

# Ph.d.-dag ved Geocenter København



Den årlige ph.d.-dag ved Geocenter København afholdtes den 29. april 2005 i Geologisk Museums auditorium. Ved denne lejlighed præsenterede ph.d. studerende fra Geologisk Institut og Geologisk Museum deres forskningsprojekter og -resultater. Nogle af projekterne var lige startet, andre var midtvejs, og adskillige var nær deres afslutning. Ikke alle igangværende ph.d. projekter kunne præsenteres på grund af kongresdeltagelse, studieophold eller feltarbejde. I alt blev der afholdt 16 foredrag, og resuméer af foredragene er bragt nedenfor. Foredragene tiltrak 50–60 tilhørere og mødet afsluttedes med en middag i Geocentrets kantine. Arrangementet var arrangeret af ph.d. udvalget ved Geologisk Institut og Geologisk Museum og Betina Olsen, Pelle Gulbrandsen, Maria Liljeroth og især Marie Drejer-Nielsen, takkes for stor hjælp med planlægning og gennemførelse af dagen.

*Finn Surlyk, Geologisk Institut, Københavns Universitet*

## Fodspor fra fortiden: foreløbige resultater fra undersøgelsen af en ny æolisk aflejring med fossile dyrefodspor fra Rhodos, Grækenland

JESPER MILÀN

Ved undersøgelsen af fossile dyresamfund er data fra fossile fodspor en vigtig kilde til ekstra information. Dette skyldes, at bevaring af skeletmateriale og fodspor er resultatet af to vidt forskellige tafonomiske processer, der gør, at fodspor tit kan bevares under forhold, hvor knoglemateriale ville være forsvundet. Desuden sætter et dyr millioner af fodspor gennem sin levetid, mens det kun efterlader sig ét skelet. En nyopdaget blotning af æoliske sedimenter langs et vejprofil på den sydlige ende af Rhodos indeholder talrige fossile dyrespor. Aflejringen er endnu ikke dateret med sikkerhed, men den formodes at være fra Pliocæn eller Pleistocæn. I alt er der fundet 79 fodspor langs vejblotningen og i et lille stenbrud på den anden side af vejen. Fodsporene måler fra 4 til 37 cm i længden og synes at gruppere sig i fire størrelser: en gruppe på 4–8 cm længde, en gruppe på 15–20 cm længde, en gruppe på 25–28 cm længde samt en gruppe meget store fodspor med en diameter på 32–37 cm.

Størstedelen af fodsporene er blottet i tværsnit. Dette gør det svært at studere omridset og formen af sporene, hvilket er nødvendigt for at kunne identificere sporsætterne. De største af sporene formodes, på grund af deres størrelse, at være sat af elefanter. Et spor, der blev fundet på en blottet lagflade, er imidlertid identificerbart. Sporet er 16 cm langt, næsten cirkulært i omrids og består af to tykke, halvmåneformede aftryk, og kan ved sammenligning med spor fra nulevende dyr umiddelbart identificeres som sporet fra en kamel. Der er ikke fundet knogler i den æoliske aflejring, så fodsporene er de eneste vidnesbyrd om den diverse hvirveldyrfauna, der levede i området på den tid.

*Jesper Milàn, Geologisk Institut, Københavns Universitet, Øster Voldgade 10, 1350-København K, e-post: milan@geol.ku.dk*

# Ammonitslægten *Delphinites* i Nordøst-grønland og dens stratigrafiske og biogeografiske betydning (Valanginien, Tidlig Kridt)

PETER ALSEN

To nye arter af *Delphinites* er registreret blandt en rig Valanginien ammonitfauna i Nordøst-grønland. Begge er meget karakteristiske og afviger fra den øvrige fauna, som domineres af polyptychitide ammonitter. Den ene *Delphinites*-art kendes kun fra to fragmenter, mens den anden forekommer talrigt og er truffet på fire af seks undersøgte lokaliteter på Traill Ø og på Wollaston Forland.

Sammenligninger af suturlinjer hos grønlandske, russiske og franske *Delphinites* viser, at der er et overordnet fælles slægtskabforhold, som støtter, at *Delphinites* er et seniorsynonym for *Pseudogarnieria* (Thieuloy 1977). Samtidig kan så store forskelle i suturlinjer mellem franske arter og de grønlandske og russiske arter erkendes, at *Pseudogarnieria* opretholdes som underslægt af *Delphinites*.

Oprindelsen af underfamilien Platylenticeratinae (med *Platylenticeras*, *Delphinites* og *Paquiericeras*) har længe været debatteret. Hovedudbredelsesområdet for Platylenticeratinae er nordvest-Europa, Grønland og Den Russiske Platform. Dette antyder en boreal oprindelse for Polyptychitidae, som dominerede i Tidlig Kridt i det boreale område. Det grønlandske materiale antyder imidlertid en Tethys-oprindelse, da en nukleus med grove, sinuøse *Thurmanniceras*-lignende ribber støtter, at *Delphinites* forfædre skal findes inden for familien Neocomitidae.

*Delphinites* (*Pseudogarnieria*) er den nederste ammonit fundet i opmålte lagserier på Wollaston Forland. Dette stemmer overens med tidligste Valanginien ældre af *D.* (*Pseudogarnieria*) på Den Russiske Platform og i England, af *D.* (*Delphinites*) i det sydøstlige Frankrig og af den tæt-beslægtede *Platylenticeras* i det nordlige Tyskland. *Delphinites* (*Pseudogarnieria*) er hyppige og letgenkendelige ledefossiler for den nederste Valanginien ammonitzone (*D.* (*P.*) *undulatoplicatilis* Zonen) i Nordøstgrønland. Zonen er defineret fra Den Russiske Platform og kan korreleres til Nordvesteuropa og til standard ammonitzonationen fra det vestlige Tethys (Alsen & Rawson i trykken).

