

Geologisk Tidsskrift



2014



Geologisk Tidsskrift udgives én gang årligt af Dansk Geologisk Forening, DGF.

Geologisk Tidsskrift er Dansk Geologisk Forenings (DGF) dansksprogede publikation til bred faglig og populærvidenskabelig formidling til alle med en geologisk interesse. Redaktionskomiteen kan invitere til at skrive om et særligt aktuelt emne, men opfordrer alle til at indsende et manuskript der egner sig til bred faglig formidling. Forfattere med ideer til særnumre, er derfor meget velkomne til at henvende sig redaktøren. Tidsskriftet indeholder endvidere bestyrelsens årsberetning.

Se www.2dggf.dk/publikationer/geologisk_tidsskrift for adresse samt forfattervejledning.

Redaktion: Ole Bennike (GEUS).

Redaktionskomite: DGF's bestyrelse.

Ansvar for artiklernes videnskabelige indhold påhviler udelukkende forfatterne.

ISSN: 2245-7097

@ Dansk Geologisk Forening

Medlemskab af DGF koster i 2012 kr. 400, studerende dog kun kr. 200 (50 kr. reduktion ved tilmelding af kontingent til BS).

DGF's sekretariat

Dansk Geologisk Forening
Institut for Geovidenkab og Naturforvaltning
Øster Voldgade 10
1350 København K
E-mail: dggfemail@gmail.com

DGF' S hjemmeside: www.2dggf.dk

Forsideillustration: Brecciedannelse af amfibolit og fluidisering af finknust materiale (under femkronen) i Maniitsoq-kraterstrukturen i Vestgrønland. Knusningen og omfordelingen af materialet skyldes intense, højfrekvente seismiske svingninger i den nedre skorpe umiddelbart efter meteornedslaget og passagen af selve chokbølgen. Rystelserne har varet i op til nogle minutter. Lignende, men meget svagere seismiske svingninger kan også dannes ved jordskælv i den øvre skorpe langs store forkastninger, fx San Andreas forkastningen i Californien. Foto: Adam A. Garde.

Maniitsoq-strukturen i Vestgrønland: De dybt nederoderede rester af Jordens ældste kendte meteoritkrater

AF ADAM A. GARDE

De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS),
Øster Voldgade 10, 1350 København K (aag@geus.dk)

Garde, A.A. 2014: Maniitsoq-strukturen i Vestgrønland: de dybt nederoderede rester af Jordens ældste kendte meteoritkrater. Geologisk Tidsskrift 2014, pp. 1–18. ISSN 2245-7097, København

Hvis man betragter Månen gennem en kikkert, ser man, at det meste af dens overflade er dækket af meteoritkraterer i alle størrelser. De største af dem måler helt op mod 2000 km i diameter. Direkte og indirekte aldersbestemmelser har vist, at de fleste af kraterne blev dannet i en kort periode for mellem 3,95 og 3,85 milliarder år siden, under det såkaldte 'Late Heavy Bombardment' (Ryder 1991). Derefter er mængden af nedslag formentlig aftaget eksponentielt. Jorden er meget større end månen og har derfor et meget kraftigere tyngdefelt, men alligevel kendes der ikke engang 200 sikre kraterstrukturer på Jorden, og de fleste af dem er ganske små og meget unge (Earth Impact Database, december 2013). Det skyldes, at Jorden i modsætning til Månen er en aktiv planet med sedimentation, erosion og pladetektonik, hvorved kraterstrukturene begravnes, eroderes væk eller forsvinder i pladetektoniske kollisions- og subduktionszoner. Kun ganske få af de kendte kraterstrukturer på Jorden har en diameter på 100 km eller derover. De tre største registreret i 'Earth Impact Database' er Vredefort krateret i Sydafrika (diameter 289 km, 2023 millioner år), Sudbury krateret i Canada (diameter ca. 250 km, 1850 millioner år) og Chicxulub krateret i Mexico (diameter 170 km, 65 millioner år). Databasen indeholder ingen arkæiske kraterstrukturer. De her opgivne diametre er fra Glikson (i trykken).

Asteroider og kometer indeholder store mængder kinetisk energi på grund af deres meget høje kosmiske hastigheder. Ved nedslaget omsættes det meste af den kinetiske energi til fordampning, smeltning og knusning af selve meteoritten og noget af jordskorpen i nedslagsområdet. En del af det fordampede materiale kondenserer derefter i atmosfæren som millimeterstore glaskugler og aflejres globalt som få centimeter tykke 'spherule beds' – i kystnære områder ofte i forbindelse med tsunami-aflejringer. 'Spherule beds' er svære at finde på grund af deres ringe tykkelse, men alligevel er der fundet ikke mindre end 18 af dem med

aldre på mellem 3,47 og 2,48 milliarder år (Lowe *et al.* 2003; Simonson & Glass 2004) i arkæiske sedimentære lagserier i Sydafrika og Australien. De vidner om adskillige, meget store meteoritnedslag i Jordens tidlige historie, på trods af, at der hidtil ikke er fundet nogen nær så gamle kraterstrukturer.

Det diskuteres ivrigt, hvordan og hvor meget Jordens geologiske og biologiske udvikling er blevet påvirket af kosmiske nedslag. Nogle mener, at Jordens tidlige udvikling er foregået i et samspil mellem langsomme endogene processer og voldsomme chokbegivenheder med globale, om end kortvarige effekter forårsaget af store nedslag (Glikson i trykken). Det har været foreslået, at både vand og liv er bragt til Jorden af kometer, og flere af Jordens største kraterstrukturer indeholder verdenskendte og uhyre værdifulde mineralforekomster (guld i Vredefort, nikkel og kobber i Sudbury). De største meteoritnedslag kan måske have medført opsmeltning af Jordens kappe og dannelse af store vulkanske provinser (Jones *et al.* 2002). Denne antagelse understøttes dog ikke af computersimulationer af meteoritnedslag og kraterdannelse (Ivanov & Melosh 2003). Men der er bred enighed om, at de største meteoritnedslag i den senere del af Jordens historie har medført masseuddøen. Det mest berømte og bedst undersøgte eksempel er nedslaget i Mexico ved K/T grænsen med dannelsen af Chicxulub krateret og dinosaurernes udslettelse.

Hele denne diskussion er forholdsvis ny. Tidlige forslag i 1800-tallet og første halvdel af 1900-tallet om meteoritkraterer på Jorden blev forkastet af flertallet som fantastier. Eksistensen af terrestriske kraterstrukturer blev først generelt anerkendt omkring 1960, blandt andet ved påvisning af mineralet coesit (en højtryks polymorf af SiO₂) i Ries krateret i Bayern (Shoemaker & Chao 1961). Siden har der været stor konkurrence om at finde nye kraterstrukturer både blandt professionelle geologer og amatører, som indimellem har ført til langvarige stridigheder. Der er

udviklet et overordentligt stringent regelsæt med stramme kriterier for anerkendelse af kraterstrukturer (French 1998; French & Koeberl 2010). Det er baseret på iagttagelser af forskellige chokeffekter i kendte, velbevarede kraterstrukturer og fund i dem af ekstraterrestriske kemiske signaturer, såsom forhøjet indhold af iridium eller unormale, ikke-jordiske isotopsammensætninger. Ifølge sagens natur egner dette regelsæt sig dog ikke særlig godt til evaluering af meget dybt nederoderede, meget store kraterstrukturer, da man jo så ikke har noget direkte sammenligningsgrundlag.

Fundet af Maniitsoq-kraterstrukturen

Fundet af en 3 milliarder år gamle kraterstruktur ved Maniitsoq i det sydlige Vestgrønland med en nuværende udbredelse på langt over 100 km i diameter blev offentliggjort i juni 2012 i et internationalt tidsskrift (Garde *et al.* 2012a). Det var et usædvanligt fund. Artiklen vakte en del røre i trykte medier og på internettet, og den udløste også et kritisk indlæg fra tre etablerede kraterforskere (Reimold *et al.* 2013) og et svar (Garde *et al.* 2013a). Maniitsoq-kraterstrukturen er endnu ikke optaget i 'Earth Impact Database', men har sin egen overskrift i en ny bog om meteoritnedslag og deres betydning for Jordens udvikling (Glikson i trykken).

Maniitsoq-strukturen er knapt en milliard år ældre end den hidtil ældste anerkendte kraterstruktur, Vredefort i Sydafrika, og den er meget dybere nederoderet. Upublicerede tryk- og temperaturbestemmelser af metamorfe mineralparageneser i Maniitsoq-området viser, at det nu blotlagte grundfjeld befandt sig i en dybde på 20–25 km under jordens overflade, da nedslaget fandt sted (B. Reno og B. Dyck, upublicerede data, 2011). Der er aldrig tidligere fundet rester af et meteoritkrater i tilnærmelsesvis denne dybde af jordskorpen. Til sammenligning er Vredefort-krateret blotlagt i en erosionsdybde på 'kun' 8–11 km (Lana *et al.* 2003; Gibson & Reimold 2008), og de synlige effekter af Vredefort-nedslaget under midten af den oprindelige kraterbund er ret begrænsede. Energien i Maniitsoq-nedslaget må derfor have været væsentligt større end ved Vredefort. Ellers ville det ikke kunne genkendes i en oprindelig dybde på 25 km og inden for et område, der er langt over 100 km i diameter. Kraterforskeren Boris Ivanov ved planetforskningsinstituttet i Moskva udførte i 2011 en såkaldt hydrokode-computermodellering, som viser effekterne af et Maniitsoq-lignende nedslag (Garde *et al.* 2011). Nogle af resultaterne af denne modellering er vist i *Geoviden* 2013/2 (Garde & Haack 2013). Modellerne viser, at

nogle af chokeffekterne ville kunne nå helt ned i den øvre kappe.

Ved Maniitsoq er ingen dele af det oprindelige ydre krater bevaret, men kun materiale, der befandt sig dybt under kraterbunden samt intrusioner fra Jordens kappe, der blev udløst i forbindelse med nedslaget. Alle Jordens andre større kraterstrukturer indeholder morfologiske rester af selve det oprindelige krater, for eksempel i form af en genkendelig ydre kraterrand, et smeltelag og breccier på kraterbunden, eller i det mindste en let genkendelig hævet midte, hvor dybereliggende bjergarter er løftet op over kraterbunden som kompensation for udkastet materiale.

De effekter af Maniitsoq-nedslaget, som blev afsat i den nedre skorpe og i dag kan iagttages på overfladen af det Nordatlantiske kraton, er vanskelige at sammenligne direkte med chokeffekterne i andre kraterstrukturer, fordi Maniitsoq-strukturens værtsbjergarter befandt sig under meget høj temperatur og tryk, da nedslaget fandt sted (omkring 900°C og 8 kbar, B. Reno og B. Dyck, upublicerede data, 2012), og fordi selve chokbølgen blev efterfulgt af voldsomme vibrationer i skorpen. Hændelsens påvirkning af de allerede varme og duktile bjergarter medførte derfor nogle effekter, som tager sig anderledes ud end i andre kraterstrukturer. Beslægtede fænomener er dog beskrevet fra visse typer af meteoritter, som stammer fra det indre af asteroider. Det bemærkes her, at alle meteoritter i varierende grad har været genstand for chokbegivenheder under løsrivelsen fra deres moderlegemer.

Maniitsoq-kraterstrukturens komponenter

Maniitsoq-kraterstrukturens centrum ligger omkring 25 km sydøst for byen Maniitsoq (Sukkertoppen) i Vestgrønland. Geologisk set befinder strukturen sig i Fiskefjord-blokken (Windley & Garde 2009) af det arkæiske Nordatlantiske kraton, som udgør størstedelen af det sydlige Grønland, se Fig. 1. Den nordvestlige del af kraterstrukturen er afskåret af en ca. 2550 millioner år gammel subduktionszone langs grænsen mellem Fiskefjord- og Maniitsoq-blokkene (Fig. 1; B. Dyck, C.R.L. Friend, A.P. Nutman og B. Reno, personlig kommunikation, 2011). Regionen ligner for så vidt mange andre midt- til senarkæiske skjoldområder. Den består hovedsageligt af tonalitiske gnejser og resterne af andesitiske og basaltiske lavabælter. Bjergarterne udgør tilsammen rødterne af et magmatisk øbuekompleks, hvor ny kontinental skorpe var under opbygning for ca. 3075–3000 millioner år siden. Den bedst kendte del af regionen er området omkring Fiskefjord og ved Qussuk i den nordligste del af Godthåbsfjord. Den

geologiske udvikling, som den blev opfattet inden opdagelsen af kraterstrukturen, er beskrevet i flere

artikler (Berthelsen 1960; Garde 1997; Garde 2007; Garde *et al.* 2012b).

