

# Kortlægning i dybden

## - Tor-projektet ser nærmere på lithosfæren

Af geolog Jørgen Sivertsen

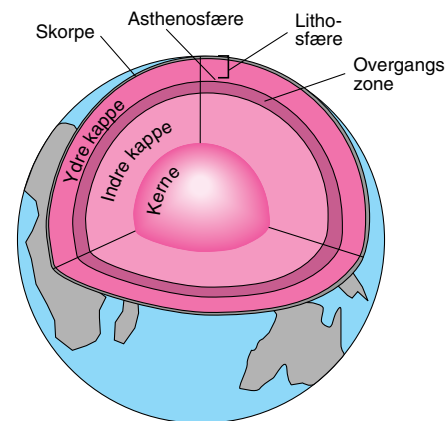
Feltarbejdet i et internationalt dansk ledet seismologisk projekt er netop færdigt. Her følger en præsentation af det hidtidige arbejde samt af forventningerne til det videre forløb.

Første del af et felteksperiment med 120 seismografer i et næsten 800 km langt bånd henover Tornquist-zonen (se kort) er netop overstået. Seismograferne har været opstillet, fra Stockholm i nord, tværs over Sjælland og til syd for Hamburg. Planerne med dette projekt, som er blevet døbt Tor (fra Tornquist, Teleseismik og Tomografi), går ud på at registrere signaler fra fjerne jordskælv, for derved at tage et slags snitbillede ned til 2-300 kilometers dybde af området omkring Tornquist-zonen. Metoden kaldes teleseismisk tomografi og man benytter altså en passiv metode til at danne sig et billede ud fra en "gennemlysning" af Danmarks dybere undergrund.

### Baggrund for projektet

Formålet med Tor-projektet er at udnytte geofysiske målinger til at øge vores viden omkring overgangszonen mellem de to lithosfæreplade-områder Avalonia og Baltica, specielt i de dybere dele af lithosfæren (se boks). At undersøge disse dybder af overgangszonen kræver en del materiale og dermed også forskningsmidler. Tor-projektet er af den grund lagt an som et internationalt forskningsprojekt, hvor i første omgang ni lande deltager, deriblandt Danmark, Tyskland, Sverige og Schweiz.

Forskningsrådene fra de nævnte lande har givet midler til udstationering af de 120 seismografer i første del af projektet. Endnu en væsentlig bidrager er Polen, som har opstillet og vedligeholdt 20 seismografer i Danmark. Budgettet for hele projektet vil ligge på ca. 6 millioner kr, hvoraf den største udgift går til kontrol og vedligeholdelse af de udstationerede seismografer, men også fortolkningen er en væsentlig udgift, bl.a. til aflønning af



Skitse af jordklodens opbygning. Lithosfæren er ydere del med skorpen og noget af kappen. Under lithosfæren følger asthenosfæren. P-bølger vandrer uhindret tværs gennem jordens kappe (Grafik: CRK og JD)

Ph.D.-studerende i adskillige lande. Tor-projektet er en del af Europrobe, et europæisk geologisk/geofysisk samarbejde,

## Strukturer i den dybere undergrund

For at besvare spørgsmålet hvorfor der måles så intensivt i et ellers stille område af Jordens overflade, bør vi kaste et blik på den geologiske udvikling af Nordeuropa. To af skorpe-områderne, som det europæiske kontinent er opbygget af, er Baltica, eller det Baltiske Skjold, og Avalonia. De to plader, med hver sin udviklings-historie, hænger i dag sammen i en zone beliggende i Danmark og Polen. Baltica, som omfatter det meste af Skandinavien samt et større område af Rusland mod øst og sydøst, blev dannet for ca. 1 milliard år siden.

Avalonia, som omfatter et bælte af det nordligste Europa syd for Baltica, er ligeledes opbygget af en prækambrisk kerne med en alder på 1,4 milliard år, men er senere deformeret gennem en række bjergkædefoldninger, tidsmæssigt strækkende sig tilbage fra 400-450 millioner år og stort set til nu. Således er de to områder af vidt forskellig alder og opbygning, og anses nedefter for at have forskellige lithosfære-sammen-sætninger. Lithosfæren under Jordens kontinenter er generelt ca. 70 km eller mere tyk,

og under lithosfæren findes asthenosfæren, som ikke har en fast struktur. Kontinental-drift-teorien, som fik sit gennembrud i 1960'erne, bygger på den antagelse, at de stive lithosfære-dele (kontinenterne og oceanbundene) vandrer henover en flydende asthenosfære. Hvad der er drivmekanismen er ikke klarlagt.