## Referencer

- Alsen, P. & Rawson, P.F. i trykken: The Early Valanginian (Early Cretaceous) ammonite *Delphinites* (*Pseudogarnieria*) from North-East Greenland. Bulletin of the Geological Society of Denmark.
- Thieuloy, J.-P. 1977: Les ammonites boréales des formations Néocomiennes du Sud-est Français (Province Subméditerranéenne). Geobios 10, 395–461.
- Peter Alsen, Geologisk Institut, Københavns Universitet, Øster Voldgade 10, 1350 København K, e-post: [petera@geol.ku.dk](mailto:petera@geol.ku.dk)

# Centralvulkanske komplekser i Færø-Shetland kanalen

UNI EGHOLM ÁRTING

Ph.d.-projektet omfatter en detaljeret petrografisk og geokemisk beskrivelse der skal føre til en revideret tolkning af de centralvulkanske komplekser i Færø-Shetland Kanalen. Studiet har særlig fokus på Erlend og Brendan domerne og deres petrogenetiske ligheder og forskelle med lignende vulkanske komplekser i Rockall Truget og Hatton Banken. Der vil blive foretaget en sammenligning med den tidlige magmatiske aktivitet i Den Nordatlantiske Magmatiske Provins og de geokemiske signaler der er sat i forbindelse med ankomsten af den 'islandske hotspot' vil blive vurderet.

Den geologiske forståelse af disse centralvulkanske komplekser i Færø-Shetland Kanalen og Rockall Truget er endnu langt fra opnået og de bliver derfor stadig debatteret med stor ihærdighed.

Tidligere studier af disse vulkaner har vist, at Erlend Igneous Complex hovedsageligt består af dacitiske-rhyolitiske intrusiver overlejret af basaltiske lavaer og sedimentære enheder (fx Chalmers & Western 1979; Ridd 1983; Gatliff *et al.* 1984; Mitchell & Euwe 1988; Hitchen & Ritchie 1996; Kanaris-Sotiriou *et al.* 1993 og Jolley & Bell 2002). De bilobalt udbredte lavaer menes at være samtidige med den nedre basalt serie på Færøerne (56,6–55 Ma; Jolley & Bell 2002), men de er dannet i en anden tektonisk ramme og i et anderledes magmatisk miljø.

Erlend Igneous Complex består af to delvist eroderede vulkaner (West og East Erlend); beregninger ud fra gravimetriske data antyder at de er underlejret af hvert sit mafiske pluton (Chalmers & Western 1979; Gatliff *et al.* 1984). Lavaerne er delt i to grupper baseret på seismiske profiler. Den tidlige lavaserie ses kun i området omkring vulkanåbningerne, mens den efterfølgende serie udgør størstedelen af vulkanerne.

Der er kun ganske få geokemiske data publiceret fra Erlend Igneous Complex. Prøver fra tre borer, henholdsvis 209/3-1, 209/4-1A og 209/9-1 på Erlend vulkanen er beskrevet som kvarts- til olivin-tholeiitiske basalter, hvor størstedelen af lavaerne viser en del omdannelse. Geokemiske analyser fra 209/3-1 er beskrevet af Kanaris-Sotiriou *et al.* (1993) som N og T-MORB basalter.

Prøvegrundlaget for projektets første analysefase er de eksisterende borer på Erlend og en ny boring på Brendan's Dome (219/21-1) gennemført af Shell i 2003. Med nye højopløselige geokemiske analyser af borespåner og kerneprøver fra disse borer vil man få ny og forbedret indsigt i områdets komplekse geologi.

## Referencer

- Chalmers, J.A. & Western, P.G. 1979: A Tertiary igneous centre north of the Shetland Islands. *Scottish Journal of Geology* 15, 333–341.
- Gatliff, R.W., Hitchen, J.D., Ritchie, J.D. & Smythe, D.K. 1984: Internal structure of the Erlend Tertiary volcanic complex, north of Shetland, revealed by seismic reflection. *Journal of the Geological Society (London)* 141, 555–562.
- Jolley, D.W. & Bell, B.R. 2002: Genesis and age of the Erlend volcano. *Geological Society Special Publications* 197, 95–110.
- Kanaris-Sotiriou, R., Morton, A.C. & Taylor, P.N. 1993: Paleogene peralminous magmatism, crustal melting and continental break-up: the Erlend complex, Faroe-Shetland Basin, NE Atlantic. *Journal of the Geological Society (London)* 150, 903–914.
- Mitchell, J.G. & Euwe, M.G. 1988: A model of single-stage concomitant potassium-argon exchange in acidic lavas from the Erlend volcanic complex, north Shetland Islands. *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)* 72, 95–109.
- Ridd, M.F. 1983: Aspects of the Tertiary geology of the Faroe-Shetland Channel. I: Bott, M.H.P., Talwani, M. & Thiede, J. (red.): *Structure and development of the Greenland-Scotland Ridge – New methods and concepts*, 133–158. New York: Plenum Press.
- Ritchie, J.D. & Hitchen, K. 1996: Early Paleogene offshore igneous activity to the northwest of the UK and its relationship to the North Atlantic Igneous Province. *Geological Society Special Publications* 101, 63–78.

*Jarðfrøðisavnið, Brekkutún 1, FO-10, Tórshavn,  
e-post: uni.arting@jfs.fo  
og Københavns Universitet, Geologisk Institut,  
Øster Voldgade 10, 1350 København K.*

# Bentisk palæoøkologi i cyklisk Maastrichtien skrivekridt fra Danmark

BODIL WESENBERG LAURIDSEN

Aflejringerne fra Sen Kridt i nordvest Europa (palæobreddegrad 35° til 50°N) var domineret af kalkslam, der blev aflejret over en periode på mindst 35 millioner år. Nogle af kalkaflejringerne er udviklet som mergel-kalkstens cykler og er formodentlig relateret til variationer i 20.000 års præcessions-cyklen.

En divers og højt specialiseret bentisk epi- og in-fauna udvikledes i kridthavet og nåede et klimaks i diversitet og densitet i Maastrichtien. Den bentiske fauna i den cykliske Maastrichtien kalk i det Danske Bassin er meget divers og domineret af bryozøer som udgør det primære faunaelement med mere end 500 arter. Andre faunaelementer er brachiopoder, muslinger, kalkrørsorme, kalk- og kiselsvampe og echinodermer, der tilsammen repræsenterer omkring 100 forskellige arter. Faunaen karakteriserer et samfund, der er domineret af moderat udbredte facies-afhængige arter med en specialiseret morfologi med lille variation. Faunaen viser stor tilpasning til det bløde kalkslam og er domineret af suspensionsædere og i mindre grad af detritusædere og græssere.

