

Jorden under forandring

- kontinenter på vandring

Af geolog Ulla V. Hjuler, *GeologiskNyt*

Jordens yderste 100 km er dækket af kontinental- og oceanbundsplader, der bevæger sig i forhold til hinanden. Pladerne kan bevæge sig væk fra hinanden, passere forbi hinanden eller støde sammen. Ved Sumatra var konsekvensen af to pladers langvarige "sammenstød" og stressopbygning et meget voldsomt jordskælv efterfulgt af flere store efter-skælv, der opstod i subduktionszonen ved Sunda-graven i Det Indiske Ocean.

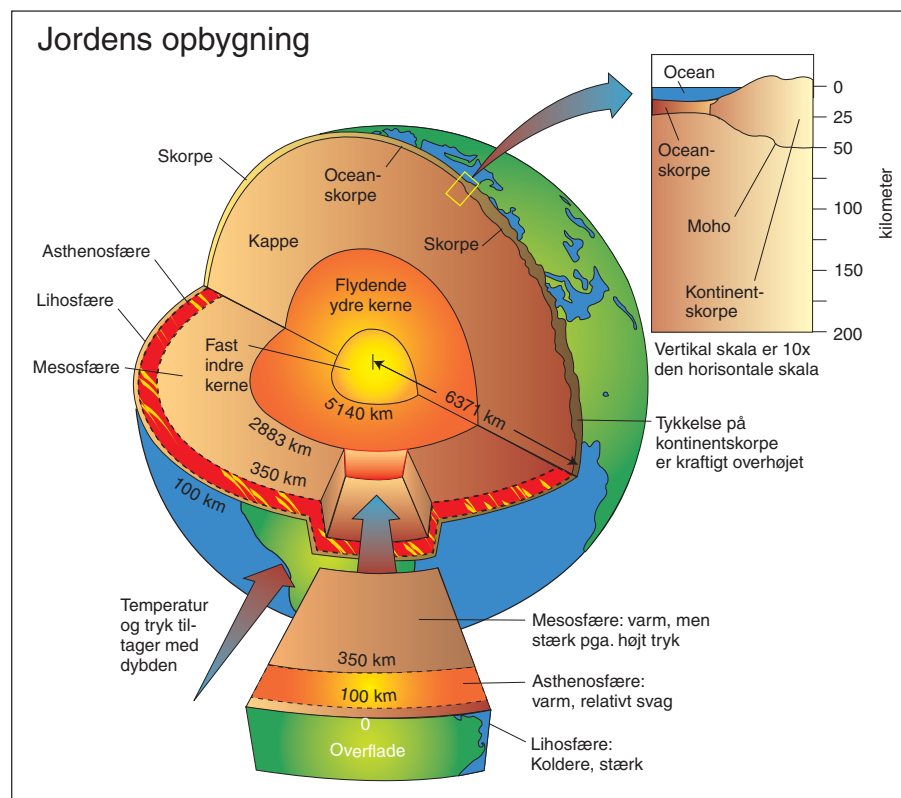
Sumatra-jordskælvet er en direkte konsekvens af pladeteknikken. Teorien om pladetektonik blev fremsat så sent som i 1960'erne. Overordnet set går teorien ud på, at oceanbundsplader og kontinentalplader som følge af konvektion i kappen er i stadig bevægelse. Langs pladernes kanter kan der opbygges store spændinger, der udløses som jordskælv, hvilket d. 26. december jo er et frygtindgydende eksempel på. Lad os derfor i det følgende kigge på jordens opbygning og på de processer, der fører til katastrofer som den, der fandt sted i Det Indiske Ocean.