Den dybe undergrund i Danmark er altså overgangszone fra pladen under Skandinavien og til det øvrige Europa. Helt præcis menes linien at gå umiddelbart syd for Danmark (Trans European Fault = TEF på oversigtskortet). Vi har her et fortidigt sammenstød mellem to plader af Jordens ydre skal eller lithosfære, der altså engang har bevæget sig i forhold til hinanden. Zonen eller suturlinien bliver betragtet for helt død idag. De eneste jordskælv, der måles med centre på dansk grund, er grupperet i to områder, et beliggende nordvest for Vendsyssel og et beliggende lige nord for Sjælland i Kattegat. Det står ikke klart, hvad der udløser skælvne, men de bliver betragtet som forårsaget af det samlede pres af og dels spredning

af Atlanterhavs-pladerne, der skubber fra en nordvestlig retning, og dels ved et pres syd fra forårsaget af sammenstødet mellem Afrika og Europa. Jordskælvscentrene ligger begge i nærheden af den såkaldte Sorgenfrei-Tornquist-zone.

Sorgenfrei-Tornquist-zonen defineres som regel til at løbe gennem Sydsverige, den nordlige del af Øresund, hen over Kattegat og midt mellem Vendsyssel og Thy (STZ på figur). Zonen er grænsen mellem den opløftede centrale del af Baltica og en sedimentpakke, som udgør en stor del af Danmarks undergrund. Sorgenfrei-Tornquist-zonen har sin fortsættelse mod sydøst ned gennem Polen, og bliver her kaldet Teisseyre-Tornquist-zonen (TTZ). I Polen er zonen bedre defineret end i Danmark, og i modsætning til i Danmarks undergrund, er den stort set sammenfaldende med suturlinien mellem de to gamle lithosfæreplader. Samspillet mellem gamle pladegrænser og senere forkastninger i Danmarks undergrund er således en kompliceret sag, som Tor forhåbentlig kan kaste lys på.

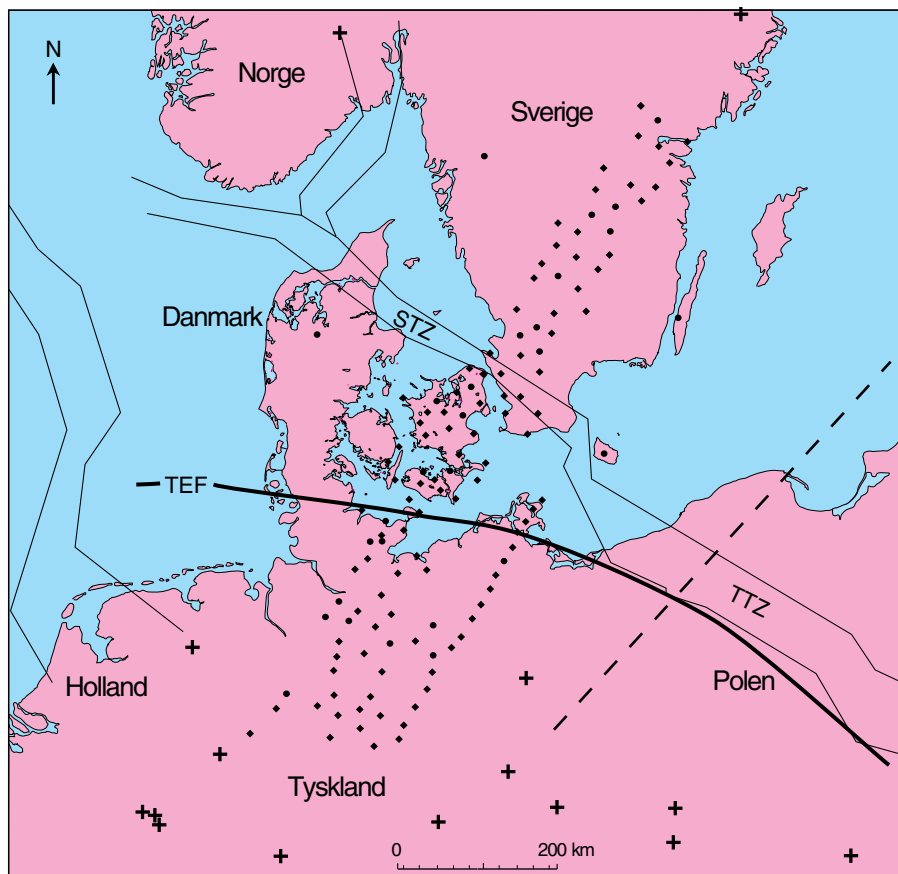
tværs henover det nu hedengangne jern-tæppe mellem øst og vest. Jerntæppet eksisterer jo ikke mere, men Europrobe er stadig væsentligt for øst-vest samarbejdet og det har projekter kørende i såvel Øst- som Vesteuropa.

