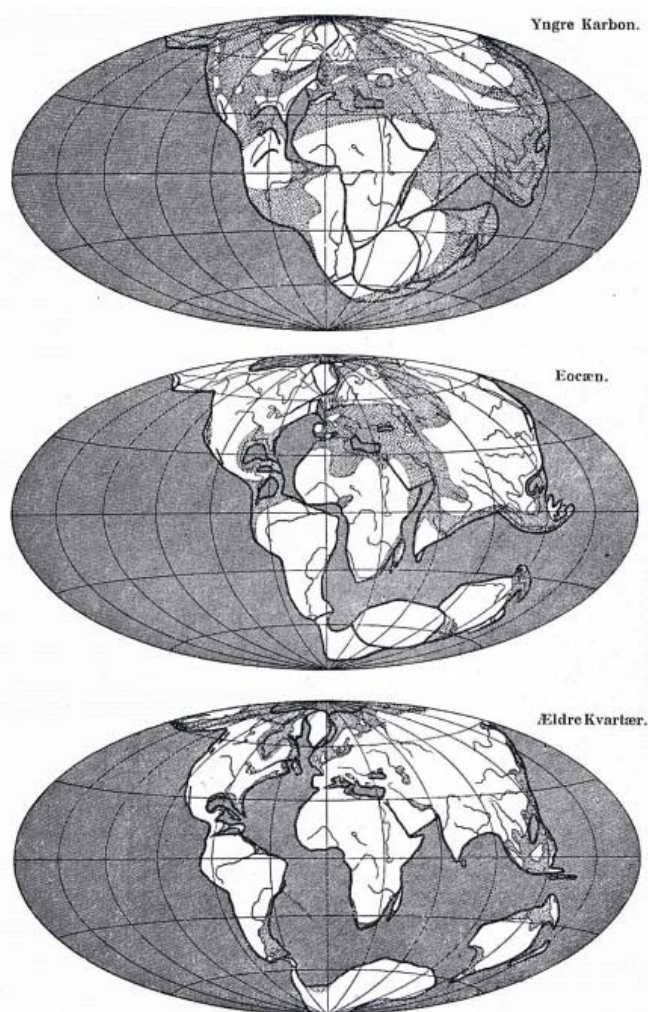
langs Den midtatlantiske Oceanryg, og at Månens tidejordskræfter trækker så kraftigt i kontinenter, at de langsomt glider fra polerne mod Ækvator. Hans tanker bliver modtaget med ophøjet ro af det etablerede videnskabelige parnas. At kontinenterne skulle glide tusinder af kilometer sideværts, er simpelthen *for* meget – for ikke at tale om Taylors tidejordspåstand, som er fuldstændig uacceptabel og fysisk umulig. Så Taylor bliver stort set ignoreret.

Den samtidige tyske meteorolog Alfred Wegener har til gengæld mere held med at få videnskabskollegerne op af stolene, da han i 1912 holder foredrag om sin kontinentaldriftsteori i Den geologiske Forening i Tyskland. Her indvier han kollegerne i sine tanker om, at kontinenterne pløjer sig vej gennem havbunden, og at Sydamerika og Afrika engang har siddet sammen. Men det er en mild overdrivelse at påstå, at han bliver klappet ud af auditoriet – endsiges accepteret. Og havde det ikke været for Wegeners terrieragtige vedholdenhed, var han nok gået i glemmebogen ligesom sine kontinentaldriftige forgængere.

Wegeners forgæves kamp for kontinentaldriften

I de kommende år dykker Wegener dybt ned i den geologiske litteratur. Hans studier viser blandt andet, at den afrikanske og sydamerikanske udbredelse af identiske fossile planter og landdyr fra tidsperioderne Perm og Karbon bedst kan forklares med et tidligere superkontinent, Pangæa, som for 200-300 millioner år siden samlede nutidens selvstændige kontinenter til én stor landmasse. Og for Wegener er det indlysende, at kontinentaldrift er årsagen til, at fossilerne nu kan findes i landområder med tusindvis af oceandækket afstand imellem. I 1915 sammenstiller Alfred Wegener derfor sine ideer om kontinentaldrift i bogen »Kontinenternes og oceanernes opståen«, *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*.