Jordens opbygning

Jorden er opbygget som et løg. Inderst findes den faste kerne. Den er omgivet af den flydende kerne, som primært består af jern. Kernen omgives af den faste kappe, som har en lavere massefylde end kernen. Kappen er rig på grundstofferne ilt, silicium, magnesium og jern. Den inddeles i 3 lag, nederst mesosfæren, derefter astenosfæren, og øverst lithosfæren. Denne 3-delning afspejler en variation i kappens elastiske egenskaber, som igen afspejler temperaturfordelingen i kappen. Det midterste lag, astenosfæren, som strækker sig fra ca. 350 km til mellem 100 og 200 km under Jordens overflade, er relativt svagt, idet temperaturen her er tæt på smeltepunktet.

Mesosfæren og lithosfæren er stærke og elastisk stive lag, men på trods heraf er alle 3 lag i kappen i konstant, meget langsomt krybende bevægelse, lidt ligesom glas, som jo er en væske, der blot flyder meget langsomt.

Den yderste skal er løbet og skorpen, som også er fast og udgør den øverste del af lithosfæren. Skorpen har den laveste masse-



Jordens opbygning i lag. Tykkelsen på de forskellige lag er angivet. (Grafik: Forfatteren modificeret efter Skinner & Porter)

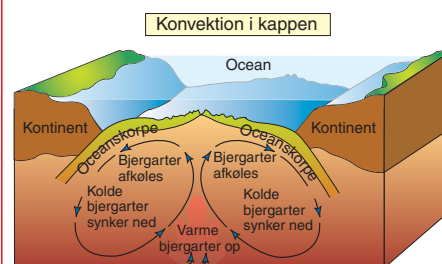
fylde og består fortrinsvis af ilt, silicium, aluminium, calcium, natrium, kalium og jern. Skorpen findes i 2 former, dels som ocean-skorpe, som er 5 til 8 km tyk og næsten helt består af vulkanske bjergarter, dels som kontinent-skorpe, der varierer i tykkelse fra 25 til 70 km og består af en stor variation af bjergarter (granit, gnejs m.m.)

Konvektion i kappen

Jordens indre bevæger sig hele tiden – hvilket vi kan mærke, når der sker et jordskælv. Konvektion (flytning af varme vha. strømninger) i kappen sørger for, at varmt og relativt let materiale bevæger sig opad og erstattes af koldt og tungere materiale, der bevæger sig nedad i cirkulerende bevægelser (figuren til højre). Jordens kerne er mindst 5.000 °C varm, og denne varme, der skyldes radioaktive henfald, afgives til det overliggende lag, kappen. Varme bjergarter stiger således op fra Jordens indre, og bjergarter afkøles i den øvre del af kappen og synker, hvorved konvektionen opstår. Der dannes således flere konvektionsceller i kappen, og lithosfærepladernes bevægelse er en direkte afspejling af konvektionen.

Pladetektonik – pladernes bevægelse

Pladetektonik er studiet af pladernes bevægelse og deformation. Lithosfæren udgøres af forskellige plader (figuren næste side øverst til venstre), der har varierende størrelse – nogle er uhyre store som fx Stillehavspladen og den afrikanske plade, andre er "små" som Burma- og Sunda-pladerne. Konvektionen bevirker, at pladerne bevæger sig med forskellige hastigheder – nogle med hastigheder på op til 12 cm/år – og de bevæger sig ikke i samme retning. Hvis to plader bevæger sig væk fra hinanden, som det er illustreret på figuren, er der tale om diver-



Konvektion i kappen er årsag til lithosfærepladernes bevægelse. (Grafik: Forfatteren modificeret efter Skinner & Porter)



Fordelingen af Jordens plader og de forskellige typer pladegrænser. Burma- og Sunda-pladerne er markeret. (Grafik: Forfatteren)

gente eller konstruktive pladegrænser. To plader kan også bevæge sig forbi hinanden, hvilket giver transforme pladegrænser. Bevæger nogle af pladerne sig mod hinanden kaldes pladegrænserne konvergente eller destruktive. Denne proces medfører enten, at den ene plade bevæger sig ned under den anden, altså en subduktionszone (som ved Sumatra), eller at de to plader kolliderer – dvs. en kollisionszone.

