



**Tomografi.** Med et nyt seismisk atlas kan geologer nu både se dybt ned gennem klodens lag og 300 millioner år tilbage i fortiden.

# Adgang til underverdenen

AF PETER HARMSÉN

Jordens overflade har ændret sig kolossalt igennem tiderne. Kontinenter og oceaner er opstået og gået til grunde igen. Hvis man kunne optage det hele med kamera og sætte filmen på super-fastforward, ville de voksende og skrumpende verdensdele få vores klode til at tage sig helt levende ud. Det er en udvikling, som forskerne forstår bedre og bedre, og de har fået et vigtigt hjælpemiddel i form af et netop færdiggjort »Atlas over underverdenen«.

Atlasset kortlægger de vidnesbyrd om Jordens geologiske fortid, der befinder sig under fødderne på os i kappen, det cirka 3000 kilometer brede lag uden om planetens kerne. Her ligger stumper af det, der engang var overflade, og fortæller en historie om, hvordan verden så ud helt tilbage til for over en kvart milliard år siden, kort før dinosaurerne begyndte at dominere.

Det har taget tre hollandske geologer 17 år at gøre atlasset færdigt, blandt andet fordi de ikke kunne beskæftige sig med det på fuld tid og var nødt til at bruge aftenener og weekender på projektet. Egentlig begyndte det hele forholdsvis beskedent med, at en af dem kiggede på kappen under Det Caribiske Hav, fortæller Douwe van Hinsbergen fra Utrecht Universitet.

»Han blev hurtigt enig med sig selv om, at det ikke gav mening, medmindre han også inddrog Nord- og Sydamerikas geologiske forhistorie, så projektet begyndte hurtigt at vokse. Snart blev vi andre også involveret, og det stod klart for os, at det var nødvendigt at se på hele planeten, og her er vi så, 17 år senere,« siger han.

Atlasset eksisterer indtil videre som en hjemmeside, hvor de tre forskere har lagt alle deres resultater ud og opfordrer kolleger rundt omkring på verdens universiteter til at byde ind med debat og kritik. Der har jo nok, som van Hinsbergen siger, indsneget sig en fejl her og der, når et tremandshold forsøger at beskrive hele Jordens historie over en 300 millioner år lang periode. Indtil videre har modtagelsen dog været positiv.

»Atlasset er et imponerende og omfattende værk, som kæder udviklingen af Jordens indre sammen med bevægelser i kontinenter og oceaner på overfladen. Det giver en systematisk analyse og skaber konkrete rammer, der vil vise sig nyttige for et helt spektrum af forskere,« siger Grace Shephard, en geolog fra Oslo Universitet, som ikke selv var med til at udarbejde atlasset.

ATLASSET er den seneste udløber af den forskning i pladetektonik, som har optaget geologerne i de seneste mange årtier. Den bygger på en simpel erkendelse: Jordens overflade består af et antal plader, der passer sammen som brikkerne i et puslespil. De møder hinanden i områder på havbunden, som fagfolkene kalder subduktionszoner. Her glider den ene plade ind under den anden og begynder en færd ned gennem kappen.

Det er en langsom rejse, og alligevel – så langsomt går det heller ikke. I kappens øvre lag sker det med en årlig fart af helt op til 15 centimeter, men tempoet daler efterhånden. I en dybde af cirka 600 kilometer opstår der, hvad van Hinsbergen kalder en »trafikprop«, hvor der begynder at blive trangt mellem de forskellige plader. Derefter fortsætter de turen, indtil de finder deres sidste hvilested 3000 kilometer nede på grænsen mellem kappen og kernen: »Kirkegården«, som forskerne dystert kalder det.

De tre hollændere har indtil videre identificeret næsten 100 plader på vej gennem Jordens kappe. Det er sket ved hjælp af en særlig teknik ved navn seismisk tomografi, som består i at måle seismiske bølger fra jordskælv. Seismisk tomografi har eksisteret i årevis, men nye avancerede metoder for indsamling og bearbejdning af data betyder, at forskerne nu kan afbilde strukturer dybt under Jordens overflade med en præcision, som aldrig er set

før, fortæller Shephard fra Oslo Universitet.

»Der er i høj grad tale om et vækstområde. Når vi på den måde ser på de forskellige brudstykker af geologiske levn på Jordens overflade i kombination med Jordens indre struktur, så er vi i stand til at udrede Jordens dybe historie. Det vil holde os beskæftiget et godt stykke ud i fremtiden,« siger hun.

For eksempel er det sandsynligt, at yderligere forskning vil resultere i et mere detaljeret billede af, hvordan kappen ser ud under Stillehavet. Det er et område, som udgør omtrent en tredjedel af planetens samlede overflade, men som forskerne indtil videre ved forholdsvis lidt om, fordi der ikke er særlig meget apparatur opstillet til at måle de seismiske bølger i netop den del af verden.

OG hvad kan det så alt sammen bruges til? Van Hinsbergen peger på, at et medlem af hans team allerede har benyttet atlasset til at beregne den udledning af kuldioxid, som er forårsaget af vulkansk aktivitet i fortiden. Atlasset har også været udgangspunkt for at danne et billede af, hvor højt havene stod tidligere. På den måde kan det indirekte give forskere et redskab til at se ind i fremtiden.

»Atlasset kan ikke forudsige, hvad vi mennesker vil gøre ved planeten, men en af de ting, vi kan bruge det til, er at forklare de variationer i fortidens kuldioxid-udslip, temperatur og havniveau, som skyldtes pladetektonik. Det

er det hjerteslag, hvormed Jorden selv driver udviklingen af sit miljø. Og det hjerteslag er igen en basis, som gør os bedre i stand til at forstå, hvad vi nu er ved at gøre ved klimaet,« siger han.

Lægfolk kan måske undre sig over, at et værk af så basal karakter ikke er blevet lavet for længst. Det svarer lidt til, at sprogfolk først nu fandt på at udgive *Ordbog over det danske Sprog*. Den lange ventetid afslører noget om, hvordan forskning fungerer, fortæller van Hinsbergen.

»Det tog os jo 17 år at blive færdige, og det er efter min mening selve sagens kerne. Hvis man søger om finansiering af et videnskabeligt projekt og siger, at man skal have penge til forskning i de næste 17 år, så får man med det samme at vide, at det kan man godt glemme alt om,« siger han.

»Det her er ikke ligefrem et fireårsprojekt, som er den typiske tidshorisont. Det har været, hvad der svarer til en halv karriere. Det kunne vi kun gøre, fordi det i virkeligheden var en slags hobby for os. Vi var ikke under noget pres for at blive færdige, så vi kunne tage os god tid og koncentrere os om at have det sjovt.«

*Douwe G. van der Meer et al. »Atlas of the underworld: Slab remnants in the mantle, their sinking history, and a new outlook on lower mantle viscosity,« i Tectonophysics, oktober 2017.*



På [www.atlas-of-the-underworld.org/](http://www.atlas-of-the-underworld.org/) kan man se de cirka 100 steder, forskerne har lokaliseret, hvor pladestykker er på vej ned gennem kappen. Når man trykker på et ikon, får man de nærmere data om eksempelvis Himalaya (rød ring), hvor Indien skubber sig ned under Asien.