Faunaen i den cykliske kalk fra Maastrichtien viser ingen markante forskelle i densitet, diversitet og levevis mellem mergellag og kalklag. Forskellen i substratets karakter var øjensynlig for lille til at have nogen større indflydelse på faunaens fordeling. En-

kelte mindre forskelle ses dog i variationer i dominerende bryozøer og i 'guilds' (defineret som en gruppe af organismer der ikke nødvendigvis er beslægtede, men som har ens morfologi og som udnytter de samme miljømæssige ressourcer på samme måde). Orbitalt relateret cyklicitet og de deraf følgende klimatiske og litologiske forandringer havde således kun mindre indflydelse på fordelingen af den bentiske fauna. Fire samfund er identificeret på grundlag af de beskrevne økologiske variationer og en mulig 100.000 års cyklicitet (forårsaget af jordbanens excentricitet) er erkendt.

Sen Campanien – Maastrichtien er karakteriseret ved en stigning i bentisk densitet og diversitet, hvor alle potentielle nicher ser ud til at have været udfyldt. Den lange periode af relativ langsom udvikling i den bentiske økologi fra Cenomanien til tidlig Campanien blev således efterfulgt af en næsten eksplosiv evolution inden der indtraf masseuddøen på K/T grænsen. Dette står i modsætning til den ofte fremsatte hypotese om en gradvis uddøen i den marine fauna startende allerede i tidlig Maastrichtien.

*Bodil Wesenberg Lauridsen, Geologisk Institut,  
Københavns Universitet, Øster Voldgade 10,  
1350-København K, Danmark, e-post: bodill@geol.ku.dk*

# Strukturelle studier af grøn rust

BO C. CHRISTIANSEN

Grøn rust er en gruppe af forbindelser, der består af brucit-lignende lag af ferro-ferri jernhydroxyd med anioner og vand som mellemlag. Det kan dannes ved oxidation af en ferro-opløsning i neutralt til let basisk medium. Da grøn rust indeholder ferro-jern, er det over en årrække blevet undersøgt, hvorledes det kan indvirke på redox-følsomme elementer som fx Cr(VI), U(IV), Se(VI) og klorerede opløsningsmidler såsom trichloroethen (TCE). Inden for de sidste 10 år er der således kommet et stærkt øget fokus på mulighederne for at benytte grøn rust i forbindelse med forureningsbekæmpelse. Set i et geologisk tidsperspektiv er det sandsynligt, at grøn rust har haft en betydende rolle i dannelsen af bandede jernformationer (BIFs) (Arrhenius 2003), ligesom det også kan have virket som en slags katalysator for dannelsen af forstadiet til RNA (Arrhenius *et al.* 1989; Kolb *et al.* 1997).

Formålet med projektet er at beskrive den strukturelle og kemiske opbygning af nogle af de mulige former for grøn rust, især den sulfatholdige grønne rust ( $\text{GR}_{\text{SO}_4}$ ), som har fået den kemiske formel  $\text{Fe}^{2+}_4\text{Fe}^{3+}_2(\text{OH})_{12}\text{SO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (Simon *et al.* 2003). Ved hjælp af kapillærrørs-røntgendiffraktometri er en række ekstra detaljer blevet fundet, der ikke tidligere er beskrevet i litteraturen for den sulfatholdige grønne rust. GR tilhører den store gruppe af dobbeltlagshydroxider (LDH; Rives 2001). Et andet medlem af LDH er mineralgruppen shigaite, som indeholder mineralet nikischerite ( $\text{NaFe}^{2+}_6\text{Al}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_{18}(\text{H}_2\text{O})_{12}$ ; (Humi-

nicki & Hawthorne, 2003), der i kemisk sammensætning minder om grøn rust sulfat.

Som en del af projektet er det blevet undersøgt om  $\text{GR}_{\text{SO}_4}$  også inkorporerer monovalente kationer. Ved at lade  $\text{GR}_{\text{SO}_4}$  udfælde sammen med andre kationer end  $\text{Na}^+$ , er det fundet at der er markante forskelle i diffraktionsmønstrene. Dette kan kun forklares ved en forskel i krystalstrukturen, som må være foranlediget af den monovalente kation der er inkorporeret i mineralet (Fig. 1).

I forbindelse med deponering af radioaktivt affald i Sverige er det planen, at man vil indkapsle affaldet i containere, der også vil indeholde jern. Containerne vil blive begravet i ca. 500 m dybde, og det forventes derfor, at der er reducerende forhold omkring containeren. Hvis iltrigt vand trænger derned kan der ske en lækage af disse containere. Da grøn rust ofte findes i forbindelse med korroderede stål-konstruktioner, er det også forventeligt, at der vil kunne dannes grøn rust på containerne og i omgivelserne. Det er derfor vigtigt at fastlægge de termodynamiske egenskaber og strukturelle forhold for de mest oplagte typer af grøn rust. Det er ligeledes vigtigt at belyse mulighederne for inkorporering af monovalente kationer og undersøge hvordan omdannelsen af de forskellige typer grøn rust forløber. En sådan omdannelse vil kunne have betydning for, hvordan et eventuelt udslip af radioaktivt materiale kan blive immobiliseret eller mobiliseret.

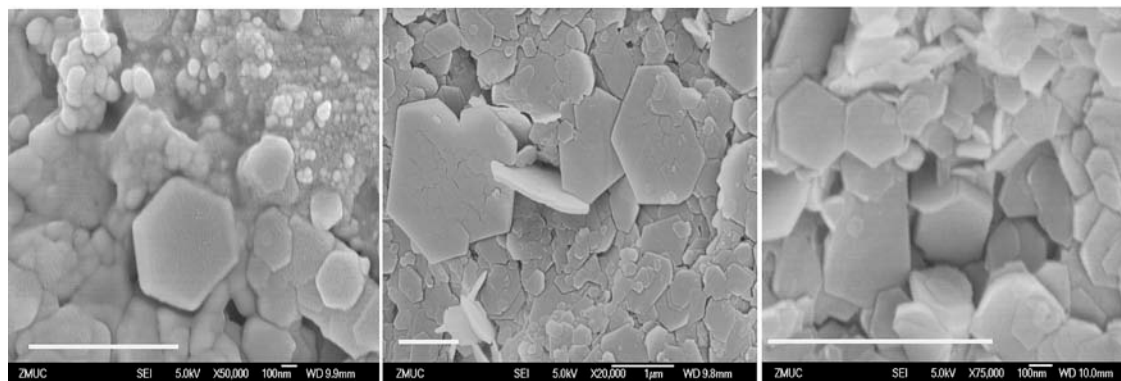


Fig. 1. Fra venstre mod højre ses skanning elektron mikroskopi billeder af sulfatholdig grøn rust udfældet i en opløsning med henholdsvis  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$  og  $\text{K}^+$ . Skalaen er 1  $\mu\text{m}$ .