Alfred Wegeners opfattelse af kontinenternes rejseaktivitet svarer godt til nutidens opfattelse. Figuren optræder i tidsskriftet Meddelelser fra Dansk geologisk Forening efter hans foredrag Kontinenternes forskydning, som han holdt i København i 1922.



Wegener deler i de følgende år skæbne med sine forgængere i branchen for flytbare kontinenter. Det geologiske samfund er stort set tavst. Ingen tager nævneværdig notits af den provokerende nye afhandling. Udbruddet af Den første Verdenskrig spiller sandsynligvis også en rolle i de første års tavshed. Men da krigen er ovre, får Wegener mulighed for at rejse rundt med sit foredrag om de drivende kontinenter, ligesom hans afhandling kommer i nye udbyggede udgaver på flere sprog.

Tavsheden bliver afløst af højlydt kritik og indædt modstand i det etablerede geologiske samfund verden over. Bedre bliver det bestemt ikke, da Wegener forsøger sig med forklaringer på, hvordan kontinenterne kunne drive rundt på jordkloden. Wegener foreslår to mekanismer: polflugt og vestdrift.

Polflugt er forårsaget af Jordens rotation, som ifølge Wegener skaber en centrifugalkraft, der trækker kontinenterne væk fra polerne og ud mod Ækvator, mens oceanskorpen bliver liggende tilbage. Vestdrift skyldes ifølge Wegener Solens og Månens tiltrækning på kontinenterne, så de under Jordens rotation bevæger sig langsomt mod øst end oceanskorpen. Hvordan et kontinent skulle blive i stand til at pløje sig gennem oceanskorpens stenmasser, som var de gjort af grødis, springer han dog let henover. Hans forklaringer er derfor alt for nemme at skyde ned som geofysisk umulige, og da han i 1930 dør på en Grønlandsekspedition, efterlader han sig kun enkelte tilhængere af kontinentaldriftsteorien, mens den store skare af geovidenskabsfolk tager klart afstand.

I 1928 har den britiske geo-

log Arthur Holmes ellers fremlagt en teori, der skuet i nutidens bakspejl burde have fundet klangbund blandt datidens geologer og geofysikere. Han beskriver, hvordan radioaktiv opvarmning af stenmasser skaber konvektionsstrømme i kappen, som kan få kontinenter til at bryde op i flere mindre kontinenter, der langsomt bliver ført bort fra hinanden sammen med skiver af oceanskorpe, som kontinenterne sidder fastnaglet til. Manglen på håndfaste beviser medfører dog, at denne støtte til kontinentaldriften – og fremsynede forløber for pladetektonikken – ikke slår an i sin samtid.

Pladetektonikteorien tager form

De kommende år bringer ikke meget nyt til støtte for kontinentaldriftsteorien, men i løbet af 1940'erne og 1950'erne foregår en intensiv kortlægning af

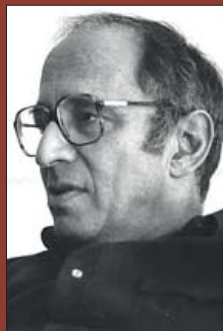
Thomas Kuhn og det videnskabelige paradigme

Det videnskabsteoretiske paradigme-begreb er etableret i 1962 af den amerikanske fysiker Thomas Kuhn (1922 - 1996) i bogen *The Structure of Scientific Revolutions*. Her hævder Kuhn, at naturvidenskabens ikke har udviklet sig ved en gradvis akkumulering af viden, men gennem omvæltninger i den videnskabelige forståelse – såkaldte paradigmeskifter.

Kuhn hævder, at videnskabelig forskning altid udføres inden for et bestemt, herskende paradigme. Paradigmet er et sammenhængende videnskabeligt kompleks, hvorfra et problem anskues og behandles. Paradigmet er på den måde en grundlæggende verdensanskuelse, der er bestemt af teori, begreber og det fagsprog, som den er formuleret i. I Kuhns forstand er der yderligere to basale krav, som skal være opfyldt, før en videnskabelig anskuelse kan betragtes som et paradigme. For det første skal den videnskabelige anskuelse være så overbevisende, at den trækker det store flertal af videnskabsfolk inden for videnskabsgrenen over i sin lejr og væk fra konkurrerende ansuelse. For det andet skal der endnu være mange uafsluttede forskningsemner, som tilhængerne kan beskæftige sig med og løse ved hjælp af den nye videnskabelige anskuelse. På den måde er anskuelsen tilstrækkelig attraktiv for forskerne og gør den til et levende forskningsemne.