Konstruktive pladegrænser

Konstruktive pladegrænser findes, hvor to plader bevæger sig væk fra hinanden – her ved stiger magma op fra kappen og danner ny oceanskorpe. Den nok mest kendte spredningszone er Den Midtatlantiske Ryg, der løber i nord-sydgående retning gennem Atlanterhavet og midt igennem Island. Spredningshastigheden er gennemsnitligt på 2,5 cm/år, hvilket kan synes langsomt, men det giver en spredning på 25 km på 1 mio. år!

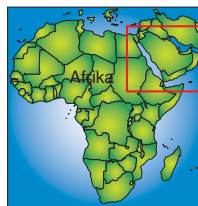
Halvdelen af Island er en del af den nordamerikanske plade, der bevæger sig i vestlig retning, og den anden halvdel er en del af den euroasiatiske plade, der bevæger sig i østlig retning. Pladebevægelserne medfører kraftig vulkanisme bl.a. fra vulkanerne Krafla og Grímsvötn. Således bliver Island større og større, da øen ikke deles op i to, men vokser, ved at der fyldes op med lava i spredningszonen.

Et andet eksempel på en aktiv spredningszone ser vi i Østafrika (den afrikanske plade), hvor Saudi-Arabien (den arabiske plade) "trækkes" væk fra det afrikanske kontinent, hvorved Det Røde Hav er dannet. En interessant detalje er i øvrigt hér skabelsen af en såkaldt triple junction, hvor Det

Røde Hav møder Adenbugten, der ligger i forlængelse af Den Afrikanske Riftzone. En triple junction er et punkt, hvor tre plader mødes; hér den somaliske del af den afrikanske plade, den nubiske del af den afrikanske plade samt den arabiske plade.

Transforme pladegrænser

Ved disse zoner passerer to plader forbi hinanden, og da pladerne ikke er "glatte" på siderne, opstår der forkastninger og i den forbindelse ofte jordskælv. En del transforme forkastninger findes på havbunden, men en ganske kendt forkastning ligger som bekendt på land, nemlig San Andreas-forkastningen i Californien – den fortsætter dog ud i Stillehavet. Forkastningen, der er ca. 1.300 km lang, løber ca. nord-syd og adskiller den nordamerikanske plade i øst, hvor San Francisco ligger, fra Stillehavspladen i vest, hvor Los Angeles ligger. Stillehavspladen bevæger sig mod nord, mens den nordamerikan-



En triple junction betegner et punkt, hvor tre plader mødes. Her den afrikanske (nubiske) plade, den arabiske plade og den somaliske del af den afrikanske plade. Den arabiske plade og den nubiske plade bevæger sig væk fra hinanden, hvilket medfører vulkanisme (Grafik: Forfatteren modificeret efter figur på <http://pubs.usgs.gov>)

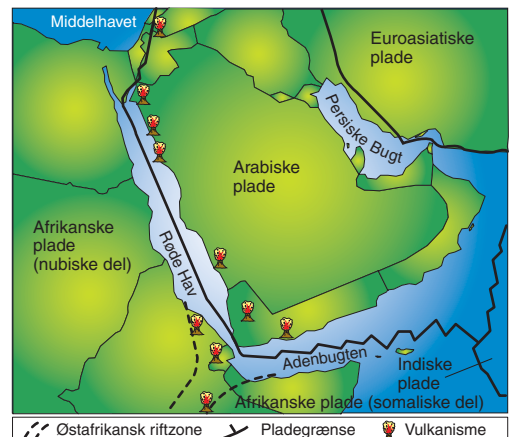


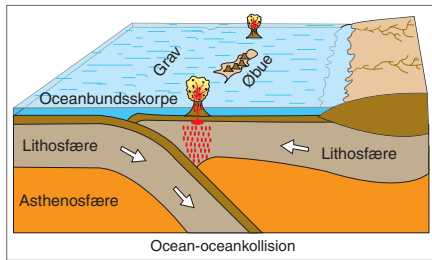
Den Midtatlantiske Ryg løber midt igennem Island – da den nordamerikanske plade bevæger sig væk fra den euroasiatiske plade, opstår der kraftig vulkanisme i spredningszonen. (Grafik: Forfatteren)