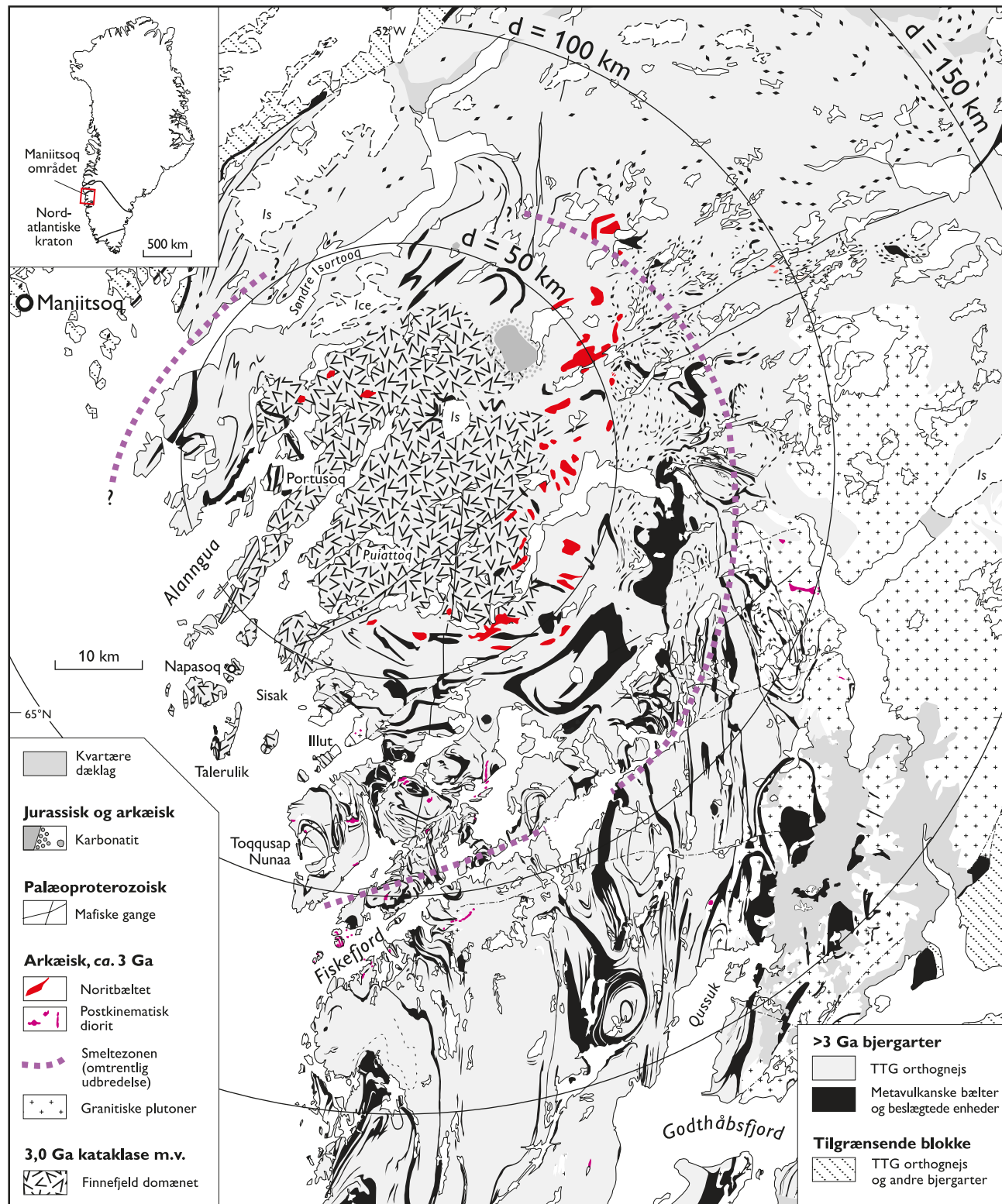


Fig. 1. Forenklet kort over Maniitsoq-kraterstrukturen med referencecirkler tegnet 25, 50 og 75 km fra centrum ($d = 50, 100$ og 150 km). Den nordlige halvdel af området er dårligt kendt, mest fra Kryolitselskabet Øresunds undersøgelser i 1960'erne og Grønlands Geologiske Undersøgelseres rekognosceringskortlægning i 1970'erne (Allaart 1982). Ga: Giga-annum, milliard år.

De bevarede komponenter i selve Maniitsoq-kraterstrukturen er en totalt nedknust og delvist smeltet kerne kaldet Finnefjeld domænet, en omgivende smeltezone med varierende grad af direkte smeltning af enkeltminerale, især feldspat, en zone med specielle knusningsfænomener og brecciedannelse, og en perifer zone mod sydøst med store granitiske legemer. Dertil kommer et 75 km langt bælte af noritiske intrusioner, som stammer fra kappen, og tilsvarende men mindre dioritiske intrusioner, samt store områder med intens, højtemperatur hydrotermal omdannelse. Der eksisterer en ganske beskedne mulighed for, at lidt af den smelte, der må have dækket den oprindelige kraterbund, kan være bevaret. Noget af smelten kan nemlig være løbet ned i dybe revner og sprækker i kraterbunden.

Den centrale del af kraterstrukturen har også været vært for en række senere magmatiske hændelser, som ikke er særligt almindelige, og man kunne godt forestille sig, at disse hændelser kunne være styret af permanente ændringer i den kontinentale litosfære, forårsaget af meteoritnedslaget. Tæt ved kraterstrukturens midte findes der to karbonatitintrusioner af senarkæisk og jurassisk alder, Tupertalik og Qaqarssuk karbonatitterne (Larsen & Rex 1992). Desuden blev det påvist allerede for mere end 25 år siden (Hall & Hughes 1987), at palæoproterozoiske, rift-relaterede doleritgange, som er almindelige i hele det Nordatlantiske kraton, lige netop i Finnefjeld området har en stærkt afvigende, boninitisk geokemisk sammensætning. Almindelige rift-relaterede basiske gange er normalt af tholeiitisk eller svagt alkalisk kemisk sammensætning og dannes ved opsmeltning i den øvre kappe under gamle kratoner, hvorimod boninitiske gange er sjældne og normalt stammer fra kildeområder i helt andre geotektoniske miljøer, hvor forskellige skorpe- og kappekomponenter fysisk er kommet i kontakt med hinanden ved (plade)tektoniske bevægelser. Endelig huser den centrale del af Maniitsoq-strukturen et stort antal ca. 600 millioner år gamle kimberlitgange (Nielsen *et al.* 2009). Gangenes forekomst lige her kunne blot være en tilfældighed, men kunne også skyldes, at nedslaget har medført nogle permanente ændringer i den øvre kappe, hvor kimberlitmelter generelt har deres kildeområde.

Finnefjeld domænet

Finnefjeld domænet er et nærmest dråbeformet, meget ensartet område på ca. 35 × 50 km, som udgør kernen af kraterstrukturen omkring den markante, drageryglignende bjergtop Finnefjeld på 1097 m (Fig. 1). Den vestlige del af domænet er gennemskåret af dybe fjorde og er tilgængelig med skib. Finnefjeld domænet blev oprindeligt beskrevet i 1962 som et kataklastisk

(nedknust) område i en afhandling af den senere professor og nu afdøde Asger Berthelsen (Berthelsen 1962). Berthelsen brugte termerne 'Finnefjeld complex' og 'Finnefjeld gneiss'. Han fandt rester af granulitfacies bjergarter inden for komplekset, som var magen til de omkringliggende litologier. Han mente derfor, at området bestod af det samme materiale som resten af regionen, men at det på et sent tidspunkt havde taget sin helt egen udvikling og var endt som et kataklastisk kompleks. Berthelsen forsøgte ikke at komme med en nærmere forklaring på kataklasten, men havde blot evnen til at iagttage og modet til at beskrive et fænomen, som han ikke forstod. Hans observationer gik dog i glemmebogen, og i alle senere beskrivelser indtil 2012 blev Finnefjeld gnejsen tolket som et sent intrusivt pluton, også i artikler af nærværende forfatter (Allaart *et al.* 1978; Marker & Garde 1988; Garde 1997; Garde *et al.* 2000).

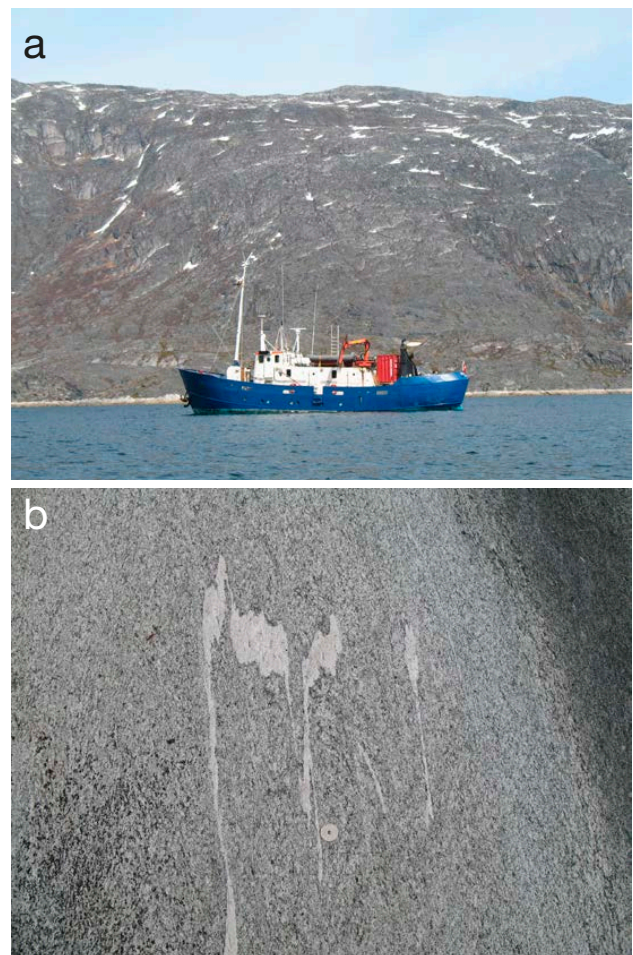


Fig. 2. Finnefjeld domænet, som udgør den nedknuste kerne af Maniitsoq-kraterstrukturen. **a.** Finnefjeld domænet set på afstand som en homogen, stålgrå bjergartsmasse. Rejsebåden m/s Minna Martek i forgrunden. **b.** Blotning i Finnefjeld domænet med homogeniseret gnejs og foldede granitiske årer, dannet ved senere partiel opsmeltning og sammenpresning.

En igangværende undersøgelse af Finnefjeld domænet (Garde, Dyck, Esbensen, Johansson & Möller, indsendt til *Precambrian Research*, januar 2014) bekræfter Asger Berthelsens gamle iagttagelser og viser, at domænet hovedsageligt består af knust plagioklas og plastisk deformeret kvarts, varierende mængder af hornblende og biotit, samt i nogle prøver kalifeldspat, der er størknet fra en mineralsmelte (se nedenfor og Garde *et al.* under bedømmelse). Set fra fjordene fremstår Finnefjeld domænet som en ekstremt homogen, stålgrå bjergartsmasse uden litologiske variationer af nogen art (Fig. 2a). Der er ingen bæltter at se af sort, metavulkansk amfibolit, som ellers findes overalt i de omgivende gnejsjer. På tættere hold kan der nogle steder anes farveforskelle med mørkere, mere hornblenderige partier, men uden at der kan erkendes nogen bjergartsgrænser. På helt tæt hold er bjergarten underligt grynet, og dens sydlige del har en stedvist intens, men ufuldstændig og anormal planær struktur, hvor pladeformede mineraler som biotit ikke udviser

nogen klart foretrukken orientering. Der ses også næsten overalt centimeter-tynde, hvide årer af lokalt opsmeltet granit, som i den sydlige del af domænet følger den planære struktur og ofte er foldet i stående, åbne til tætte folder (Fig. 2b). Den planære struktur, granitårerne og folderne vidner om lateral sammenpresning og partiel opsmeltning med granitdannelse efter knusningen.