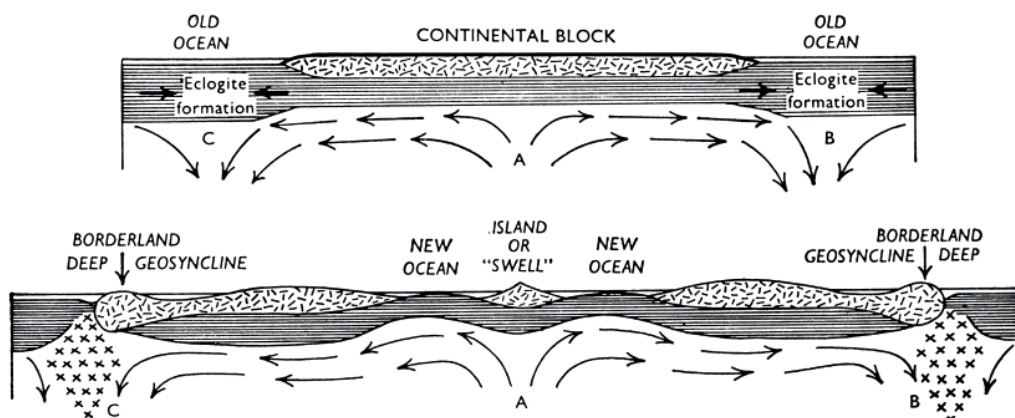
I takt med nye opdagelser inden for en videnskab, vil det videnskabelige paradigme altid møde uregelmæssigheder – erkendelse af, at naturen på en eller anden måde har overtrådt de forventninger, som paradigmet har fremkaldt. Problemerne kan oftest løses ved at korrigerer paradigmet, så det kan rumme de nye opdagelser, der på den måde bliver ændret fra at være unormale til at være forventede.

Visse unormale opdagelser vil dog bestå, uden at paradigmet formår at indstøbe dem i sit skelet. Hvis disse problemer hober sig op, kan paradigmet ifølge Kuhn komme i krise, og kun ved at introducere et nyt, alternativt paradigme, som løser de ophobede problemer, kan videnskabens komme videre. Når dette *paradigmeskifte* indtræffer, taler Kuhn om en revolution. Videnskabelig erkendelse bevæger sig på den måde frem i ryk og gennem dramatiske omvæltninger.



gene, og det bekræfter teorien om, at ny havbund dannes ved spredning og vulkanisme i oceanernes centrale riftzoner under skiftende retninger af Jordens magnetfelt.

De nye opdagelser giver kortvarigt grobund for en ældre teori om, at jorden ekspanderer, fordi der hele tiden kommer ekstra havbund til syne. Men i de følgende år vokser en forståelse af, at havbunddannelsen bliver modsvaret af havbundsdestruktion ved subduktionszonerne, blandt andet hjulpet på vej af jordskælvkortlægning, der tydeligt viser aktivitet langs oceanernes dybgrave og under bjergkæderne. I 1968 foreslår den amerikanske geofysiker William Jason Morgan, at Jordens ydre skal består af stive lithosfæreplader, der bevæger sig i forhold til hinanden, drevet af bevægelser i asthenosfæren – den delvist opsmeltede nedre del af Jordens kappe. Samme år, men et par måneder senere, påviser den franske geofysiker le Pichon meget overbevisende, at jordklodens ydre skal er opdelt i seks lithosfæreplader – flere af dem med både oceanbund og kontinent – og han beregner de enkelte pladers bevægelse med stor nøjagtighed. Oceanbunds-spredning, subduktionszoner og bjergkædedannelse er nu samlet i én teori, og Arthur Holmes' konvektionsteori fra 1928 bliver støvet af og kombineret med de øvrige iagttagelser. Hermed er grundstammen i den pladetektoniske teori endeligt på plads, og det store flertal af geologer og geofysikere betragter pladetektonikken som den basale geologiske forståelsesmodel – geologiens paradigme.