Bo C. Christiansen, NanoGeoScience, Geologisk Institut,  
Øster Voldgade 10, 1350 Kbh. K. e-post bochr@geol.ku.dk

## Referencer

- Arrhenius, G.O. 2003: Crystals and life. *Helvetica Chimica Acta* 86, 1569–1586.
- Arrhenius, G.O, Bachman, J., Gedulin, B., Hui S., & Paplawsky, W. 1989: Anion selective minerals as concentrators and catalysts for RNA precursor components. *Origins of Life and Evolution of the Biosphere* 19, 235–236.
- Huminicki, D.M.C. & Hawthorne, F.C. 2003: The crystal structure of nikischerite,  $\text{Na Fe}^{2+}_6\text{Al}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_{18}(\text{H}_2\text{O})_{12}$ , a mineral of the shigaite group. *The Canadian Mineralogist* 41, 79–82.
- Kolb, V., Zhang, S., Xu, Y., & Arrhenius G.O. 1997: Mineral induced phosphorylation of glycolate ion – a metaphor in chemical evolution. *Origins of Life and Evolution of the Biosphere* 27, 485–503.
- Rives V., 2001: Layered double hydroxides: Present and future, 439 pp. New York, USA: Nova Science Publishers.
- Simon, L., François M., Refait, P., Renaudin, G., Lelaurain, M., & Génin, J-M.R. 2003: Structure of the Fe(II-III) layered double hydroxysulphate green rust two from Rietveld analysis. *Solid State Sciences* 5, 327–334.

# Holocæne klima- og miljøændringer i Danmark belyst ved højeopløselige lakustrine proxydata

MIKKEL ULFELDT HEDE

Forskning i variationer af jordens klima, og de konsekvenser ændringerne har for blandt andet befolkede kystnære områder og agerbruget, herunder ændringer i temperaturen og det relative havniveau, er af stor betydning. En lang række faktorer og processer, såsom variationer i solaktivitet, ændringer i oceanekulationen og det eustatiske havniveau, koncentrationen af drivhusgasser, samt mængden og typen af skydække, påvirker jordens klima og resulterer i ændringer af jordens globale temperatur gennem ændringer i jordens samlede energibudget.

Lakustrine sedimenter indeholder et detaljeret og betydningsfuldt klimaarkiv, idet søer er yderst følsomme overfor selv mindre klimaændringer. Det lakustrine aflejringsmiljø er karakteriseret ved høj sedimentationshastighed (ca. 1–1,5 mm/år) og dermed høj tidsopløselighed, hvilket er af afgørende betydning, når man ønsker at undersøge hurtige klimavariationer.

Ph.d.-projektet har til formål at undersøge klima- og miljøændringer gennem de sidste ca. 11.500 år i det nordatlantiske område, belyst ved skift i sedimentation og geokemi i søer. I projektet fokuseres der på

kystnære lokaliteter i Nordvestsjælland herunder Klintsø og Højby Sø. På baggrund af en detaljeret pollen- og faciesanalyse af borekerner tolkes ændringer af palæomiljøet, og ud fra en sekvensstratigrafisk analyse kan en lokal/regional søniveaukurve konstrueres. Søniveaukurven afspejler ændringer i grundvandsniveauet og det relative havniveau. Undersøgelseslokaliteterne er i kraft af deres afstand fra havet og tærskelhøjder velegnede til at dokumentere ændringer i det relative havniveau.

Ph.d.-projektet er en del af et igangværende multidisciplinært projekt ved Nanna Noe-Nygaard og andre bevilliget af Carlsbergfondet. Projektet skal blandt andet belyse, hvordan klima- og miljøændringer, der indtraf gennem Holocæn påvirkede og måske var medvirkende til de kulturelle ændringer, der ses ved overgangen fra en jæger-samler kultur til bondesamfundet.

Mikkel Ulfeldt Hede, Geologisk Institut, Københavns  
Universitet, Øster Voldgade 10, 1350 København K,  
e-post: mikkelluh@geol.ku.dk

# Numerisk modelleret sekvensstratigrafi

RASMUS FOLDAGER

Computerbaserede stratigrafiske modeller er for hovedpartens vedkommende forlænsmodeller (Cross & Lessenger 1999), der beskriver forbindelsen fra modelparametre over til dataparametre. I en sekvensstratigrafisk ramme er modelparametrene eustatisk havniveau, indsnykningsforløb og sedimenttilførsel (Posamentier & Allen 1999). Dataparametrene er den stratigrafiske information, som kan fås fra fx borelogs, seismiske data og dagblotninger. Forlænsmodellering kan således bruges til at frembringe stratigrafiske profiler ud fra kendte modelparametre.

Da det imidlertid ofte er dataparametre der er kendte, og modelparametrene der er ukendte, må problematikken gribes omvendt an. Dette kan gøres ved at anvende såkaldt invers modellering, som foregår ved at benytte en Metropolis algoritme i en Monte Carlo inversion (Metropolis *et al.* 1953). Metoden kræver, at der foreligger en forlænsmodel samt en metode til kvantitativt at sammenligne hvor godt en given model passer med et observeret datasæt (en misfit-funktion).

Til at illustrere hvorledes invers stratigrafisk modellering kan foretages, er en simpel 2D-geometrisk siliciklastisk aflejringsmodel brugt som forlænsmodel. Som misfit-funktion er de stratigrafiske horisoners afvigelse fra placeringen i det observerede datasæt benyttet. Datasættet består af otte borer med stratigrafisk information. Denne information blev for den enkelte boring ligeledes vægtet efter pålidelighed.

Monte Carlo inversionen vil efter tilstrækkelig mange afprøvede kombinationer af modelparametre fremkomme med en sandsynlighedsfordeling af modelparametre. Denne fordeling kan så bruges til at ud-

pege den mest sandsynlige kombination af modelparametre, der ligger til grund for det observerede datasæt.