Finnefjeld domænet er enestående i sin art, fordi det dokumenterer en kortvarig og meget voldsom hændelse, der er præget af samtidig knusning af plagioklas, plastisk deformation af kvarts og direkte smeltning af kalifeldspat. To eksempler på mineralteksturer i Finnefjeld domænet er vist i Fig. 3. Det ses, at plagioklaskornene er skarpkantede, stærkt uregelmæssige og gennemsat af sprækker, og i kanten af det største korn ses stumper, som har været ved at brække af (Fig. 3a, lodrette pile). Det kan også ses, at det største plagioklaskorn indeholder højst usædvanlige, ujævnt fordelte kalifeldspat-indeslutninger af

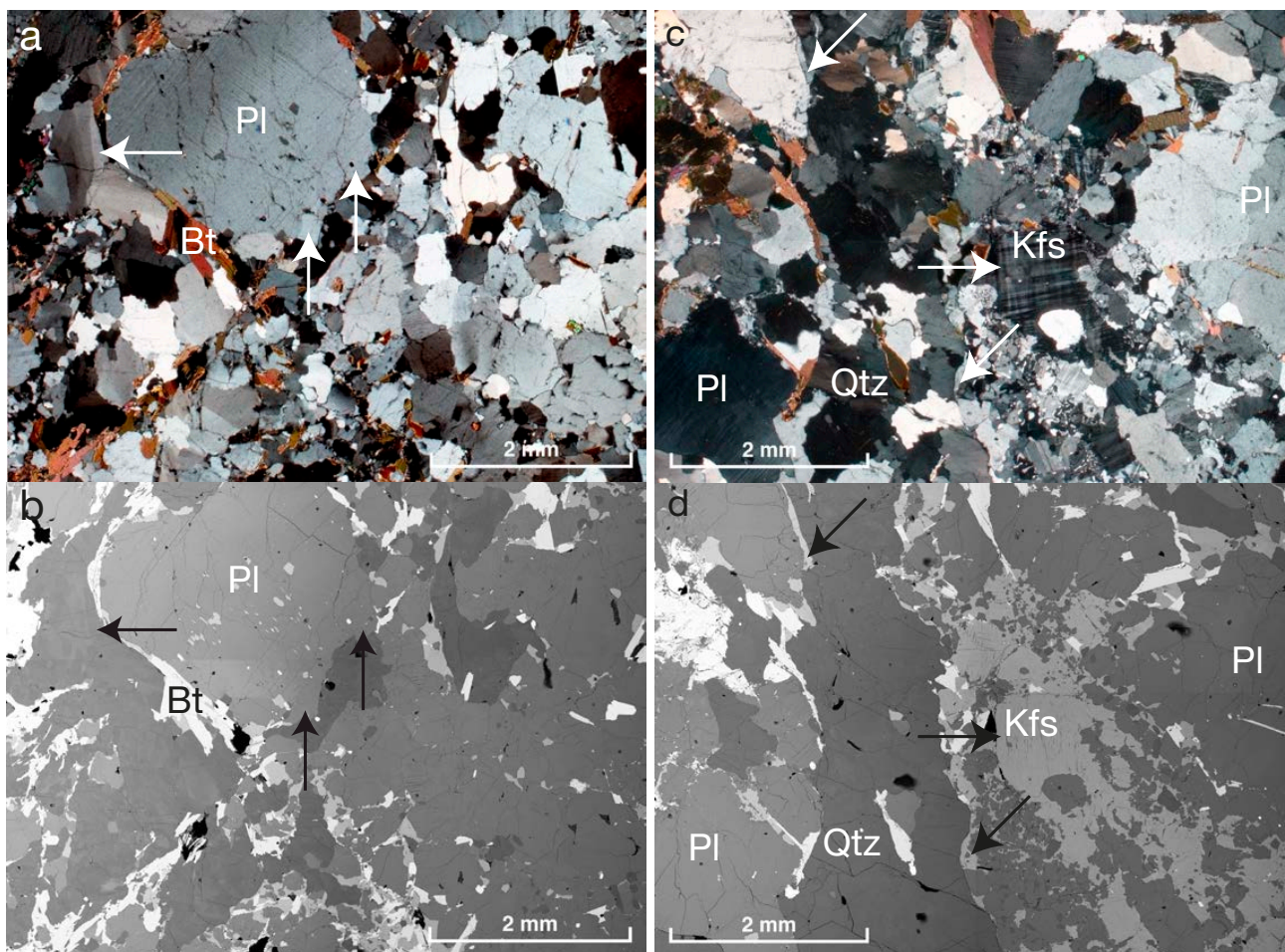
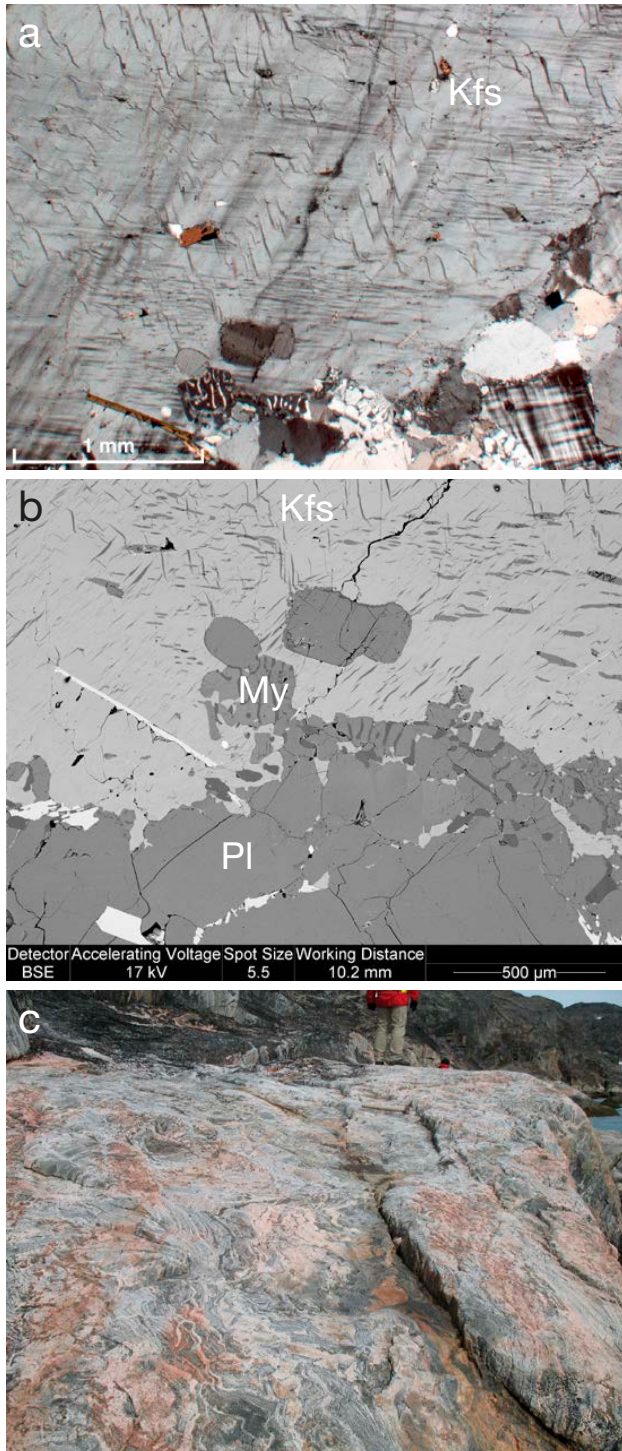


Fig. 3. Mikroskop- og skanning elektronmikroskop (SEM) billeder af 'Finnefjeld gnejs' fra det indre af Finnefjeld domænet ved Puiattoq (Fig. 1). **a-b.** Bjergart med tonalitisk sammensætning bestående af knust plagioklas og plastisk deformeret kvarts (prøve 525351). **c-d.** Kataklastiske, plastiske og smelteteksturer i en leucokratisk, kalifeldspat-bærende varietet af 'Finnefjeld gnejs' fra samme lokalitet (prøve 525353). **Bt:** biotit. **Kfs:** kalifeldspat. **Pl:** plagioklas. **Qtz:** kvarts.

forskellig størrelse (Fig. 3a–b). Det er formentlig rester af kalifeldspat-mikrosmelter. Kvarts har undulerende udslukning og deformationspaneler (vandret pil), som er typiske for plastisk deformation og dynamisk rekrySTALLISATION. Biotitkornene viser ingen foretrukken orientering, selv om bjergarten i det ydre har en planær struktur.



En mere leukokratiske bjergart med kalifeldspat fra samme del af Finnefjeld domænet er vist i Fig. 3c–d. Både fordelingen og formen af kalifeldspat-kornene er helt usædvanlige for en stærkt deformeret, metamorf bjergart. Et millimeterstort korn nær midten af figuren (vandret pil) er ganske upåvirket af deformation og sprækkedannelse og har stærkt uregelmæssige grænser. Tilgrænsende, mindre korn af kalifeldspat er heller ikke opsprækkede og danner et fint netværk i mellemrummene mellem kvarts og plagioklas (skrå pile). Grænserne af kalifeldspat-kornene er ofte stærkt krummede, og der er lange udløbere. Disse teksturer er meget karakteristiske for fluider eller smelter – men der er ikke nogen som helst tegn på indvirkning af kaliumrige fluider eller metamorfe reaktioner, og der må derfor være tale om smeltning af bjergartens eget oprindelige kalifeldspat. Denne form for smeltning kaldes chok- eller direkte mineralsmeltning og foregår lynhurtigt under ekstremt høje temperaturer. Knusningsprocesserne i Finnefjeld domænet, som blev udløst af nedslaget, kan have ydet et væsentligt bidrag til den voldsomme, kortvarige opvarmning. Normale smelteprocesser i jordskorpen, hvor der dannes en partiel eller såkaldt anatektisk smelte, typisk af granitisk sammensætning, sker ved meget lavere temperaturer, men er meget langsomme, fordi der skal være tid til kemiske reaktioner mellem flere forskellige mineraler. Kalifeldspat-teksturerne i Fig. 3c–d viser derfor, at bjergarten må have været udsat for direkte smeltning. Denne specielle form for smeltning af kalifeldspat er også meget karakteristisk for gnejserne i smeltezonen rundt om Finnefjeld domænet, som beskrives i næste afsnit. Samspillet i Finnefjeld domænet mellem knusning af plagioklas, plastisk deformation af kvarts og smeltning af kalifeldspat tyder på, at jordskorpen i nedslagsområdet kortvarigt har været udsat for voldsomme vibrationer. Dette forhold diskuteres sidst i artiklen.

Fig. 4. Direkte smeltning og genkrystallisering af kalifeldspat ved Alanngua-fjorden. a. Hjørne af centimeterstort, opsmeltet og genkrystalliseret korn af kalifeldspat med flere faser af gradvist afblandet plagioklas med aftagende anortitkomponent. Mikrofoto med krydsede polarisationsfiltre, prøve 525310. b. Detalje af samme korn med flere successive afblandingsfaser af plagioklas (Pl) i kalifeldspat (Kfs). Under kalifeldspat-krystalen ses højmetamorf, myrmekitisk sammenvoksning af plagioklas og kvarts (My). Bemærk, at der er langt færre sprækker i kalifeldspat end i plagioklas, som ikke blev smeltet. Skanning elektronmikroskop backscatter billede. c. Orthognejs med masser af diffuse, laksefarvede områder bestående af direkte smeltet, udskilt og genkrystalliseret kalifeldspat.

Smeltezonen

Et område med en diameter på mindst 75–80 km rundt om Finnefjeld domænet er i varierende grad påvirket af direkte choksmeltning af især feldspat og biotit. Knusningsfænomener er også almindelige, men de fleste bjergarter har trods alt bevaret deres oprindelige sammenhæng og fremtræder ved en overfladisk betragtning som mere eller mindre normale. Også her er både knusnings- og smeltfænomenerne dog meget specielle og tyder lige som i Finnefjeld domænet på oscillatoriske vibrationer i jordskorpen.

De mest iøjnefaldende direkte smeltfænomener af enkeltminerale eller mineralsystemer er, nævnt i rækkefølge efter stigende formodet smeltepunkt, smeltning af kalifeldspat, samtidig smeltning af kalifeldspat og albit, smeltning af biotit, og delvis smeltning af plagioklas. Total smeltning af plagioklas med genkrystallisation som mørkerød eller næsten helt sort plagioklas er også almindelig i de indre dele af smeltezonen, i hvert fald i den vestlige og sydlige del af kraterstrukturen. Det helt unikke ved Maniitsoq-kraterstrukturens direkte smeltning er, at mineralsmelterne ikke er bevaret som glasser eller mikrokrystallinske masser lige som i overfladenære kraterstrukturer, men at der – som Fugl Fønix – fra smelterne er genopstået op til centimeterstore krystaller af de samme mineraler som de oprindelige, omend nu med ydre former, der vidner om den forudgående smeltning.

Direkte smeltning af kalifeldspat er formentlig vidt udbredt i hele den indre del af kraterstrukturen, men kan ikke altid ses med det blotte øje, især hvis indholdet af kalifeldspat er lavt. Smelteteksturerne har i princippet de samme karakteristika som allerede beskrevet fra Finnefjeld domænet og vist i Fig. 3. Der er også tilfælde, hvor det ser ud til, at centimeterstore krystaller af ny kalifeldspat mere eller mindre har bevaret forgængernes ydre form (Fig. 4a). Som supplement vises her et par eksempler på blotninger af orthognejs, hvor der kan ses uregelmæssige, mange centimeter tykke smelteårer af laksefarvet kalifeldspat (Fig. 4b–c). Der er altså IKKE tale om normale granit- eller pegmatitårer. Det bemærkes, at der ikke er noget teoretisk eller observationsgrundlag for at antage, at en komponent svarende til kalifeldspat skulle være bragt ind i bjergarterne med fluider, eller at mineralet skulle være et produkt af metamorfe mineralreaktioner. Tværtimod er kalifeldspat en ganske normal og forventelig bestanddel i leukokratiske gnejser af magmatisk oprindelse.