ske plade bevæger sig i sydlig retning, og dette giver ophav til en del jordskælvsaktivitet i området. Bevægelsehastigheden er ca. 6 cm/år, dvs. om 10-15 mio. år ligger Los Angeles ved siden af San Francisco. Det største historiske jordskælv fandt sted i 1906 og havde en styrke på 8,3 på Richterskalaen. Omkring 700 mennesker omkom. I 1940 forekom et skælv på 7,1 langs en på daværende tidspunkt ukendt forkastning ved Imperial Valley. Faktisk har der vist sig at være en hel del større og mindre forkastninger langs med San Andreas-forkastningen både parallelt med hovedforkastningen og vinkelret på den (figuren nederst næste side).

Destruktive grænser – subduktion

Der findes tre typer subduktionszoner: ocean-kontinentkollision, kontinent-kontinentkollision og ocean-oceankollision. *Ocean-kontinentkollision:* På kortet over plader kan man se, at den oceaniske Nazca-plade bevæger ind i den kontinentale del af den sydamerikanske plade ved Peru-Chile-graven. Da Nazca-pladen består af oceanskorpe, der er tyndere end den kontinentale sydamerikanske plade, subduceres den derfor ned i asthenosfæren. Den overliggende plade løftes op, og herved er de imponerende Andes-bjerge dannet. Pga. den hastighed, hvormed bjergkædedannelsen sker, er



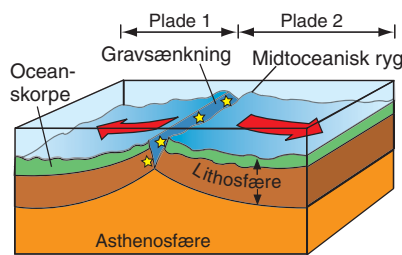


Ocean-oceankollision. Ved subduktionen dannes en grav og ofte en øbue. (Grafik: Forfatteren modificeret efter figur fra www.usgs.gov)

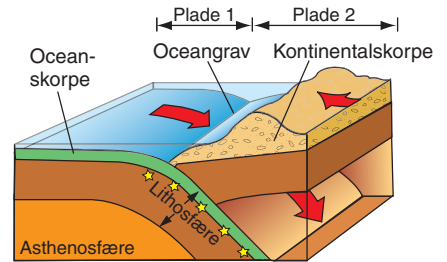
området udsat for kraftige jordskælv. Selvom Nazca-pladen bevæger sig relativt jævnt og kontinuert nedad, brækker den subducerede plade op i mindre stykker, der kan sætte sig fast i længere tid for så pludselig at frigives og forårsage voldsomme jordskælv. Således rystede et jordskælv på 8,3 La Paz i Bolivia i 1994. Det var et såkaldt dybt jordskælv i 636 kilometers dybde, og netop pga. dybden var skaden ikke så stor. **Kontinent-kontinentkollision:** Når to kontinenter støder sammen, vil de bukkes, foldes og skubbes opad og til siden. Da Indien for ca. 50 mio. år siden kolliderede med Asien, medførte det, at den euroasiatiske plades skorpe blev "krøllet sammen" og presset op over den indiske plades skorpe. Efter millioner af år med et langsomt, men vedvarende tryk er Himalaya-bjergene presset op i deres nuværende højde på knap 9 km. Undervejs blev Thetys-havet, som lå syd for Asien og nord for Indien, lukket som følge af Indiens aggressive fremmarch med en hastighed på 15 cm/år og med voldsom vulkansk aktivitet i det sydlige Tibet til følge ved subduktionen af oceanskorpen.