Metoden rummer flere fordele frem for den traditionelle metode til at tolke stratigrafiske data, eventuelt assisteret af en forlænsmodel alene. Inversmodellering giver mulighed for en betydelig mere effektiv og præcis sammenligning af modeller og observerede data end selv erfaren geolog kan gennemføre med den klassiske 'trial-and-error'-metode (Cross & Lessenger 1999). Endvidere er usikkerheden på både modellerede modelparametre og dataparametre kendt, hvilket ofte mangler ved en traditionel tolkning af stratigrafiske data. Metoden bliver dog ikke mere pålidelig end forudsætningerne for den benyttede forlænsmodel.

## Referencer

- Cross, T.A. & Lessenger, M.A. 1999: Construction and application of a stratigraphic inverse model. I: Harbaugh, J.W. *et al.* (red.): Numerical experiments in stratigraphy: recent advances in stratigraphic and sedimentologic computer simulations. SEPM Special Publication 62, 69–83.
- Metropolis, N., Rosenbluth, A.W., Rosenbluth, M.N., Teller, A.H. & Teller, E. 1953: Equations of state calculations by fast computing machine. *Journal of Chemical Physics* 21, 1087–1091.
- Posamentier, H.W. & Allen, G.P. 1999: Siliciclastic sequence stratigraphy – concepts and applications. *Concepts in Sedimentology and Paleontology* 7, 210 pp.

Rasmus Foldager, Geologisk Institut, Københavns Universitet, Øster Voldgade 10, 1350-København K, e-post: foldager@geol.ku.dk

# Normal Raman spektroskopistudier af sulfatholdig grøn rust

EVA HANSSON

Grøn rust er en gruppe af semistabile hydroxidmineraller, som hører til hydrotalcit familien. Strukturen er lagdelt og veksler mellem lag bestående af Fe(II)-OH /Fe(III)-OH og anioner (fx  $\text{SO}_4^{2-}$  eller  $\text{Cl}^-$ ) samt krystallinsk vand. Grøn rust findes i naturlige miljøer, hvor iltforholdene varierer gennem året, samt i forbindelse med industrielle Fe-materialer som fx rørledninger.

I løbet af de seneste to årtier er interessen for grøn rust mineralerne steget markant på grund af semistabile mineralers potentielt vigtige rolle for den kemiske massetransport i jorden. Fe(II)-ionen i grøn rust kan reducere en lang række forurenende kemiske forbindelser, fx de to kræftfremkaldende stoffer Cr(VI) og  $\text{CCl}_4$  (Loyaux-Lawniczak *et al.* 1999, Erbs *et al.* 1999). Samtidig medfører den ret fleksible lagdelte struktur i grøn rust at det er muligt for både organiske og uorganiske stoffer at blive optaget ved udbytning med anionerne.

For at forstå grøn rusts rolle for kemisk massetransport og for at kunne lave modeller til at forudsige af forureningsspredning, er det vigtigt at kende reaktionerne og mekanismerne bag grøn rusts strukturelle og kemiske omdannelse ved reaktion med 'fremmede' kemiske stoffer. Specielt bør mere komplekse systemer, hvor kombinationer af både organiske og uorganiske stoffer har mulighed for at reagere med den grønne rust, belyses i højere grad end hidtil. Det er derfor formålet med dette projekt at karakterisere samspillet mellem organiske og uorganiske stoffer i grænsefladen mellem den grønne rust og væskefasen.

Grøn rusts overfladekemi er yderst følsom overfor ændringer i det omgivende miljø. Det er således svært at analysere mineralets overflade, uden at risikere ændringer i overfladekemien under analysen. En metode til at undersøge systemer i deres oprindelige miljø, er Normal Raman Spektroskopi (NRS). NRS giver information om den sammensætningsmæssige og strukturelle opbygning af et materiale, samt de forbindelser der er bundet til dets overflade.

Foreløbige NRS resultater af reaktion mellem grøn rust og  $\text{O}_2$  viser forskellige stadier af grøn rusts dannelse og omdannelse. Fe(III)-OH bindingerne i strukturen er meget stabile, mens Fe(II)-OH bindingerne ændrer sig både under dannelsen og oxidering af mineralet. Det er også muligt at differentiere mellem stadier af  $\text{SO}_4^{2-}$ -kompleksdannelser i væskefasen og på overfladen, samt  $\text{SO}_4$  som er indbygget i den grønne rusts mineralstruktur.

## Referencer

- Erbs, M., Hansen, H.C.B. & Olsen, C.E. 1999: Reductive dechlorination of carbon tetrachloride using iron(II) iron(III) hydroxide sulfate (green rust). *Environmental Science and Technology* 33, 307–311
- Loyaux-Lawniczak, S., Refait, P., Lecomte, P., Ehrhardt, J.-J. & Génin, J.-M.R. 1999: The reduction of chromate ions by Fe(II) layered hydroxides. *Hydrology and Earth System Sciences* 3, 593–599.

Eva Hansson, NanoGeoScience, Geologisk Institut, Københavns Universitet, Øster Voldgade 10, 1350 København K, e-post: ehansson@geol.ku.dk

# Fe-oxider i opsprækket granit: palæo-redox indikatorer

KNUD DIDERIKSEN

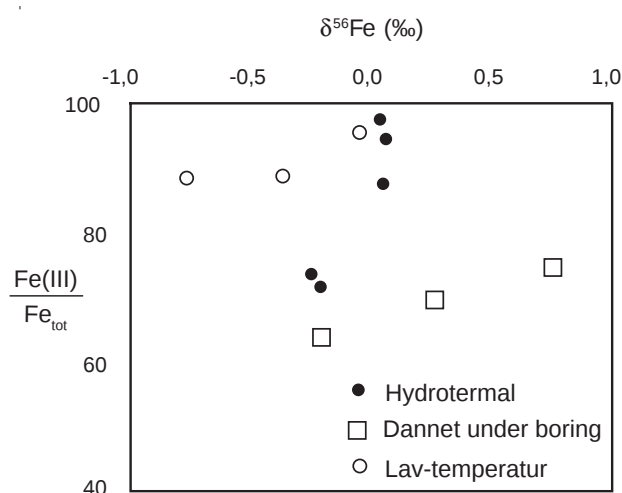
Den svenske stat har i længere tid overvejet mulighederne for permanent henlæggelse af brugt radioaktivt brændsel. Det er hensigten at konstruere et depot ca. 500 meters dybde i krystallinsk grundfjeld. Her kan affaldet henfalde uforstyrret i 100.000 år, afskåret fra det omkringliggende miljø af en række barrierer. Som en del af sikringen ønsker man at placere affaldet i kraftige kobberbeholdere, der er resistente for korrosion i de herskende iltfattige miljøer. Den lange tidsmæssige horisont introducerer imidlertid komplicerende forhold. Eksempelvis er det sandsynligt, at området vil opleve glaciation inden for depotets levetid, hvilket i følge computermodellering kan lede til transport af iltholdigt vand til depotet, hvorved kobberbaseret sikring kompromitteres. Hvis denne hypotese passer, må tidligere glaciationer have forårsaget en tilsvarende infiltration af iltrigt vand til den dybere undergrund og således givet anledning til iltning af Fe(II)-mineraler (såsom pyrit og Fe(II)-bærende ler) og udfældning af okkerlignende Fe(III)-oxide.