Tonalitiske gnejser i Alanngua fjordområdet lige uden for den vestlige grænse af Finnefjeld domænet (Fig. 1) viser biotit-teksturer, som på afgørende punkter minder om kalifeldspat-teksturerne i Finnefjeld-domænet, som blev beskrevet i det forrige afsnit. Hovedminerale er kvarts, plagioklas og biotit, en

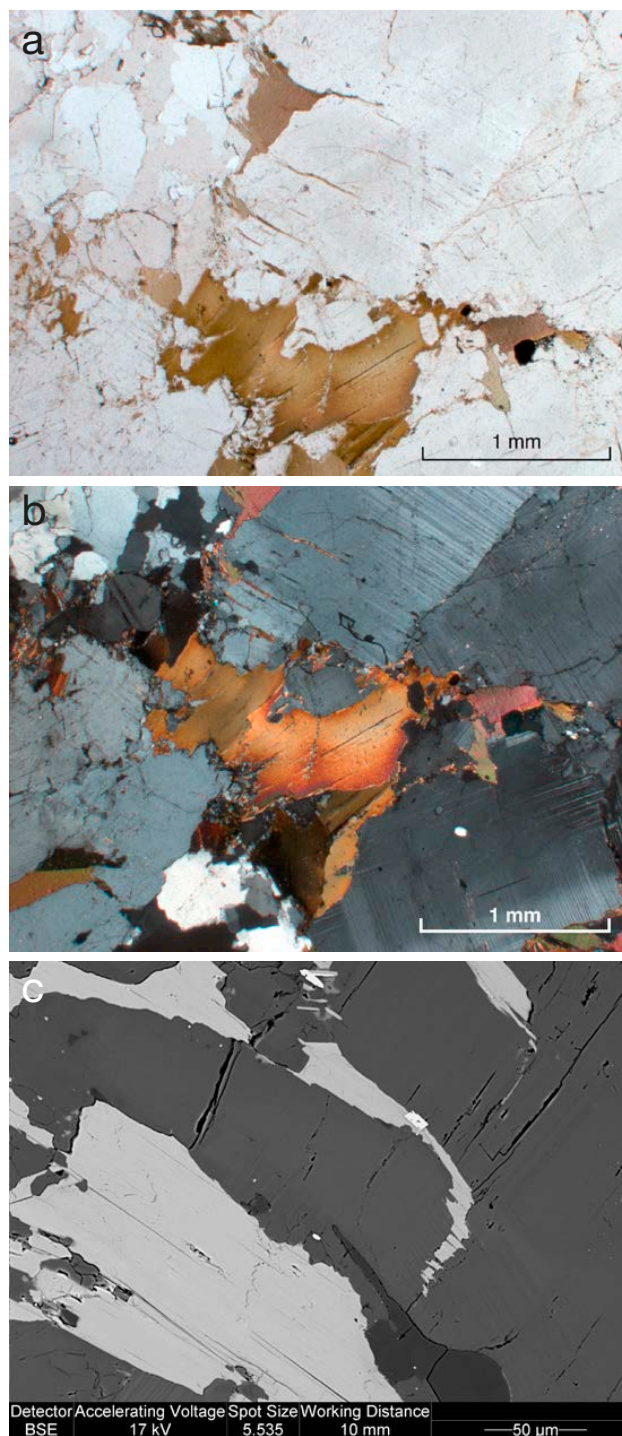


Fig. 5. 'Fugl Fønix' biotit, krystalliseret fra en direkte biotitsmelte i en tonalitiske orthognejs ved Alanngua-fjorden. a–b. Biotit med stærkt uregelmæssig form, magnesium-jern selvzonering og lange udløbere ind i opsprækket og delvist nedknust plagioklas. Mikrofotos i planpolariseret lys. c. Skanning elektronmikroskopbillede af det samme fænomen. Bemærk den tværgående krystallografiske orientering i spidsen af den tynde udløber. Orienteringen er styret af biotitkornets overordnede krystallisation fra smelten og ikke af sprækkens lokale morfologi. Prøve 525303.

helt normal sammensætning for en tonalitisk gnejs. Men som det ses i Fig. 5, er mineralteksturerne også her stærkt afvigende fra, hvad man ser i en normal orthognejs i den mellemste eller nedre del af jordskorpen, uanset graden af tektonisk deformation. I Fig. 5a ses en mikrobrecie-agtig tekstur bestående af stærkt opsprækket plagioklas med 'flossede' kanter og en matriks, som består af nogle få, forholdsvis store korn af biotit med stærkt uregelmæssig form og lange udløbere ind i plagioklaskornenes sprækker. Det ses på Fig. 5b, at biotittens krystallografiske orientering er den samme hele vejen ud gennem udløberen, således at biotittens laggitterstruktur i udløberens yderste del ligger på tværs af sprækkens længderetning. Biotitkornenes tekstur, omgivet af delvist knust plagioklas, viser, at de er krystalliseret direkte fra en biotitmelte, altså som 'Fugl Fønix' biotit. I de største biotitkorn øverst og til venstre i Fig. 5a ses også en kemisk zonerings med mørkebrune rande, som har et højere jern/magnesiumforhold end kernerne. Da der ikke kan være foregået nogen metamorf udveksling af jern og magnesium med den omgivende plagioklas, må zoneringsen være opstået under selve krystallisationen af biotit. Krystallisationsprocessen må have været underlagt de termodynamiske betingelser for det simple, binære fasediagram for biotit (med Mg-endeledet flogopit og Fe-endeledet annit). Zoneringsen afslører samtidig, at krystallisationen i kernen af kornene foregik ved en højere temperatur end i deres rand.

Nogle orthognejser med plagioklas af intermediær sammensætning (typisk oligoklas) i smeltezonen ud-

viser andre karakteristiske smeltfænomener, som ligeledes er styret af et simpelt, binært smeltesystem, nu med albit og anortit som de to endeled (Fig. 6). Her ses plagioklas, som består af en ikke-smeltet, forholdsvis kalciumrig kerne, som ofte viser afblanding af bittesmå partikler af jernoxid langs bestemte gitterplaner og desuden indeholder masser af sprækker. Kernen er omgivet af en albitrig rand helt uden sprækker, og med uregelmæssige ydre grænser. Teksturen er tolket som delvis smeltning af plagioklas, idet den albitrige komponent ifølge fasediagrammet for plagioklas har et lavere smeltepunkt end den mere kalciumrige komponent.

Granitter, som fandtes i smeltezonen inden nedslaget, udviser også nogle højst usædvanlige mineralteksturer med ejendommelige og ofte meget smukke blandings- og afblandingsfænomener af kalifeldspat og albitisk plagioklas. Fænomenet er populært beskrevet af Garde & Haack (2013), og her bringes endnu et eksempel. Skanning elektronmikroskop billedet (Fig. 7) viser en choksmeltet granit, hvor både kalifeldspat og albitisk plagioklas har været omformet til selvstændige smelter. I dele af billedet er de to forskellige feldspatsmelter løbet ind i hinanden som fingre, der flettes. I andre dele af billedet ses to-komponent mineral-korn bestående af lige dele, meget tynde lameller af kalifeldspat og plagioklas. Her var sammenblandingen af de to mineralsmelter komplet, men under den efterfølgende afkøling i fast form blev blandingen efterhånden ustabil, og de to komponenter blev adskilt igen. Denne form for alkalifeldspat med lige dele kalifeldspat og albit i tætte lameller kaldes mesopertit

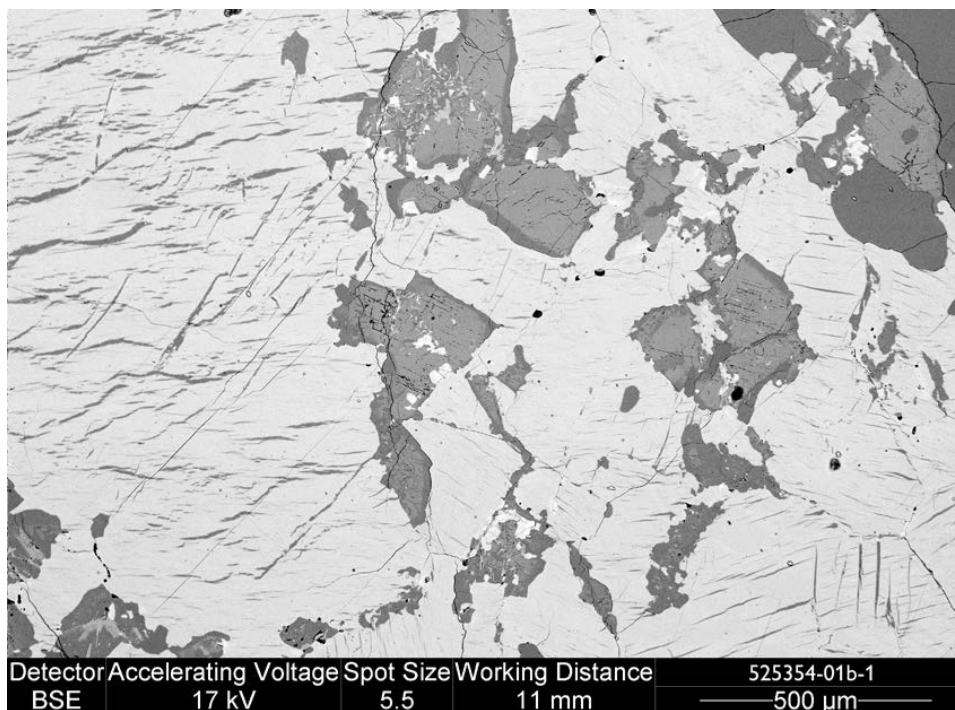


Fig. 6. Partiel direkte smeltning af plagioklas med opdeling i natrium- og kalciumrige komponenter. Den inderste, mere kalciumrige del indeholder ordnede rækker af meget små (få mikrometer store) afblandede korn af jernoxid, formentlig hæmatit, og er kraftigt opsprækket. Den yderste del er næsten ren albit. Denne komponent indeholder næsten ingen sprækker og tolkes som smeltekomponenten under den delvise direkte opsmeltning i albit-anortit systemet. Plagioklasen er omgivet af kalifeldspat, som også har været smeltet (se Fig. 5). Prøve 525354, Alanngua-fjorden.

og kendes fra visse højtemperatur-mineralparageneser i metamorfe bjergarter. Til forskel fra almindelig mesopertit indeholder granitterne i Maniitsoq-strukturens smeltezone *både* mesopertit, kalifeldspat og albitisk plagioklas, som tilmed udviser forskellige grader af sammenblanding. Det ville ikke være tilfældet i en normal metamorf bjergart, hvor al K- og Na-feldspat i princippet ville optræde som mesopertit. Mineralteksturerne i Maniitsoq-granitten er udtryk for manglende ligevægt og har været genstand for hurtig afkøling. Det ses også i Fig. 7, at kalifeldspat- og mesopertit-områderne indeholder få eller ingen sprækker, i modsætning til plagioklas og kvarts. Sprækkedannelsen foregik altså under afkøling fra en meget høj temperatur, inden al feldspat var krystalliseret.

Sprække- og brecciezonen

Både inden for og langt uden for smeltezonen ses en omfattende lokal opsprækning med ofte hårfine, fjer- eller juletræs-lignende mønstre, som typisk udspringer fra et enkelt punkt (Fig. 8). Specielle former for lokaliseret, 'umotiveret' brecciedannelse uden forbindelse til forkastninger eller intrusioner er også almindelige. Disse breccier har gerne en udbredelse på nogle kvadratmeter og består typisk af skarpkantede stumper af tidligere deformeret amfibolit, som er indlejret i en tilsyneladende helt lokalt opstået granitisk matriks (Fig. 9). To andre eksempler på disse specielle brecciefænomener er tidligere vist i Garde *et al.* (2012a), men ellers er de indtil nu ikke blevet nærmere undersøgt.