I 1928 har Arthur Holmes godt fat i én af drivmekanismerne bag kontinentaldrift og pladetektonik. Men der går yderligere 40 år, før hans konvektionsmekanisme bliver alment accepteret. Illustrationen er fra Transactions of the Geological Society of Glasgow. Bemærk i øvrigt, at Holmes lader de allestedsnærværende geosynklinaler være en del af modellen, ligesom det var tilfældet i de første år med pladetektonikken.

oceanernes havbund, som snart skal give fornyet liv til teorien om flytbare kontinenter. En af de mest omfattende kortlægninger af Den midtatlantiske Oceanryg foregår under ledelse af den amerikanske geolog Bruce Heezen, og i 1960 publicerer han artiklen *The rift in the ocean floor* i *Scientific American* med den første grundige beskrivelse af oceanryggen som en aktiv rift.

I 1962 har den amerikanske geolog Harry Hess samlet de seneste års forskning om oceanryggen og påstår, at de er arnestedet for oceanbunds-spredning. Blandt andet kan han med dateringer af boreprøver påvise, at den basaltiske havbund bliver ældre, i stigende afstand fra Den midtatlantiske Oceanryg. Året efter afslører den canadiske geolog Tuzo Wilson, at alderen

på mange af oceanernes vulkanske øer vokser med afstanden til oceanryggen, og han tager denne observation som bevis på, at havbundspladerne bevæger sig væk fra oceanernes højderygge. I de følgende år viser magnetiske undersøgelser af oceanbunden, at der optræder et symmetrisk mønster af normalt og reverst magnetiseret havbund omkring oceanryg-

Pladetektonikken

– et geologisk paradigme

Mange geologer har brugt betegnelsen *paradigmeskifte*, om det der skete, da pladetektonikken iførte sig den geologiske førertrøje foran andre geologiske forståelsesmodeller.

Det videnskabsteoretiske paradigme-begreb kan den amerikanske fysiker Thomas Kuhn tage æren for. Han udarbejdede i 1960-erne teorien om, hvor-

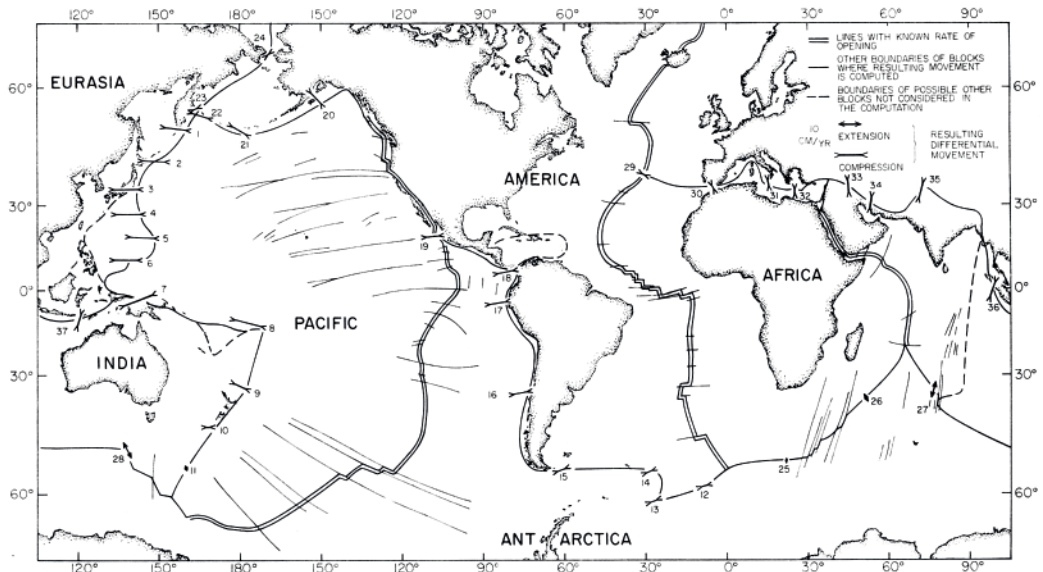
dan en videnskabelig teori bliver til og kommer til at dominere inden for sit felt. For at en videnskabelig teori kan gøre krav på titlen som et paradigme, skal der ifølge Kuhn være tale om et sammenhængende videnskabeligt kompleks, der har opbakning blandt det store flertal af professionelle inden for sit felt, og som stadig har mange uafsluttede forskningsemner, der gør den attraktivt at arbejde videre med.