Foranlediget af institutionen der er ansvarlig for deponeringen har formålet med denne undersøgelse været at søge efter tegn på infiltration af iltrigt vand i

sprækkerne i granitten. Især er der søgt efter lav-temperatur udfældning af Fe(III)-oxider for at udpege dybder, hvortil iltrigt vand har infiltreret. Prøvematerialet stammer fra en række borer, og undersøgelsen har fokuseret på at karakterisere Fe(III)-oxidernes struktur, form og sammensætning af stabile Fe-isotoper. Disse parametre påvirkes hver især kraftigt af oxidation og dannelses temperatur (Cornell & Schwertmann 1996; Johnson *et al.* 2002).

Undersøgelserne af form og struktur har tilladt os at fastslå tre typiske dannelsesforløb for oxiderne: 1) Hydrotermale forhold har ledt til udfældning af velkrystalint hæmatit med en relativ stor partikel størrelse. 2) Borningsprocessen har forårsaget dannelse af Fe(II)/Fe(III)-oxider såsom magnetit med en partikelstørrelse på under 20 nm. 3) Infiltration af iltrigt vand har ledt til dannelse af mangelfuldt krystalline Fe(III)-oxider med en partikelstørrelse på under 20 nm.

Yderligere synes prøvernes redoxforhold og Fe-isotop sammensætning at afspejle de tre former for dannelsesforløb (Fig. 1), hvilket øger tilliden til metoden. Ved undersøgelserne er der ikke fundet tegn på naturlig lav-temperatur iltning i dybder på over 100 m.



Figur 1. Redoxforhold som en funktion af Fe-isotop sammensætning. Prøvernes Fe-isotop sammensætning er vist som  $^{56}\text{Fe}/^{54}\text{Fe}$  forholdets afvigelse i ‰ fra standarden IRMM-014 (i lighed med  $\delta^{18}\text{O}$  notationen).

## Referencer

- Cornell, R.M. & Schwertmann, U. 1996: The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrences and uses, 573 pp. New York: Wiley VCH.
- Johnson, C.M., Skulan, J.L., Beard, B.L., Sun H., Nealson, K.H. & Braterman, P.S. 2002: Isotopic fractionation between Fe(III) and Fe(II) in aqueous solutions. *Earth and Planetary Science Letters* 195, 141–153.

*Knud Dideriksen, Geologisk Institut, Københavns Universitet, Øster Voldgade 10, 1350 København K, e-post: knudd@geol.ku.dk*

# De moderne fugles tidlige udvikling: fossiler fra tidlig Eocæn, Danmark

BENT ERIK KRAMER LINDOW

De moderne fugle (underklasse Neornithes) omfatter kronegruppen af nulevende fugle og deres uddøde slægtninge. På grund af manglende diagnostisk, sammenhørende eller sammenhængende fossilt materiale, er deres tidlige udvikling stort set ukendt. For eksempel er det uvist om den tidligste diversifikation skete før eller efter den store masseuddøen ved Kridt-Paleogen grænsen. Den nyligt beskrevne andefugl *Vegavis iaai* (orden Anseriformes) fra Maastrichtien i det østlige Antarktis dokumenterer, at moderne fugle levede i Sen Kridt (Clarke *et al.* 2005). Dette fund kan dog ikke belyse omfanget af diversifikation, da andefuglene regnes for relativt primitive blandt moderne fugle. Endvidere er de indbyrdes slægtskabsforhold mellem de forskellige ordner af moderne fugle ikke velundersøgt. Der er foretaget en del overordnede slægtskabsanalyser baseret på molekylære data, men de er indbyrdes modsigende. Slægtskabsanalyser baseret på morfologiske data er kun i sin vorden og har indtil videre fokuseret på at belyse slægtskabsforholdene inden for de moderne ordner (Dyke & van Tuinen 2004).

Årsagen er at der bortset fra det ovennævnte fund fra Antarktis kun er fundet isolerede fossile enkeltknogler af moderne fugle fra Sen Kridt og Paleocæn. Det tidligste velbevarede fossilmateriale af moderne fugle optræder først i Tidlig Eocæn og stammer fra Green River Formationen i det vestlige Nordamerika, London Clay Formationen i det sydøstlige England og Fur Formationen i Nordjylland. I alle disse tre aflejringer er fossile fugle bevaret som sammenhængende eller sammenhørende skeletter, men kun fra Fur Formationen kendes materiale, der både er sammenhængende og tredimensionelt bevaret.

Fur Formationen er en marin diatomit, der indeholder hærdede karbonatkonkretioner eller -horisonter, de såkaldte 'cementsten' (Pedersen & Surlyk 1983). I diatomitten er fossilmaterialet typisk bevaret som meget fine aftryk, hvor knoglerne er opløst, hvori mod materialet er bevaret tredimensionelt i cementstenene. De iltfrie eller iltfattige bundforhold under aflejringen har ofte tilladt bevarelsen af aftryk af fjer og bløddelsvæv. Fjer er typisk bevaret som kulstofhinder, og omkring 40% af det fossile fuglemateriale

fra Fur Formationen består af enkeltfjer eller fjer i tilknytning til knoglemateriale.

Tidligere, fortrinsvis upubliceret, arbejde har afsløret en meget divers fauna af uddøde fugle fra Fur Formationen (Kristoffersen 2001, 2002; Dyke *et al.* 2004). Dette materiale kan sammen med nytilkomne fossiler bidrage til eller forbedre eksisterende slægtskabsanalyser af flere ordner af moderne fugle, heriblandt vade- og mågefugle (Orden Charadriiformes), tura-koer (Musophagiformes), pelikaner og disses slægtninge (Pelecaniformes) og de uddøde stenfugle (Lithornithiformes). Endvidere vil en sammenligning med de samtidige faunaer fra Nordamerika og England skabe overblik over de moderne fugles diversitet på den nordlige halvkugle i Tidlig Eocæn.