De almindelige orthognejser i den bedst kendte, sydlige del af Maniitsoq-kraterstrukturen indeholder mange steder grå, ofte kun få centimeter tykke, ganglignende legemer, som meget ofte er karakteriseret ved at have centimetertykke rande bestående af kalifeldspat. Disse tilsyneladende intrusive legemer blev beskrevet allerede tidligt i den geologiske udforskning af regionen som 'grey dykes' (Bridgwater *et al.* 1976), en feltbetegnelse, som også blev benyttet under den systematiske kortlægning i 1980'erne. Kort efter at kraterstrukturen var opdaget, bemærkede forfatteren og Brendan Dyck under feltarbejde i 2010, at der var noget meget mærkeligt ved disse 'grå gange'. Nogle af dem havde kalifeldspat-årer ikke kun langs den ene eller begge sider, men også internt, og disse tværgående årer var intenst ptygmatiske foldet og havde altså været udsat for en kraftig sammentrykning ('pure strain', se Fig. 10a). Det mest mærkelige var, at disse årer af kalifeldspat aldrig fandtes i sidestenen. De var altså tilsyneladende opstået inde i selve de 'grå gange' og var deformeret helt lokalt sammen dem, hvorimod sidestenen af gnejs fremstod upåvirket af denne sene, intense og meget lokale deformation. Et nærmere studie af adskillige lokaliteter afslørede, at de 'grå gange' bestod af kataklastisk (nedknust) materiale, men at de op til centimeterstore krystaller kalifeldspat i årerne ikke viste selv det mindste tegn på deformation eller knusning. Det blev også bemærket, at de 'grå gange' ofte var sammensat af adskillige komponenter side om side med varierende grader af nedknusning og tilsvarende grå til mørke farvenuancer, og at de forskellige dele var intruderet ind i hinanden (Fig.

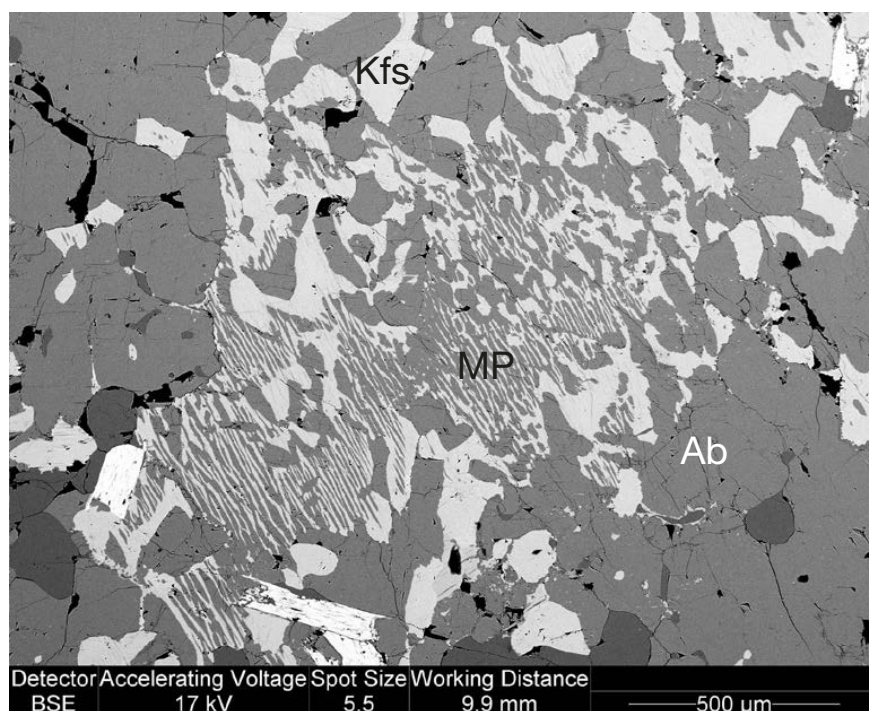


Fig. 7. Skanning elektronmikroskop backscatter billede af granit, hvor både kalifeldspat (Kfs) og albitisk plagioklas (Ab) har været direkte smeltet, og hvor de to smelter derefter har blandet sig som fingre, der flettes. Hvor blandingen var komplet, blev der genkrystalliseret en intermediær alkalifeldspat. Denne alkalifeldspat blev ustabil under den videre afkøling, og de to komponenter blev afblandet igen i fast fase. Det endelige resultat i disse områder er såkaldt mesopertit (MP), som består af tynde lameller af kalifeldspat og albit. Teksturerne vidner også om seismiske rystelser, mens de to feldspatkomponenter var smeltet. Prøve 278702, bunden af Fiskefjord.

10b). Andre 'grå gange' viste lagdelte strukturer med op til omkring 30 individuelle, meget finkornede komponenter.

Disse feltobservationer afslørede to uhyre vigtige træk ved de 'grå gange'. For det første betød den store variation i knusningsgraden og de mange lokale intrusive relationer mellem de forskellige komponenter, at der måtte være tale om en lokalt fokuseret, mange gange gentaget, dvs. oscillerende, coseismisk deformation med 'pure strain'. For det andet måtte årene af kalifeldspat have været smelter, mens deformationen foregik. Argumentet er enkelt. Årene af kalifeldspat kan ikke være dannet tidligere eller senere end de grå gange, da de kun findes inde i dem og langs deres flanker. Årene fandtes allerede under den oscillerende sammentrykning, fordi de er ptygmatiske foldede, men de er samtidig aldeles upåvirkede af selve knusningen. Altså kan de først være krystalliseret efter knusningen.



Fig. 8a–b. Eksempler på sprækkedannelse i de ydre dele af Maniitsoq-strukturen nordøst for smeltezonen. Sprækkerne har fjer- eller buketlignende mønstre i modsætning til normale tektoniske sprækker og aflastningssprækker, som typisk optræder i tre eller fire hovedretninger, der hver for sig består af parallelle sprækker.

Feltobservationerne i 2010 beskæftigede sig med begivenheder, der kun har varet i sekunder eller minutter. Den underliggende metodik er opbygget omkring bjergarter og strukturer, som det har taget naturen millioner af år at skabe, og som er udviklet af fortidens feltgeologer, der ikke havde adgang til moderne laboratorieteknikker. Eksemplet viser, at 'gammeldags' håndværk, mesterlære og brug af simple metoder til iagttagelse stadig er anvendelige i nye sammenhænge.

Mikroteksturer i en fluidiseret mikrobrecie ('grå gang'), som bekræfter og udbygger feltobservationerne, blev præsenteret i fig. 5 i Garde *et al.* (2012a), hvor de visuelle informationer blev understøttet af 'electron backscatter diffraction' (EBSD) billeder og tredimensionel analyse af kornfordelingen og den krystallografiske orientering af kvarts, plagioklas, albit og kalifeldspat. Mønstrene er mere eller mindre de samme som i Finnefeld domænet: plagioklas blev knust, kvarts blev plastisk deformeret, og kalifeldspat blev smeltet. I dette tilfælde blev en albitisk komponent også smeltet ud af plagioklasen (som beskrevet i afsnittet om smeltezonen).

Perifere granitiske intrusioner

Den perifere, sydøstlige del af Maniitsoq-kraterstrukturen indeholder et stort granitisk pluton kaldet Taserssuaq tonalitten, foruden en række domeformede legemer af granodiorit og mindre granitter, som alle har zirkonaldrer på mellem knapt 3000 og 2975 millioner år (se Fig. 1; Garde *et al.* 2000, 2012b; Garde 2007). En ny aldersbestemmelse af Taserssuaq tonalitten på $2994,6 \pm 3,4$ millioner (zirkonalder, bestemt med ionsonde) blev offentliggjort af Scherstén & Garde (2013). Deres feltiagttagelser viste, at værtsbjergarterne til plutonet vest for kontakten bærer tegn på chokmetamorfose og hydrotermal omdannelse, hvorimod selve plutonet er upåvirket af chok og kun i mindre grad er påvirket af hydrotermal omdannelse.

Alle disse granitoide intrusioner kan være opstået som følge af nedslaget, muligvis som følge af en forstyrrelse af de termale forhold i den nedre skorpe på grund af kraterdannelsen, men det er indtil videre ren spekulation.

Mikrostrukturer i Maniitsoq-kraterstrukturens overlevende mineraler: mulige choklameller og andre planære strukturer

Et vigtigt diagnostisk kendetegn for velbevarede kraterstrukturer i den øvre skorpe, hvor mineralerne ikke har været udsat for plastisk deformation, er chokla-

meller, også kaldet 'planar deformation features' (PDF), især i kvarts. Choklameller dannes som meget tætsiddende, mikrometertynde, glasagtige lag langs bestemte, veldefinerede krystallografiske retninger, og ofte ses choklameller i flere retninger i samme korn. Det er velkendt fra blandt andet Sudbury krateret, at choklamellerne ved efterfølgende gennemtrængning af hydrotermale eller metamorfe fluider heles op og igen bliver krystallinske, men efterlader 'tæpper' af tætsiddende, bittesmå fluidinklusioner langs hver enkelt af de oprindelige choklameller. Sådanne mere eller mindre nedbrudte choklameller benævnes 'decorated PDFs'. Per definition dannes choklameller som planære strukturer, da de følger krystallografiske gitterplaner. Chokpåvirkede mineraler kan også indeholde andre planære strukturer kaldet 'planar features' (PF), der ligeledes tolkes som chokstrukturer, foruden uregelmæssige sprækker. For eksempel har zirkon normalt ingen spaltelighed, men ved chokpåvirkning kan der udvikles mere eller mindre tætsiddende, parallelle spalter, der lige som choklameller følger veldefinerede krystallografiske retninger. Ved elektron backscatter diffraktion (EBSD) undersøgelser er det også påvist, at forskellige domæner i chokpåvirkede zirkonkrystaller kan blive forvredet i forhold til hinanden (Moser *et al.* 2011).

I store dele af Maniitsoq-kraterstrukturen har kvarts været genstand for gennemgribende omkrystallisering i forbindelse med deformation og hydrotermal omdannelse. Denne kvarts indeholder ingen usædvanlige planære mikroteksturer. Derimod er der mange planære teksturer i de mest velbevarede kvartskorn fra opsprækkede og delvist knuste, men ikke hydrotermalt omdannede gnejsprøver fra den østlige del af

Maniitsoq-strukturen, og de er blevet grundigt undersøgt (Garde *et al.* 2012a). Resultatet af denne undersøgelse viste, at de dekorerede planære strukturer næsten altid optræder i flere samtidige retninger, og at de fleste af dem nøje følger de krystallografiske orienteringer, som er karakteristiske for choklameller. Imidlertid er alle overlevende kvartskorn i Maniitsoq-strukturen, der er undersøgt til dato, påvirket af efterfølgende plastisk deformation. Kvartskornene har kraftigt undulerende udslukning og består ofte af domæner med lidt forskellig orientering. Derfor fremstår de dekorerede strukturer ikke som strengt planære, selv om de faktisk følger de obligatoriske krystallografiske orienteringer i værtskrystallen, og det er et problem for nogle kraterforskere (Reimold *et al.* 2013). Imidlertid må man indtil videre gå ud fra, at der ved nedslaget blev dannet masser af choklameller i Maniitsoq-kraterstrukturens kvarts på trods af de høje temperatur- og trykforhold, der allerede herskede i Maniitsoq-skorpen dybt under kraterbunden, og de observerede planære strukturer kan meget vel være omdannede choklameller (Garde *et al.* 2012a). Det blev derfor konkluderet, at "its planar elements thus constitute a necessary but currently not diagnostic feature" (Garde *et al.* 2012a).

I øjeblikket undersøges planære strukturer i Maniitsoq-zirkoner, der har undgået hydrotermal omdannelse, i EBSD-laboratoriet ved University of Western Ontario i Canada. En anden undersøgelse af delvist knuste og hydrotermalt omdannede zirkoner fra Finnefjeld domænet er i gang ved Lunds Universitet, Sverige. Også kernerne af plagioklas indeholder meget ofte planære strukturer i form af mikroskopiske indslutninger af jernoxid, albit og kalifeldspat, typisk



Fig. 9. Lokal breccie i orthognejs i den østlige del af smeltezonen med klaster af tidligere deformeret og foldet amfibolit og en granitisk matriks. Der er ingen veldefineret magmatisk intrusion eller tektonisk deformationszone i nærheden, som det ellers typisk ses ved 'endogene' breccier i krystallinske dybbjergarter. Brecciedannelsen tolkes som forårsaget af meteoritnedslaget.

langs polysyntetiske tvillingeplaner, men de er endnu ikke blevet beskrevet nærmere.

Noritbæltet og postkinematiske dioritter

Maniitsoq-kraterstrukturen indeholder også et markant, ca. 75 km langt, krumt bælte bestående af utallige intrusioner af norit. De udgør det såkaldte noritbælte, som smyer sig rundt om den østlige side af Finnefjeld domænet (Fig. 1). Den største intrusion har et tværsnit på ca. 10 km². Noritbæltet har været kendt siden 1960'erne, hvor det blev kortlagt af Kryolitselskabet Øresund A/S. Selskabet fandt også adskillige nikkel-kobber mineraliseringer i noritterne. Et stort

antal lignende, men mindre intrusioner med overvejende dioritisk sammensætning, de såkaldte postkinematiske dioritter (Garde 1991), er spredt ud over de sydlige og sydøstlige dele af kraterstrukturen i afstande på op til 80 km fra centrum.