Pladeteknikken lever op til alle disse krav. Men hvad var det egentlig for et geologisk paradigme, pladeteknikken slog af banen? Svaret er, at der før pladeteknikken faktisk ikke var en dominerende geologisk verdensanskuelse, som kunne gøre krav på status som geologisk paradigme.

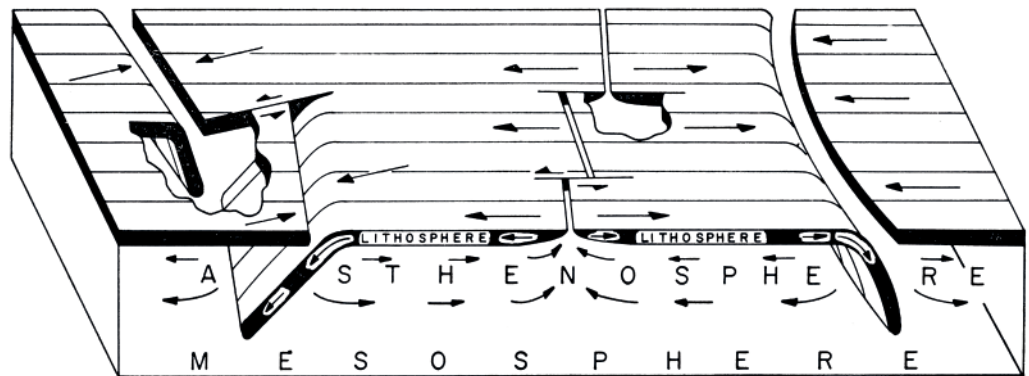
Permanensteori

I det tidlige 1900-tal var der primært to konkurrerende teorier om jordskorpens udformning og udvikling. Den ene var *permanensteorien*, som den amerikanske geolog James Dwight Dana stod fadder til i 1846. Ifølge Dana blev jordskorpen dannet under afkøling af Jorden. Først blev kontinenterne skabt af kvarts, feldspat og andre relativt lette lavtemperaturmineraler, og siden – under stadig afkøling – blev oceanbassinerne dannet ud fra tungere højtemperaturmineraler blandt andet pyroxen og olivin. I overensstemmelse med det isostatisk princip flød de lette kontinenter ovenpå, mens oceanerne sank ned. Og efter kontinenter og oceaner i en fjern fortid var skabt, forblev de permanente bestanddele af jordoverfladen – for tid og evighed fastnavlet til deres oprindelige position.

Efterhånden blev permanensteorien suppleret med geosynkinalteorien, som gjorde det muligt at forklare, hvordan foldede marine sedimenter kan danne store bjergkæder. Ifølge denne teori blev sedimenterne affejret i havet under fortsat indsynkning af en geosynkinal for så senere at blive foldet op i en bjergkæde, når indsynkningen ophørte. På den måde



Pladeteknikken slår endelig igennem i 1968, hvor le Pichon beskriver jordklodens ydre som seks flytbare lithosfæreplader og beregner de enkelte pladers bevægelse med stor nøjagtighed. På denne figur fra hans artikel i *Journal of Geophysical Research* viser han desuden, hvor mange centimeter, de enkelte plader bevæger sig årligt.



Isacks, Oliver og Sykes viser med denne berømte figur fra deres 1968-artikel i *Journal of Geophysical Research* principperne i pladeteknikken med pladebevægelser, dannelsen af ny havbund ved oceanryggen og destruktion af havbund, hvor to plader støder mod hinanden. Pladeteknikken er nu udviklet som et geologisk paradigme.

kunne der ske stadig vækst langs randen af kontinenterne, mens kontinenterne blev stående, hvor de hele tiden havde stået. Dynamikken bag geosynkinalerne var ukendt, men det afholdt ikke tilhængerne af permanensteorien fra at tage geosynkinalerne til sig.