## Referencer

- Clarke, J.A., Tambussi, C.P., Noriega, J.I., Erickson, G.M. & Ketchum, R.A. 2005: Definitive fossil evidence for the extant avian radiation in the Cretaceous. *Nature* 433, 305–308.
- Dyke, G.J. & van Tuinen, M. 2004: The evolutionary radiation of modern birds (Neornithes): reconciling molecules, morphology and the fossil record. *Zoological Journal of the Linnean Society* 141, 153–177.
- Dyke, G.J., Waterhouse, D.M. & Kristoffersen, A.V. 2004: Three new fossil landbirds from the early Paleogene of Denmark. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 51, 47–56.
- Kristoffersen, A.V. 2001: The avian diversity in the latest Paleocene – earliest Eocene Fur Formation, Denmark, 95 pp. Upubliceret Ph.D.-afhandling, Geologisk Institut, Københavns Universitet.
- Kristoffersen, A. V. 2002: An early Paleogene trogon (Aves: Trogoniformes) from the Fur Formation, Denmark. *Journal of Vertebrate Paleontology* 22, 661–666.
- Pedersen, G. K. & Surlyk, F. 1983: The Fur Formation, a late Paleocene ash-bearing diatomite from northern Denmark. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 32, 43–65.

*Bent Erik Kramer Lindow, University College Dublin, Department of Zoology, Irland & Geologisk Museum, Københavns Universitet, Øster Voldgade 5-7, DK-1350 København K, Danmark, e-post: lindow@snm.ku.dk*

# ESTRID (*Explosion Seismic Transect of a Rift In Denmark*): Undersøgelse af en riftstruktur i Danmark

ALESSANDRO SANDRIN

ESTRID-projektets formål er at undersøge det Danske Bassins dannelse og udvikling på basis af eksisterende og nye geofysiske data. Et vigtigt element i projektet er at definere form og størrelse af en magmatisk intrusion i mellem-nedre skorpe i det centrale Jylland. Resultaterne skal gøre det muligt at estimere skorpens varmeflux under og efter den magmatiske intrusion, som menes at have fundet sted i perioden Sen Karbon – Tidlig Perm. Sammenholdt med et detaljeret studie af områdets tektoniske udvikling skal dette føre til en opdaterede model for det Danske Bassins dannelse og udvikling.

Den formodede eksistens af en magmatisk intrusion i Jylland har tidligere været undersøgt af Thybo & Schönharting (1991) og Zhou & Thybo (1996) gennem analyse af gravitationsdata. I området under Silkeborg kan et legeme med høj densitet tydeligt erkendes i Bouguer anomalikortet (Fig. 1A). Gravitationsdata viser, at anomalien skyldes et legeme, der mindst må ned i ca. 20 km's dybde.

Et 140 km langt refractionsseismisk profil blev optaget i maj 2004 for at bestemme den magmatiske intrusions form og størrelse mere præcist. Profilet er orienteret Ø-V parallelt med intrusionens længdeakse. Der blev anvendt 238 geofoner med en indbyrdes afstand på 600 m til optagelse af de seismiske data. Den seismiske kilde bestod af to dynamitskud på 500 kg i henholdsvis Nordsøen og Århus Bugt samt fire skud på 300 kg på fastlandet. Som supplement til denne opstilling blev 150 geofoner placeret i en bue centreret omkring de to skudpunkter til havs.

De seismiske data er anvendt til tomografisk inversion af førsteankomster fra P-bølger. De primære hastighedsstrukturer fra den tomografiske model er herefter anvendt som startmodel til modellering af løbetider fra både refraktioner og refleksioner ved at benytte 'forward metoden' (Zelt & Smith 1992). Fire forskellige faser kan erkendes i de seismiske sektioner: Ps, Pg, Pn og PmP. Ps-fasen er en refraktion i de sedimentære lag og kan generelt erkendes til en afstand af 20–25 km fra skudpunkterne. Pg-fasen er en refraktion i grundfjeldet, som kendetegnes ved tilsyneladende hastigheder på 6,0–6,8 km/s, der øges med dybden. Pn-fasen er en refraktion i den øverste del af kappen, og den findes kun ved store afstande fra skudpunkterne. PmP-fasen, som er en refleksion fra

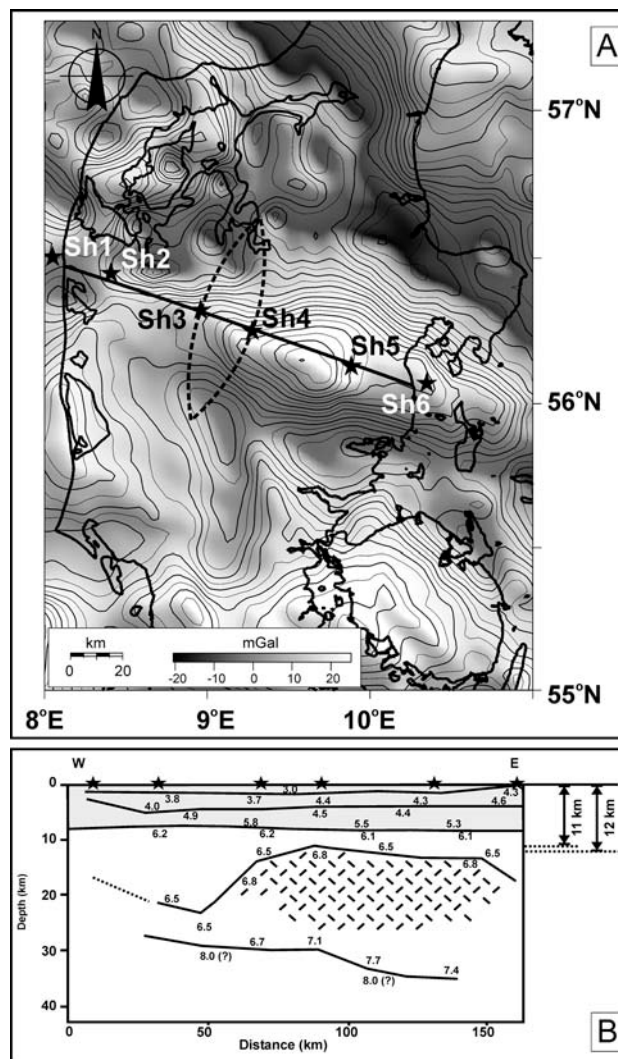


Fig. 1. A: Lokalisering af ESTRID profilet i det centrale Jylland (sort linje) og de to supplerende udlæg med bue-geometri (stiplet linje). Stjerner markerer skudpunkternes placering. Baggrundskortet viser den gravimetriske Bouguer anomali. B: Hastighedsprofil for P-bølger beregnet på grundlag af inversion og *forward* modellering af seismiske data fra ESTRID profilet.