I de mere "hjemlige" egne har vi dannel-

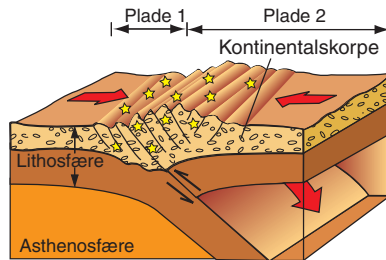
Konstruktive pladegrænser



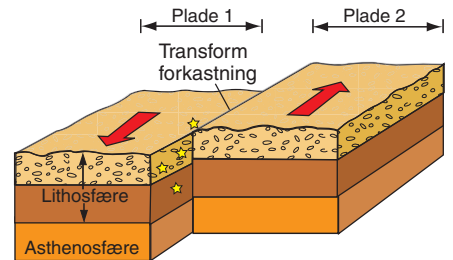
Destruktive pladegrænser (Ocean-kontinentkollision)



Destruktive pladegrænser (Kontinent-kontinentkollision)



Transform forkastning

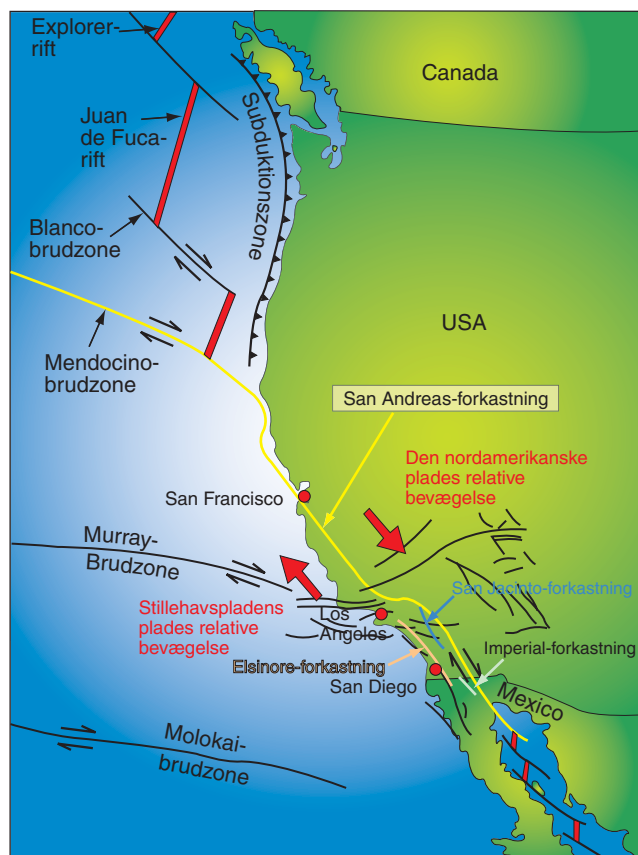


Forskellige typer pladegrænser. Stjerner markerer mulige jordskælvzoner. (Grafik: Forfatteren modificeret efter Skinner & Porter)

sen af de centrale alper under den alpine orogenese (dvs. bjergkædedannelsen) (begyndende for ca. 100 mio. år siden), hvor den euroasiatiske plade kolliderede med den afrikanske plade.