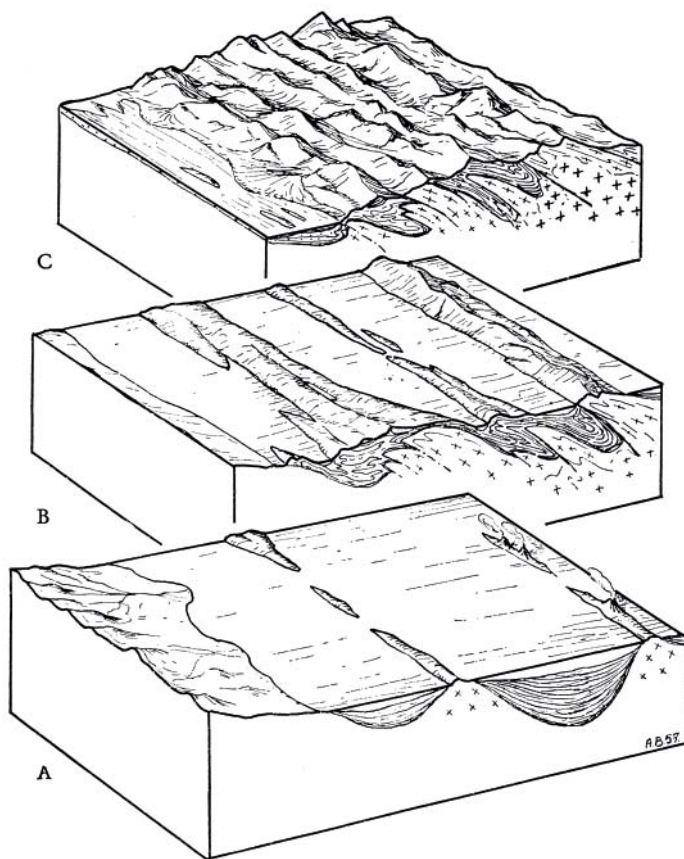
Permanensteorien havde dog et alvorligt problem: Det var meget vanskeligt at forklare, at visse fossile plante- og dyrearter kunne findes på kontinenter adskilt af tusinder af kilometer ocean, selv om de tydeligvis aldrig havde levet i havet. Det problem løste tilhængerne af den konkurrerende og lidt senere *kontraktionsteori*, som især tilskrives geologen Eduard

Suess, der blev født i England men levede det meste af sit liv i Østrig.

Skrumpejord og voksejord

Kontraktionsteorien havde det til fælles med permanensteorien, at der ikke kunne foregå sideværts bevægelser – kun op- og nedadrette tektoniske bevægelser kunne finde sted. Mens Jorden langsomt blev afkølet, blev der dannet en fast skorpe på overfladen. Ved fortsat afkøling skrumpede Jorden, og jordskorpen blev brudt op. Visse steder blev jordskorpen presset op i kontinenter og bjergkæder, mens den andre steder blev presset ned for at danne oceanbund. Det, som især

adskilte kontraktionsteorien fra sin konkurrent, var, at Jorden ifølge teorien blev ved med at trække sig sammen. På den måde fik man en langt mere dynamisk Jord, hvor landområder kunne komme og gå, når der var "behov" for det. Og der var et stort behov for den slags midlertidige *landbroer*, som i en periode kunne forbinde to vidt adskilte kontinenter for senere at synke i havet uden at efterlade sig synlige spor. På den måde kunne man forklare, hvorfor landlevende dyr og planter kunne findes fossilt på to kontinenter, som nu er adskilt af et ocean. Flere tilhængerne af denne skrumpejordsteori tog også geosynkinalerne til sig



– stadig uden en egentlig forklaring på drivmekanismen.