Noritbæltets bjergarter og deres nikkel-kobbermineraliseringer er kort beskrevet af Garde *et al.* (2013b). Intrusionerne består primært af plagioklas og orthopyroxen, og nogle af dem har nogle specielle, såkaldt proto-orbikulære teksturer, som viser, at de er afkølet hurtigt (Fig. 11a), selv om de blev intruderet på stor dybde. Samtidig er kontaktzonerne til sidestenen ofte meget brede og diffuse, idet der er sket en hybridisering mellem magma og sidesten (Fig. 11b).

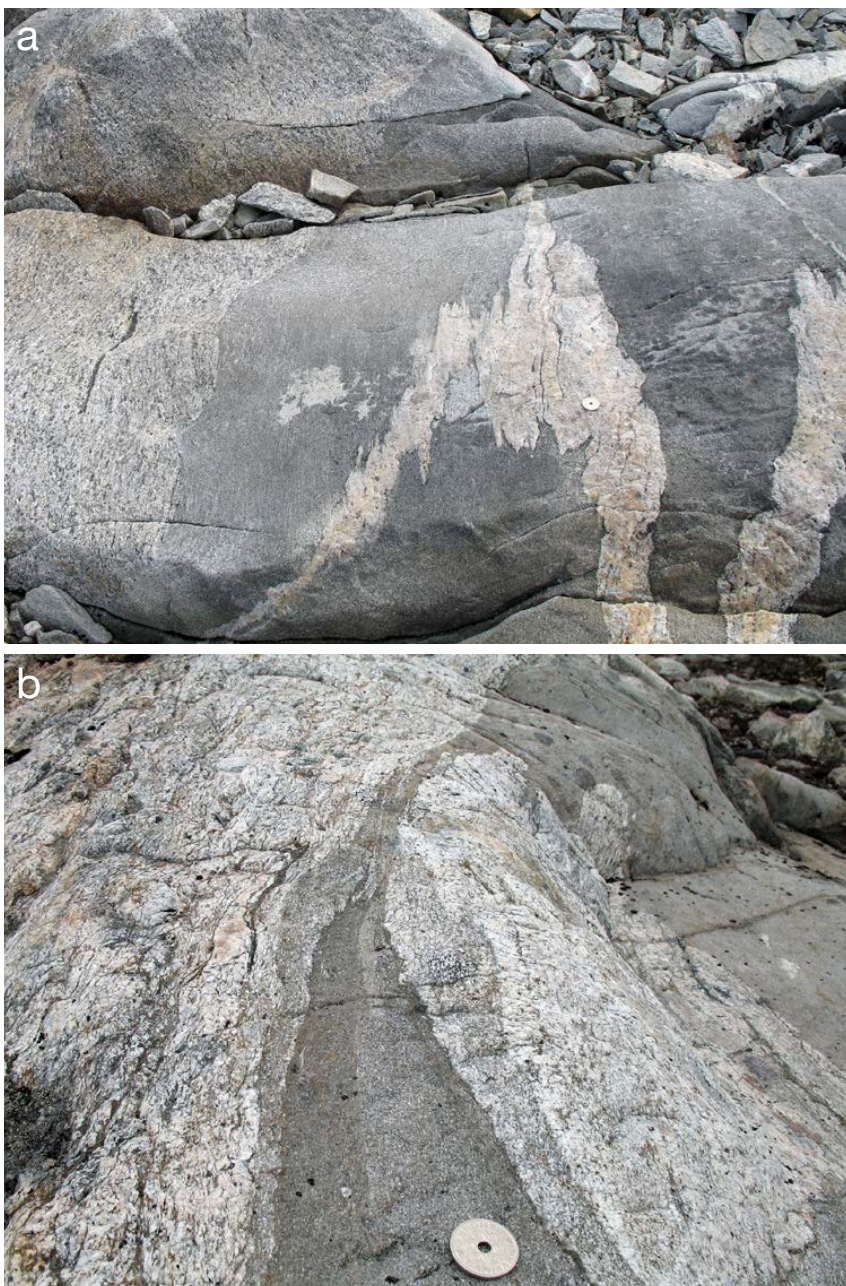


Fig. 10. Fluidiserede mikrobreccier. **a.** Delvist nedknust orthognejs (til venstre) og 'grå gang' af fluidiseret mikrobreccie med en laksefarvet, foldet åre af direkte smeltet kalifeldspat. Åren er ikke knust, og kalifeldspat-komponenten må derfor have været flydende under knusningsprocessen. Separationen fra det øvrige materiale er øjensynligt sket under selve knusnings- og fluidiseringsprocessen, formentlig ved momentan sprækkedannelse og 'filter pressing'. Se nærmere forklaring i teksten. **b.** Fluidiseret mikrobreccie, der består af mange komponenter i forskellige grå farvenuancer med forskellig grad af nedknusning, som er intruderet ind i hinanden. Strukturen og dens mange komponenter viser, at knusningen skete under svingninger i jordskorpen med oscillerende kompression og ekstension.

Det canadiske efterforskningselskab North American Nickel, Inc. (NAN) foretager i øjeblikket efterforskning af flere af noritbæltets nikkel-og kobbermineraliseringer ved hjælp af avancerede, luftbårne geofysiske målinger og kerneboringer. Den fornyede mineralefterforskning er en direkte følge af opdagelsen af kraterstrukturen, som muliggjorde en ny fortolkning af mineraliseringsprocesserne. Sulfidmineraleterne sidder i små lommer mellem silikaterne (Fig. 12a) eller danner sammenhængende netværk, hvor større portioner af sulfidsmelte er separeret ud af den krystalliserende silikatsmelte (Fig. 12b). Man mener, at nikkelindholdet i mineraliseringerne stammer fra olivin, der er smeltet i intrusionernes kildeområde i kappen, og at der under intrusionen af noritmagmaet

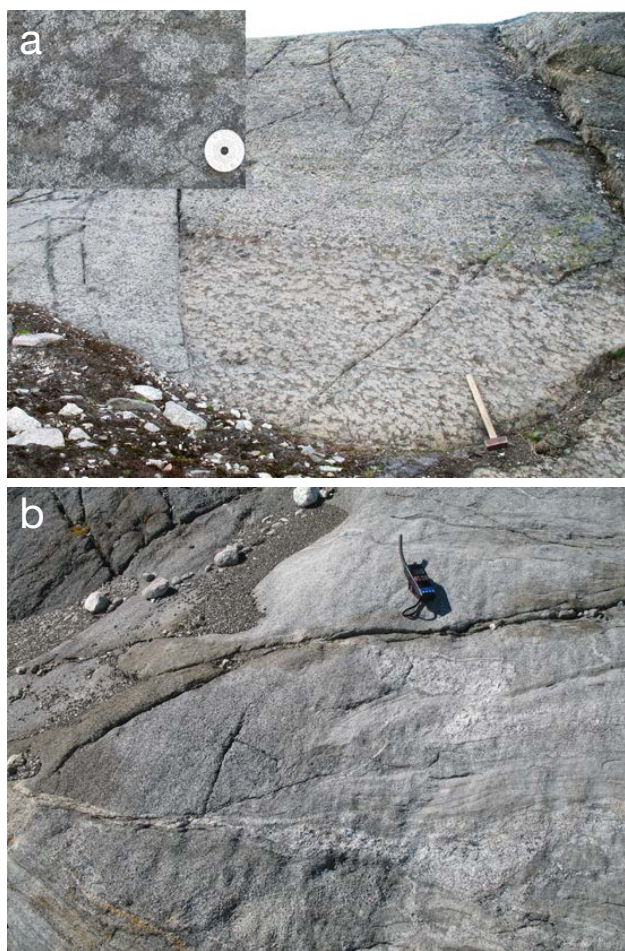


Fig. 11. Feltfotos fra noritbæltet. **a.** Proto-orbikulær struktur, magmatisk lagdeling og lokal forsætning i norit. Mineralteksturen består af op til 10–15 cm store, 'blomkålsagtige' aggregater af radierende plagioklas samt orthopyroxen. Teksturen i plagioklas skyldes afkøling, der var hurtigere end dannelsen af krystalkim. **b.** Hybrid kontaktzone med opsmeltning af værtsbjergarten for noritintrusionen. Sidestenen her er en metamorfoseret, granatførende vulkansk bjergart med andesitisk sammensætning.

er sket en afblanding af en sulfidrig smelte, som har suget metallerne til sig. Den tunge sulfidsmelte havde et lavt smeltepunkt og har derfor kunnet synke nedad og samle sig lokalt, mens den noritiske silikatsmelte var i færd med at størkne.

En oversigt over den kemiske sammensætning af noritbæltets intrusioner og en foreløbig kemisk modellering af de magmatiske processer er netop blevet offentliggjort i en rapport af Kokfelt *et al.* (2013). Noritbæltet er givetvis opstået på grund af udbredt opsmeltning af kappen under Maniitsoq-kraterstrukturen. Forfatterne påviser, at intrusionerne ikke kan være dannet ved almindelige magmatiske assimilationsfraktionerings- og krystallisationsprocesser (såkaldte AFC-processer), som ellers kontrollerer, hvordan magmatiske bjergarter dannes og udvikles. Noritterne har nemlig meget høje indhold af både krom, nikkel og andre siderofile metaller, som er almindelige i Jordens kappe, og af lette sjældne jordarter, som er karakteristiske for udviklede granitoide plutoner i den kontinentale jordskorpe. Disse kombinationer af grundstoffer kan ikke modelleres tilfredsstillende med AFC-processer. Der foreslås derfor en mulig tredelt

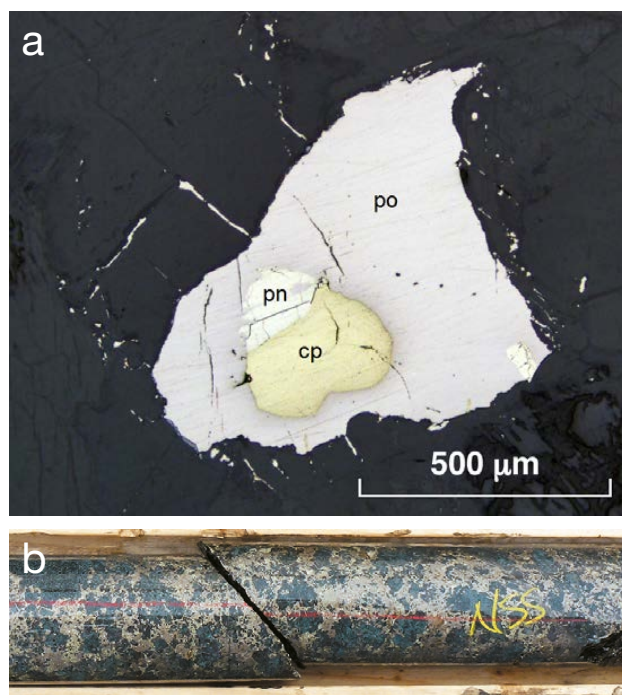


Fig. 12. Sulfidmineralisering i norit. **a.** Lomme i silikatminerale af (forhenværende) sulfidsmelte med udløbere ind i de omgivende silikatminerale. Bagefter er magnetkis, kobberkis og pentlandit afblandet fra smelten og krystalliseret som selvstændige minerale. **b.** Borekærne med sulfidmalm bestående af et sammenhængende netværk af sulfidminerale (fra Garde *et al.* 2013b). Malmen er formentlig opstået ved, at en tung, metalholdig sulfidsmelte er sunket til bunds i intrusionen, mens silikatsmelten krystalliserede.

dannelsesproces (Kokfelt *et al.* 2013). Første trin er en forarmning af kappen i forbindelse med den lokale skorpedannelse mange millioner år inden Maniitsoq-nedslaget. Andet trin er en tilførelse af skorpemateriale til kildeområdet for noritmagmaet i den øvre kappe, som kunne skyldes kraterdannelsen. Tredje trin er en delvis smeltning af det blandede kappe- og skorpemateriale og opstigning og intrusion af noritsmelten i den nedre skorpe.