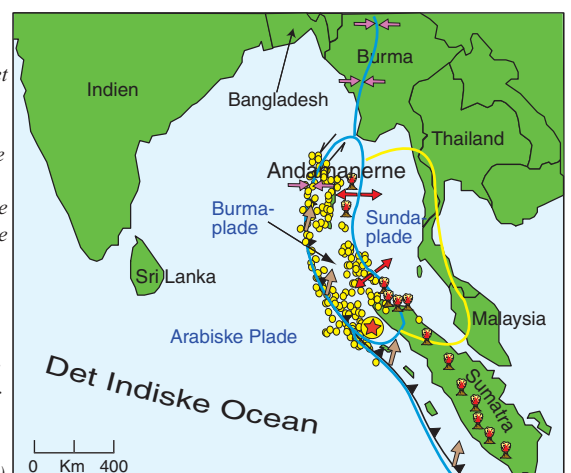
Ocean-oceankollision: Som regel subduceres den ene plade ned under den anden, og ved denne proces kan der dannes en grav (trench) som fx Marianergraven, der er omkring 11 km dyb. Det er Stillehavspladen, som er blevet relativt stor, kold og ustabil,

som synker ned under den filippinske plade. Herved kan der også opstå submarin vulkansk aktivitet, som efter lang tid resulterer i en vulkansk øbue. Opsmeltning af den subducerede plade og/eller den overliggende oceanskorpe danner øbuen, og den mængde stress, der opstår i forbindelse med subduktionen, er årsag til middelstærke til voldsomme jordskælv. Det er også denne proces, der var årsagen til jordskælvet i Det Indiske Ocean.



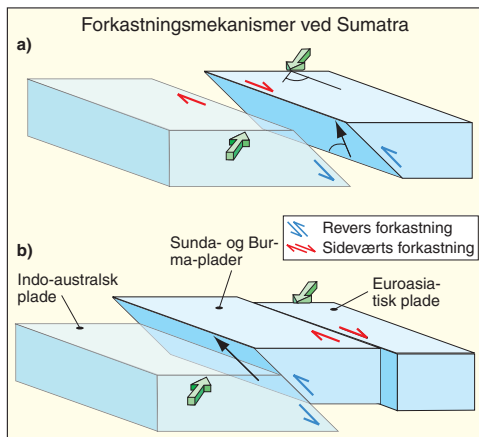
Kortet viser San Andreas-forkastningen og 3 andre store forkastninger: Imperial-forkastningen (lysegrøn), Elsinore-forkastningen (orange) og San Jacinto-forkastningen (blå). Desuden er et større antal mindre forkastninger indtegnet med sort. (Grafik: Forfatteren)

Efterskælv (gule cirkler) i dagene efter hovedskælvet (vist med stjerne). Pladernes placering og bevægelse er markeret med lilla, røde og sorte pile. De brune pile viser pladens bevægelse (ca. 60 mm/år) ved Sunda-graven. Vulkansk aktivitet er også vist. (Grafik: Forfatteren modificeret efter figur fra www.usgs.gov)



Jordskælvet ved Sumatra

På 2. juledag i 2004 opstod et kraftigt jordskælv på 9,3 på Richter-skalaen langs en subduktionszone, der løber vest for Sumatra. Den indo-australske plade subduceres ned under Sunda-pladen og Burma-mikropladen mod øst – begge tykkere plader. Burma-pladen, hvorpå Andamanerne og Nicobarerne ligger, anses for at være en del af den store euroasiatiske plade (figuren nedenfor).



Forkastningsmodeller for pladerne i Det Indiske Ocean. Forklaring findes i teksten. (Grafik: Forfatteren)

Den subducerede indo-australske plade bevæger sig skævt – dvs. med en vinkel – i forhold til de to "overridende" Sunda- og Burma-plader. Som det ses på (a) (figuren ovenfor), kan bevægelsen ske ved en skæv forkastning, som består af to komponenter – dels en revers komponent (markeret med de tynde blå pile) og dels en sideværts (strike-slip) forkastning (forskydning af den overridende plade – her mod højre) markeret med de tynde røde pile. De tykke, grønne pile markerer den skrå komponent. I (b) finder der kun en revers forkastning sted kombineret med en sideværts forkastning (som ved San Andreas) mellem de to bageste plader. Man mener, at den dominerende proces overvejende er som illustreret i den

nederste figur – dvs. en opdeling af forskydningen i to komponenter – en revers forkastning kombineret med en sideværts forkastning. Det to processer er tidsmæssigt og geografisk adskilt, dvs. overskydningen finder ikke nødvendigvis sted samtidig med forkastningen sideværts.