Da pladetektonikken trådte sine barnesko i form af Wegeners teori om de drivende kontinenter, var der altså to konkurrerende teorier om Jordens dynamik og udvikling. Og selv om kontraktionsteorien nok havde et pænt overtag i den første halvdel af 1900tallet, så var der – især i USA – stadig mange tilhængere af permanensteorien. I 1950erne og starten af 1960erne fik de to store geodynamiske teorier tilmed selskab af den australske geolog Samuel Warren Careys *expanding earth* teori, der fik lidt vind i sejlene, da man opdagede oceanbundsspredningen, men endnu ikke havde fået øje på subduktionszonerne.

Hverken permanensteorien, teorien om den skrumpende Jord eller voksejord-teorien lever derfor op til et af de afgørende krav, man må stille til en videnskabelig anskuelse, for at den kan kaldes et paradigme. Nemlig at den videnskabelige anskuelse skal være så overbevisende, at den trækker det store flertal

af videnskabsfolk inden for den pågældende videnskab over i sin lejr og væk fra konkurrerende anskuelser. Med andre ord, så er der ikke noget egentligt geologisk paradigme i den første halvdel af 1900tallet.

Først i 1960erne – med opdagelsen af oceanbundsspredningen, af lithosfærepladerne, som kan forskubbe sig i forhold til hinanden, og af de tektoniske bevægelser langs pladegrænserne – står geologerne med det første egentlige geologiske paradigme: den pladetektoniske teori.

Tøvende accept i Danmark

På trods af 1960ernes pladetektoniske revolution er det ikke dette geodynamiske verdensbillede, som dominerer i Danmarks sen-tressere og starten af 70erne. Førende danske specialister i jordskorpens processer fastholder i årevis, at pladetektonikken er et fejlskud. Det sker primært, fordi de har baseret deres forskningskarriere på ideer om fastlåste kontinenter – forskning, som ville miste fodfæstet, hvis kontinentaldrift og pladetektonik slog an.

Geosynklinal-teorien var en sejlivet rest af fordums geologiske verdensbillede, som danske geologistuderende og andre geologiinteresserede skulle trækkes med langt ind i 1980erne, længe efter pladetektonikken var slået igennem. I den danske geolog Asger Berthelsens streg fra 1957 i lærebogen *Geologi – primært rettet mod gymnasiet* – illustreres udviklingen fra en geosynklinal til en foldebjergkæde. Selv om der i foldestadiet (C) helt klart er sket en voldsom horisontal sammentrykning, som kun kan dannes af laterale pladebevægelser, indgår pladebevægelser paradoksalt nok ikke i geosynklinal-teorien. Denne tankegang gjorde livet surt for mange geologistuderende, som naturligt nok havde vanskeligt ved at få geosynklinalerne indpasset i det pladetektoniske tanke sæt.

Samtidig er mange danske Grønlandsgeologer stærkt præget af den karismatiske svejtsiske geolog John Haller. Langt op i 1970erne afviser Haller pladetektonik som forklaring på den Kaledonske bjergkæde i Østgrønland, som nu regnes for et klassisk pladetektonisk fænomen.

Men presset fra de mange nye undersøgelser bliver efterhånden for stort, og i 70erne bliver også Grønlandsgeologerne og de skeptiske danske eksperter tøvende omvendt – på et tidspunkt, hvor pladetektonikken for længst har gået sin sejrsgang i størstedelen af verden.

I universiteternes geologiske undervisningslokaler bliver pladetektonik dog aldrig udbasuneret som en revolutionerende geodynamisk teori. Det moderne pladetektoniske tanke sæt bliver ganske udramatisk lempet ind i 1970ernes almindelige geologiundervisning – side om side med de uforklarlige men sejlvivede geosynklinaler, som kun langsomt bliver fortrængt fra pensum i slutningen af 80erne. ■

Om forfatteren



Henrik Olsen er geolog og videnskabsjournalist.
Tlf.: 5121 1788
henrik@ordbryggeriet.dk

Videre læsning:

Henrik Olsen, 2008: *Da drivende kontinenter blev slået fast - danske geologer, kontinentaldriften og pladetektonikken*. *Geologisk Tidsskrift*, 2008, side 1-43.

Thomas S. Kuhn, 1973: *Videnskabens revolutioner*. Dansk oversættelse af: *The Structure of Scientific Revolutions*, 2. udgave. Med indledning af Stig Andur Pedersen. Fremad, pp. 304.