Fra Danmark er Københavns Universitet og Kort- og Matrikelstyrelsen involveret, og som leder af projektet står Søren Gregersen fra Geodynamikkontoret i Kort- og Matrikelstyrelsen. Søren Gregersen har stået for den daglige koordinering af teknikere og studerende under feltarbejdet.

### Første del af Tor netop afsluttet

For at indhente erfaringer inden det store projekt løb af stabelen, blev der i vinteren 1994-1995 udstationeret 10 seismografer i Nordsjælland og 14 i Sydsverige. Man ønskede at indhente erfaringer i håndtering af de store datamængder samt i optagelse af fjerne seismiske signaler på henholdsvis blød muldjord og fast klippegrund. Dette forprojekt, kaldet Tor-0, varede et halvt år. I oktober 1996 blev så første del af hovedprojektet, kaldet Tor-1, igangsat ved placeringen af seismografer langs linien tværs hen over Skåne, Sjælland og videre mod sydvest til Hamburg. De 120 udstationerede seismografer har indtil maj 1997 stille og roligt registreret jordskælv fra hele Verden.

Man har primært målt på såkaldte P-bølger (trykølger gennem fast stof), men også S-bølger (tværbølger) og overfladebølger er blevet registreret. Bølgernes hastighed er afhængig af mediets sammensætning, og forskellen i deres ankomsttid til de forskellige seismografer på linien vil give oplysninger om lithosfære-sammensætninger på tværs af grænsen mellem de to plader. Seismograferne er blevet placeret med 20 km mellemrum, og man håber på samme horisontale opløselighed ned til 2-300 km dybde. Det vil give detaljer af en



Kort over undersøgelses området. Seismografer angivet med forskellige symboler, men alle er anvendt i projektet. STZ: Sorgenfrei-Tornquist-zonen, TTZ: Teisseyre-Tornquist-zonen, TEF: Trans European Fault. Stiplet linie viser Tor-2's placering. (Grafik: JS og JD)

lithosfære-overgang, som bliver markant bedre, end hvad der hidtil er set i den dybde.

### Det videre arbejde

30 seismografer står stadig ude i landskabet og registrerer jordskælv, resten er ved at blive hentet hjem. Anden del af Tor-projektet, Tor-2, forventes at gå i gang i 1999 eller ved årtusindskiftet. Planerne er

nogenlunde de samme som for første del, bortset fra at den geografiske placering bliver i den nordlige del af Polen, henover Teisseyre-Tornquist-zonen, en fortsættelse af Sorgenfrei-Tornquist-zonen.

Samarbejdet er som nævnt internationalt, og en mængde efterfølgende data-modellering vil ske i Zürich, Prag, Strasbourg, Grenoble, Kiel, Potsdam, Uppsala og København. I første omgang ses på forskelligheder i jordskælvssignaler fra station til station. I løbet af sommeren 1997 vil opsamlet data på ankomsttiderne af de fjerne jordskælvssignaler blive lagret på computere, så beregningerne af lithosfærens uregelmæssigheder kan begynde. De mange involverede forskere vil udnytte den indsamlede data-mængde til sammenligning af P- og S-bølgers udbredelse i den dybe undergrund.

Den store "antenne" af seismografer kan tillige benyttes til specialstudier af dybe geofysiske/geologiske strukturer i fjerne egne af Jorden. Herudover virker de mange seismografer som et fantastisk supplement til de permanente seismografer ved studiet af små lokale jordskælv. For sidstnævnte er der dog ikke konkrete projekt-planer, da man endnu ikke har overblik over disse muligheder. ■



Opstillet seismografi i feltet – her inde i en bygning på Stevns. (Foto: KMS)