Som beskrevet under Ocean-ocean-kollision udgør Sumatra, Andamanerne og Nicobarerne en øbue beliggende ved Sunda-graven. Øbuen strækker sig fra Burma til Java. Der var dog ikke vulkanisme relateret til jordskælv, selvom der ligger kendte vulkaner i øbuen fx Krakatau og Tambora., der har givet ophav til nogen af de bedst kendte og voldsomme vulkanudbrud i verden.

Aktivt område

Der er blevet opbygget mange spændinger i forkastningszonen gennem ca. 200 år – primært i selve subduktionszonen og endvidere i hele området som følge af, at flere plader mødes. Da mængden af den opbyggede stress blev kritisk, resulterede det i et jordskælv og talrige efterskælv heraf adskillige på over 7,0 på Richter-skalaen. Pga. den meget aktive pladebevægelse i området vil der altid forekomme jordskælv og vulkansk aktivitet, og det er derfor overordentligt sandsynligt, at der atter vil forekomme voldsomme jordskælv omkring Sumatra.

Litteratur:

Poster fra <http://neic.usgs.gov>
 Skinner, B.J. & Porter, S.C., 1999: *The Dynamic Earth*

Sumatra-jordskælv et tre gange kraftigere en hidtil antaget

Jordskælv d. 26.12.2004 viser sig nu at være tre gange kraftigere end først antaget.

Det første bud på styrken af jordskælv den 26. december ud for Sumatra var 8,9 på den åbne Richterskala. Et tal der efter få timer blev forhøjet til 9,0.

Nu har geologer ved Northwestern University regnet sig frem til, at skælv faktisk var 9,3 Richter. Altså er tre gang større, end tidligere antaget.

Det er faktisk – de tragiske omstændigheder til trods – en glædelig nyhed. Et 9,3 Richter skælv forekommer nemlig rent statistisk noget sjældnere end et 9,0 Richter. Det betyder så igen, at risikoen for gentagelsen af den voldsomme 2. juledag tsunami i vores tid også er reduceret.

Det kraftigste jordskælv, der instrumentelt er registreret var på 9,5 Richter og rystede Chile den 22. maj 1960.

Rambøll søger medarbejder til jord- og grundvandsområdet i Herning---

Du skal fungere som projektleder på en masse spændende opgaver inden for jord- og grundvandsområdet i Herning, bl.a. jordhåndtering/genanvendelse af lettere forurenede jord, kortlægning af jordforurening.

Se mere på www.ramboll.dk

RAMBOLL

NYHED!

Geografisk set

Det sydlige Jylland

En beskrivelse af områder af national geologisk interesse

English country
 Deutsche Zusammenfassung

Miljøministeriet • Skov- og Naturstyrelsen

Geologisk set

Det sydlige Jylland

Forfattere: Peter Gravesen, Peter Roll Jakobsen, Merete Binderup og Erik Skovbjerg Rasmussen, alle Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse.

Nu er også lokaliteterne af national geologisk interesse i det sydlige Jylland beskrevet. Bogen indeholder en – ny – sammenstilling af den miocæne udvikling i Syd- og Midtjylland.

Et godt udgangspunkt for at opleve, studere, forstå og formidle de geologiske processer og naturområder.

188 sider, fuldt farveillustreret. Pris 216 kr. eksklusiv moms og forsendelse.

Tidligere titler i serien kan alle stadig leveres:

Fyn og øerne - Kr. 180

Bornholm - Kr. 180

Det mellemste Jylland - Kr. 220

Det nordlige Jylland - Kr. 180

Alle priser er ex moms

Bestil og få vejledning: 6344 1683
 Webbutik: www.geografforlaget.dk
 Mail: go@geografforlaget.dk