Man kunne eventuelt forestille sig, at noritbæltet repræsenterer en ophelet revne i jordskorpen, forårsaget af nedslaget. Men hvad er så forklaringen på alle de meget mindre og mere spredte forekomster af postkinematisk diorit? Hvordan skal disse intrusioner sættes i forbindelse med de øvre dele af den oprindelige kraterstruktur og kappen under den? Det er åbne spørgsmål, som indtil videre ikke kan besvares. De fleste eller alle postkinematisk dioritter er sandsynligvis opstået på principielt samme måde som noritterne. En af disse små intrusioner tæt på Finnefjeld domænet har dog et forhøjet indhold af iridium og andre grundstoffer tilhørende platingruppen (PGE). Derfor kan de muligvis, som nævnt ovenfor, indeholde noget af den choksmelte, som formodes at have dækket den oprindelige kraterbund. De meget nøjagtige PGE-analyser, som ligger til grund for denne mulige tolkning, er udført af Iain McDonald, Cardiff University (se Garde *et al.* 2012a).

Hydrotermal omdannelse og omkrystalliseret zirkon

De østlige og sydøstlige dele af Maniitsoq-kraterstrukturen indeholder endnu et vigtigt og meget usædvanligt element, nemlig en vidt udbredt, meget intens og ofte total hydrotermal omdannelse, som er foregået under amfibolit-facies betingelser under høje temperatur- og trykforhold, og som tilsyneladende også har været ledsaget af omfattende smeltning, hjulpet af de vandige fluider. En kvalitativ beskrivelse af nogle af omdannelsesfænomenerne kan findes i Garde (1990, 1997), hvor de blev tolket som resultatet af retrograde, endogene metamorfe processer. Disse bjergartsomdannelser fortjener en mere dybtgående og kvantitativ

undersøgelse og vil ikke blive behandlet nærmere her.

Scherstén & Garde (2013) undersøgte zirkoner fra den østlige del af Maniitsoq-strukturen og fandt, at alle zirkonerne i dette område var stærkt påvirkede af den hydrotermale omdannelse. Aldersbestemmelser af de omdannede zirkoner fra flere forskellige prøver indsamlet op til 50 km fra hinanden gav alle nøjagtig samme alder på $3000,9 \pm 1.9$ millioner år (en fælles aldersbestemmelse baseret på 37 målinger i fem forskellige prøver). De hydrotermalt omdannede zirkoner indeholder indeslutninger af forskellige Na-Ca-Al-silikater og baddeleyit (zirkoniumdioxid, ZrO_2), som tyder på omdannelse under påvirkning af en varm, alkalisk fluid fase (Leverenz 2011). Scherstén & Garde (2013) forestiller sig, at det oprindelige krater efter nedslaget blev fyldt med havvand, og at der opstod hydrotermale cirkulationsceller, som rakte dybt ned i den opsprækkede jordskorpe. En synopsis af deres tolkning af zirkonernes historie er vist i Fig. 13.

Relationer mellem chok og knusning i Maniitsoq-kraterstrukturen

En simpel forklaring på, hvad der sker i løbet af det første sekund efter et ekstraterrestrisk nedslag, kan for eksempel findes i en bog af B.M. French fra 1998, som frit kan hentes på internettet fra Lunar and Planetary Institute, Houston, Texas, U.S.A. Ved kontakten mellem det indtrængende objekt og målområdet opstår der momentant en kompressiv chokbølge i hvert legeme. Chokbølgen afløses i løbet af en brøkdæl af et sekund af en modsat rettet aflastningsbølge, hvorved chokbølgens enorme tryk afløses af ekspansion, og temperaturen kortvarigt stiger voldsomt. Aflastningsbølgen forårsager smeltning og fordampning i den midterste del af målområdet. Længere væk udløser den choklameller i for eksempel kvarts samt direkte smeltning af enkeltminerale, som det ses med især kalifeldspat i Maniitsoq-kraterstrukturen.

De oscillatoriske knusningsfænomener både i og

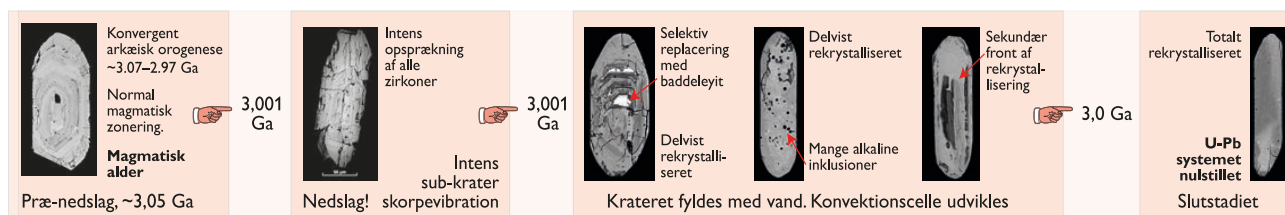


Fig. 13. Skematisk tolkning af den hydrotermale zirkon-omdannelsesproces beskrevet af Scherstén & Garde (2013). Figuren stammer fra en poster.

uden for Finnefjeld domænet kan ikke tilskrives hverken selve chok- eller aflastningsbølgen, men må skyldes seismiske rystelser i jordskorpen udløst af chokbølgen. Forfatteren er kun bekendt med en enkelt beskrivelse af lignende knusningsfænomener i en kraterstruktur, nemlig i den lille Upheaval Dome med en diameter på blot 5 km i Utah, U.S.A., hvor kvartskornene i en sandsten er revet fra hinanden og er blevet fluidiseret (Kenkmann 2003). Derimod er det velkendt, at store jordskælv kan igangsætte svingninger i jordskorpen (Park *et al.* 2005). Intens, men meget lokal deformation med dannelse af planære strukturer i zirkon er faktisk observeret i den dybe skorpe (for eksempel Austrheim & Corfu 2009) og blev fortolket som relateret til forkastningsaktivitet.

Imidlertid er Maniitsoq-kraterstrukturen ikke planær men tilnærmet cirkulær, og den har regionale dimensioner. Eksperimenter under månelandinger og studier af fordelingen af kraterstørrelser på asteroider har påvist, at nedslag kan medføre seismiske svingninger, og det anslås, at frekvensen af sådanne svingninger i asteroider kan være op til omkring 50 Hz (Richardson *et al.* 2005). Det har også været foreslået, men aldrig påvist i virkelige kraterstrukturer, at koncentriske seismiske svingninger (under navnet 'acoustic fluidisation') kan være en vigtig mekanisme til at flytte større bjergartsmasser fra centrum ud mod periferien under dannelsen af store kraterstrukturer i minutterne efter selve nedslaget (Melosh & Ivanov 1999). Hvis man nu forestiller sig voldsomme oscillatoriske svingninger i jordskorpen umiddelbart efter et meget stort nedslag, vil der i dybden opstå et pladsproblem, fordi svingningerne ikke mødes af en fri overflade. I den dybe skorpe ville sådanne svingninger formentlig kunne kompenseres udefter af elastisk og plastisk deformation, men indadtil ville de blive fokuseret og formentlig hurtigt føre til indadrettet cirkulær deformation med omfattende knusning og kollaps af skorpens sammenhængskraft i kernen af strukturen. Forfatteren har ikke forudsætninger til at diskutere sådanne fysiske processer mere konkret, men noterer blot, at knusningsprocesserne i plagioklas, den plastiske deformation i kvarts og smeltningen af kalifeldspat tilsyneladende er fuldt ud kompatible med, eller måske snarere kun kan forklares ved passagen af en chokbølge samt umiddelbart efterfølgende oscillatoriske svingninger i den nedre skorpe.

Hvordan blev kraterstrukturen ved Maniitsoq fundet?

Mange af Jordens kraterstrukturer er blevet fundet ved systematisk afsøgning af topografiske, geologiske

og geofysiske kort, flyfotos og satellitbilleder for cirkulære strukturer og derefter påvisning af 'ground truth' i form af chokmetamorfose af mineraler, smelte- og brecciedannelser og specielle geokemiske anomalier. Denne metode er fra omkring 1960 med held blevet anvendt i skjoldområder som Canada, Sverige, Finland og Vestaustralien, hvor de fleste kraterstrukturer er fundet.

Ved Maniitsoq blev der ikke ledt efter noget krater. Som nævnt i indledningen blev den endogene geologiske udvikling styret af pladetektoniske processer, som i den sydlige del af kraterstrukturen er ret godt undersøgt. Området ligner for så vidt mange andre midt- til senarkæiske skjoldområder og kan i hovedtræk sammenlignes med de formodede rødder af nutidens store øbuesystemer, for eksempel i fjernøsten.

En samlet beskrivelse af grundfjeldsområdet omkring Fiskefjord blev offentliggjort for ca. 15 år siden (Garde 1997). I årene derefter blev forfatteren efterhånden mere og mere opmærksom på, at nogle af områdets geologiske fænomener absolut ikke hører til i et deformeret og metamorfoseret øbuekompleks, og at ikke alle hans tolkninger fra 1997 kunne være korrekte. Det drejede sig dengang især om 1) den alt for intense 'metamorfe retrogradering' (dvs. den hydrotermale omdannelse), 2) den koncentriske struktur sydøst for Maniitsoq med en 'granit' i midten, som ses på det regionale geologiske kort fra 1982 (Allaart 1982), 3) et statistisk signifikant sammenfald af radiometriske aldre på 2975 millioner år fra forskellige granitter i området, 4) noritbæltets krumme form og beliggenhed og den usædvanlige kemiske sammensætning af noritter og postkinematiske dioritter, og 5) den boninitiske sammensætning af de palæoproterozoiske doleritgange i området.

Ideen om en kraterstruktur blev præsenteret første gang på en intern workshop i Nuuk den 7. september 2009, arrangeret af det grønlandske efterforsknings-selskab NunaMinerals A/S. Selskabets direktør Ole Christiansen havde bedt forfatteren om at give et regionalt overblik over Maniitsoq-regionen i forbindelse med selskabets efterforskning efter nikkelminaliseringer, og det blev den direkte anledning til at se nærmere på de fænomener, som forfatteren indtil da ikke havde kunnet forklare for sig selv på tilfredsstillende vis. Ideen om en mulig kraterstruktur havde længe ligget på lur, men han havde holdt den passiv og i skjul for ikke at gøre sig selv til grin blandt fagfæller. Den allerførste test bestod i en henvendelse til en kollega, geofysikeren Thorkild M. Rasmussen, torsdag den 3. september 2009. Han lavede på stedet et udtræk af geofysiske data, som viste en stor, omtrent cirkulær aeromagnetisk anomali sydøst for Maniitsoq. Ideen om en kraterstruktur blev præsenteret nogle dage senere på workshoppen i Nuuk, og et samarbejde med

en anden af deltagerne, Iain McDonald fra Cardiff University, U.K., blev hurtigt indledt. Det meste af det videre forløb fremgår af denne artikel. Det er værd at bemærke, at to af de oprindelige antagelser fra 2009 langt fra var korrekte. Der er ingen central granit i Maniitsoq strukturen, men som beskrevet ovenfor en helt speciel knusnings- og deformationszone, og kraterstrukturens alder er ikke 2975 men (mindst) 3001 millioner år (Scherstén & Garde 2013).

Det skal også nævnes, at det var vanskeligt og krævede flere forsøg at nå frem til optagelse af den første artikel om kraterstrukturen. Det skyldes to forhold, som begge på godt og ondt afspejler den videnskabelige proces. For det første tog det tid at forstå, beskrive og dokumentere nogle af de vigtigste elementer i strukturen tilstrækkelig godt til, at de kunne fremstå som solide og seriøse for udenforstående. For det andet svingede bedømmelserne af de første, afviste manuskripter mellem forsigtighed, begejstring, afvisning med forslag om mere arbejde, og total afvisning uden videnskabelig begrundelse. Forfatteren har også flere gange været mødt med total, nærmest religiøs afvisning fra visse deltagere på konferencer. Det er fortsat en udfordring, men mest fordi kraterstrukturen stadig kun er delvist beskrevet.

Nogle perspektiver

Maniitsoq-kraterstrukturen må blot være en af flere store, gamle kraterstrukturer, der gemmer sig i Jordens dybt nederoderede, meget gamle skjoldområder eller i senere bjergkædedannelser, hvor de på forskellig vis er blevet påvirket af andre geologiske hændelser. Maniitsoq-fundet må helt naturligt medføre, at de 'gældende regler' for identifikation af meteoritkratere tages op til revision, og at der anlægges en mindre dogmatisk og bredere funderet videnskabelig metode til at verificere kraterstrukturer. Kriterierne for genkendelse og bekræftelse af kraterstrukturer må fremover udformes således, at de også kan håndtere meget store og dybt nederoderede tilfælde. Det vil sige, hvor værtsbjergarterne allerede var opvarmede og under højt tryk ved nedslaget, og hvor de bevarede bjergarter under den oprindelige kraterbund er blevet deformeret, enten i forbindelse med selve chokpåvirkningen eller på et senere tidspunkt. Der er brug for den viden om Jordens og jordskorpens udvikling, som disse ukendte strukturer kan bidrage med.