Moho, er benyttet til at bestemme den seismiske hastighed i nedre skorpe samt dybden til Moho.

Hastighedsprofilen (Fig. 1B) viser, at de sedimentære lag har lav til intermediær hastighed (~2,0–5,0 km/s) og kan bestemmes til en dybde af ~8–9 km. Ved denne dybde stiger hastigheden til >6,2 km/s, hvilket er tolket som toppen af grundfjeldet. Derudover er et højhastighedslegeme (>6,8 km/s) tolket i en afstand af 60–100 km fra skudpunkt 1, i 11–12 km's dybde. Dette højhastighedslegeme har samme placering som den positive gravitationsanomali i Silkeborgområdet. Anomalien er derfor tolket som et resultat af de formodede magmatiske intrusioner.

Dybden til Moho varierer fra ~28 km i den vestlige ende af ESTRID profilet til ~32 km i den østlige del. Seismisk ringning af PmP-fasen (Moho refleksion) viser, at Moho har af en lagdelt struktur, og dette vil blive undersøgt ved analyse af hele bølgefeltet.

ESTRID projektet er støttet af FNU (Forskningsrådet for Natur og Univers) gennem en bevilling til grundforskningscentret i Integrated Geophysical and Tectonic Interpretation og Geologisk Institut, Køben-

havns Universitet. Jeg vil gerne takke min vejleder Hans Thybo og alle, som har været involveret i ESTRID projektet, samt Christoffer Nielsen for oversættelse til dansk.

## Referencer

- Thybo, H. & Schönharting, G. 1991: Geophysical evidence for Early Permian igneous activity in a transtensional environment, Denmark. *Tectonophysics* 189, 193-208.
- Zelt, C.A. & Smith, R.B. 1992: Seismic traveltime inversion for 2-D crustal velocity structure. *Geophysical Journal International* 108, 16-34.
- Zhou, S. & Thybo, H. 1996: Calculation of residual gravity anomalies in northern Jutland, Denmark. *First Break* 14, 129-134.

*Alessandro Sandrin, Geologisk Institut, Københavns Universitet, Øster Voldgade 10, 1350-København K, e-post: alsa@geol.ku.dk*

# Anvendelse af naturlige stabile isotoper ( $\delta^{18}\text{O}$ , $\delta^2\text{H}$ and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) til karakterisering af grundvand i Keta Bassinet, Ghana, og Bassin Sédimentaire Côtier, Togo

TINA HELSTRUP

Kridt–Eocæn kalkstensformationerne, der er udbredt fra Keta Bassinet, Ghana, ind i Bassin Sédimentaire Côtier, Togo, repræsenterer den vigtigste dybere aquifer i det sydøstlige Ghana. Udnyttelsen af grundvandsressourcen kompliceres dog på grund af utilstrækkelig viden om strømningsretninger, infiltrationsområder og graden af salinisering af aquiferen. I dette projekt anvendes naturlige stabile isotoper ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$  and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) og hydrokemiske parametre kombineret med eksisterende hydrogeologiske og geologiske data fra Ghana og Togo til at undersøge oprindelsen af grundvand og udbredelsen af salinisering i kalkstensaquiferen. Generelt er den elektriske ledningsevne (EC) af grundvand i aquiferen under 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Kun to borer beliggende ved kysten i Keta Bassinet viser indikationer på havvandsintrusion, idet grundvandet fra borerne har høje EC-værdier, forøgede Cl koncentrationer og Cl/Br forhold, der ligger inden for det normale niveau i havvand. Resultaterne er i overensstemmelse med sammensætningen af grundvandets  $\delta^{18}\text{O}$  og  $\delta^2\text{H}$  og  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , som også viser en begrænset havvandsintrusion i kalkstensaquiferen. Et stort antal grundvandsprøver fra den centrale del af Keta Bassinet er karakteriseret af relativt høje  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  forhold og udviser betydelig rumlig variation i EC-værdierne. Dette afspejler en indflydelse af grundvand fra overfladenære aquiferrer med et mere radiogent Sr-isotopforhold som re-

sultat af filtersætning i flere niveauer og sandsynligvis lækage i borerne. Isotopsammensætningen af  $\delta^{18}\text{O}$  og  $\delta^2\text{H}$  i grundvand fra kalkstensaquiferen fordeles sig omkring den globale meteoriske vandlinie og viser ikke tegn på fordampning, hvilket udelukker hypotesen om en direkte hydraulisk forbindelse mellem kalkstensaquiferen og Mono River i Togo. I den nordlige del af Keta Bassinet og i den sydvestlige del af Bassin Sédimentaire Côtier har grundvandet en lav mineralisering og en isotopsammensætning, som ligger inden for samme niveau som overfladenært grundvand i området. Dette viser, at infiltration til kalkstensaquiferen foregår i denne del af bassinet. Isotopisk forarmelse af grundvand fra kalkstensaquiferen i den nordøstlige del af Bassin Sédimentaire Côtier sammenlignet med grundvand fra Keta Bassinet antyder, at infiltration også finder sted i højere liggende områder i bassinet. Resultaterne fra dette projekt viser, at grundvandet fra kalkstensaquiferen i Keta Bassinet og Bassin Sédimentaire Côtier generelt er af god kvalitet. Forbedrede boringskonstruktioner samt monitoring af grundvandskvaliteten og -kvantiteten er dog en forudsætning for sikringen af en bæredygtig indvinding af grundvand fra aquiferen.

*Tina Helstrup, Geologisk Institut, Københavns Universitet, Øster Voldgade 10, 1350-København K, e-post: tinah@geol.ku.dk*