Maniitsoq er i øjeblikket den ældste kraterstruktur, der kendes på Jorden, og er den eneste kendte kraterstruktur, hvor en intens, chokrelateret oscillation og nærmest total knusning af jordskorpen dybt under kraterbunden hidtil er påvist. Strukturen bygger også

bro til endnu ældre 'spherule beds' og dermed tilbage mod 'the Late Heavy Bombardment'.

De dybe dele af den tredimensionelle kraterstruktur, som i dag er blotlagt ved Maniitsoq, kan bruges som forlæg for computermodellering af andre, tilsvarende energirige nedslag, som må have fundet sted tidligt i Jordens historie. I denne sammenhæng er det relevant, at mindre kraterdannelsers struktur ikke kan opskaleres lineært, på grund af Jordens kraftige tyngdefelt (Ivanov & Melosh 2003). Under dannelsen af små kratere udslynges en forholdsvis stor del af nedslagsområdet materiale, og det endelige krater forbliver skålformet. Ved større nedslag udslynges forholdsvis mindre materiale, men der fjernes alligevel så meget, at der dannes en central hævnings ved gravitativ kompensation. Ved meget store nedslag som ved Maniitsoq må det formodes, at der udslynges en forholdsvis endnu mindre mængde materiale, men at der til gengæld sker en større fordampning på grund af den høje kinetiske energi.

Det er måske urealistisk at forestille sig, at de nederoderede rester af Maniitsoq-kraterstrukturen gemmer på oplysninger om sammensætningen og oprindelsen af det indkommende projektil. Til gengæld repræsenterer den intense hydrotermale omdannelse i kraterstrukturen et reservoir, hvor den kemiske og isotopmæssige sammensætning af Jordens havvand i midtarkæisk tid muligvis kan udtrækkes fra hydrerede mineraler som biotit. Endelig repræsenterer Maniitsoq-strukturens noritbælte en ny klasse af magmatiske nikkel-kobbermineraliseringer forårsaget af meteoritnedslag. Erfaringer viser, at kun få mineralforekomster ender med at blive udnyttet kommercielt, selv om de langt ind i efterforskningsprocessen kan se lovende ud. Tiden vil vise, om noritbæltets nikkel-kobberforekomster vil få økonomisk betydning for indbyggerne i Maniitsoq og Grønlands befolkning som helhed.

Tak

Forfatteren vil gerne rette en varm tak til DGF's bestyrelse for tildelingen af Danmarks Geologipris i marts 2013 og for opfordringen til at skrive denne oversigt over Maniitsoq-kraterstrukturen, selv om en sådan oversigt på det nuværende stadie i udforskningen kun kan blive ufuldstændig og mangelfuld. Forfatteren takker også både samarbejdspartnere og kritikere for deres forskelligartede bidrag til en bedre forståelse af kraterstrukturen, Carlsbergfondet for støtte til feltarbejde i 2010 og 2011, og ledelsen af De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland for institutionens uforbeholdne støtte til arbejdet med kraterstrukturen. Der er fortsat meget at undersøge.

Referencer

- Allaart, J.H. 1982: Geological Map of Greenland. 1:500 000 Sheet 2, Frederikshåb Isblink–Søndre Strømfjord. Copenhagen: Geological Survey of Greenland.
- Allaart, J.H., Friend, C.R.L., Hall, R.P., Jensen, S.B. & Roberts, I.W.N. 1978: Continued 1:500 000 reconnaissance mapping in the Precambrian of the Sukkertoppen region, southern West Greenland. *Rapport Grønlands Geologiske Undersøgelse* 90, 50–54.
- Austrheim, H. & Corfu, F. 2009: Formation of planar deformation features (PDFs) in zircon during coseismic faulting and an evaluation of potential effects on U–Pb systematics. *Chemical geology* 261, 25–31.
- Berthelsen, A. 1960: Structural studies in the Precambrian of western Greenland. II. Geology of Tovqussap nunâ. *Bulletin Grønlands Geologiske Undersøgelse* 25, 223 pp.
- Berthelsen, A. 1962: Structural studies on the Precambrian of western Greenland. III. Southern Sukkertoppen district. *Bulletin Grønlands Geologiske Undersøgelse* 31, 47 pp. (Også Meddelelser om Grønland 123(2)).
- Bridgwater, D., Keto, L., McGregor, V.R. & Myers, J.S. 1976: Archaean gneiss complex of Greenland. In: Escher, A. & Watt, W.S. (eds.): *Geology of Greenland*, 18–75. Copenhagen: Geological Survey of Greenland.
- French, B.M. 1998: *Traces of catastrophe: a handbook of shock-metamorphic effects in terrestrial meteorite impact craters*. Lunar and Planetary Institute, Houston, Texas, 120 pp. (Contribution CB-954).
- French, B.M. & Koeberl, C. 2010: The convincing identification of terrestrial meteorite impact structures: what works, what doesn't, and why. *Earth-Science Reviews* 98, 123–170.
- Garde, A.A. 1990: Thermal granulite-facies metamorphism with diffuse retrogression in Archaean orthogneisses, Fiskefjord, southern West Greenland. *Journal of Metamorphic Geology* 8, 663–682.
- Garde, A.A. 1991: Post-kinematic diorite intrusions in Archaean basement rocks around outer Fiskefjord, southern West Greenland. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 39, 167–177.
- Garde, A.A. 1997: Accretion and evolution of an Archaean high-grade grey gneiss – amphibolite complex: the Fiskefjord area, southern West Greenland. *Geology of Greenland Survey Bulletin* 177, 115 pp.
- Garde, A.A. 2007: A mid-Archaean island arc complex in the eastern Akia terrane, Godthåbsfjord, southern West Greenland. *Journal of the Geological Society (London)* 164, 565–579.
- Garde, A.A. & Haack, H. 2013: Kraterstrukturer, meteoritter og chokeffekter: -trusler og gaver fra rummet. *Geoviden – Geologi og Geografi* 2013 nr. 2, 20 pp.
- Garde, A.A., Friend, C.R.L., Nutman, A.P. & Marker, M. 2000: Rapid maturation and stabilisation of middle Archaean continental crust: the Akia terrane, southern West Greenland. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 47, 1–27.
- Garde, A.A., Ivanov, B.A. & McDonald, I. 2011: Beyond Vredefort, Sudbury and Chicxulub. *Meteoritics & Planetary Science* 46 (supplement 5249), A73.
- Garde, A.A., McDonald, I., Dyck, B. & Keulen, N. 2012a: Searching for giant, ancient impact structures on Earth: the Mesoarchaean Maniitsoq structure, West Greenland. *Earth and Planetary Science Letters* 337–338, 197–210.
- Garde, A.A., Whitehouse, M. & Christensen, R. 2012b: Mesoarchaean epithermal gold mineralization preserved at upper amphibolite-facies grade, Qussuk, southern West Greenland. *Economic Geology* 107, 881–908.
- Garde, A. A., McDonald, I., Dyck, B. & Keulen, N. 2013a: Reply on “Searching for giant, ancient impact structures on Earth: The Mesoarchaean Maniitsoq structure, West Greenland” by Garde *et al.* [*Earth and Planetary Science Letters* 337–338: 197–210]. *Earth and Planetary Science Letters* 369–370, 336–343.
- Garde, A. A., Pattison, J., Kokfelt, T.F., McDonald, I. & Secher, K. 2013b: The norite belt in the Mesoarchaean Maniitsoq structure, southern West Greenland: Conduit-type Ni-Cu mineralisation in impact-triggered, mantle-derived intrusions? *Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin* 28, 45–48.
- Glikson, A.Y. i trykken: The asteroid impact connection of planetary evolution with special reference to large Precambrian and Australian impacts, 149 pp. Dordrecht: Springer.
- Gibson, R.L. & Reimold, W.U. 2008: *Geology of the Vredefort impact structure: a guide to sites of interest*. Council for Geoscience, Pretoria, Memoir 97, 181 pp.
- Hall, R.P. & Hughes, D. 1987: Noritic dykes of southern West Greenland: early Proterozoic boninitic magmatism. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 97, 169–182.
- Ivanov, B.A. & Melosh, J. 2003: Impacts do not initiate volcanic eruptions: eruptions close to the crater. *Geology* 31, 869–872.
- Jones, A.P., Price, G.D., Price, N.J., De Carli, P.S. & Clegg, R.A. 2002: Impact induced melting and the development of large igneous provinces. *Earth and Planetary Science Letters* 202, 551–561.

- Kenkmann, T. 2003: Dike formation, cataclastic flow, and rock fluidization during impact cratering: an example from the Upheaval Dome structure, Utah. *Earth and Planetary Science Letters* 214, 43–58.
- Kokfelt, T.F., Garde, A.A. & McDonald, I. 2013: Ni-mineralised norites and post-kinematic diorites in the Maniitsoq structure, southern West Greenland: Evidence for impact-related intrusion and source modification. *Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2013/97*, 15–28.
- Lana, C., Gibson, R.L. & Reimold, W.U. 2003: Impact tectonics in the core of the Vredefort dome, South Africa: implications for central uplift formation in very large impact structures. *Meteoritics & Planetary Science* 38, 1093–1107.
- Larsen, L.M. & Rex, D.C. 1992: A review of the 2500 Ma span of alkaline-ultramafic, potassic and carbonatitic magmatism in West Greenland. *Lithos* 28, 367–402.
- Lewerentz, A. 2011: Experimental zircon alteration and baddeleyite formation in silica saturated systems: implications for dating hydrothermal events. *Dissertations in Geology at Lund University, Master's thesis Nr. 293*, 56 pp.
- Lowe, D.R., Byerly, G.R., Kyte, F.T., Shukolyukov, A., Asaro, F. & Krull, A. 2003: Spherule beds 3.47–3.24 billion years old in the Barberton Greenstone Belt, South Africa: a record of large meteorite impacts and their influence on early crustal and biological evolution. *Astrobiology* 3, 7–48.
- Marker, M. & Garde, A. A. 1988: Border relations between the amphibolite facies Finnefjeld gneiss complex and granulite facies grey gneisses in the Fiskefjord area, southern West Greenland. *Rapport Grønlands Geologiske Undersøgelse* 140, 49–54.
- Melosh, H.J. & Ivanov, B.A. 1999: Impact crater collapse. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 27, 385–415.
- Moser, D.E., Cupelli, C.L., Barker, I.R., Flowers, R.M., Bowman, J.R., Wooden, J. & Hart, J.R. 2011: New zircon shock phenomena and their use for dating and reconstruction of large impact structures revealed by electron nanobeam (EBSD, CL, EDS) and isotopic U–Pb and (U–Th)/He analysis of the Vredefort dome. *Canadian Journal of Earth Sciences* 48, 117–139.
- Nielsen, T.F.D., Jensen, S.M., Secher, K. & Sand, K.K., 2009: Distribution of kimberlite and aillikite in the Diamond Province of southern West Greenland: A regional perspective based on groundmass mineral chemistry and bulk compositions. *Lithos* 112S, 358–371
- Park, J., Song, T.A., Tromp, J., Okal, E., Stein, S., Roullet, G., Clevede, E., Laske, G., Kanamori, H., Davis, P., Berger, J., Braitenberg, C., Van Camp, M., Lei, X., Sun, H., Xu, H. & Rosat, S. 2005: Earth's free oscillations excited by the 26 December 2004 Sumatra-Andaman earthquake. *Science* 308, 1139–1144.
- Reimold, W.U., Gibson, R.L. & Koeberl, C. 2013: Comment on "Searching for giant, ancient impact structures on Earth: The Mesoarchaean Maniitsoq structure, West Greenland" by Garde *et al.* [*Earth Planet. Sci. Lett.* 337–338 (2012) 197–210]. *Earth and Planetary Science Letters* 369–370, 333–335.
- Richardson, J.E., Melosh, H.J., Greenberg, R.J. & O'Brien, D.P. 2005: The global effects of impact-induced seismic activity on fractured asteroid surface morphology. *Icarus* 179, 325–349.
- Ryder, G. 1991: Accretion and bombardment in the early Earth-Moon system: the lunar record. *Lunar and Planetary Science Institute, Contribution* 746, 42–43.
- Scherstén, A. & Garde, A.A. 2013: Complete hydrothermal re-equilibration of zircon in the Maniitsoq structure, West Greenland: a 3001 Ma minimum age of impact? *Meteoritics & Planetary Science* 48, 1472–1498.
- Shoemaker, E.M. & Chao, E.C.T. 1961: New evidence for the impact origin of the Ries Basin, Bavaria, Germany. *Journal of Geophysical Research* 66, 3371–3378.
- Simonson, B.M. & Glass, B.P. 2004: Spherule layers – records of ancient impacts. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 32, 329–361.
- Windley, B.F. & Garde, A.A. 2009: Arc-generated blocks with crustal sections in the North Atlantic craton of West Greenland: Crustal growth in the Archean with modern analogues. *Earth-Science Reviews* 93, 1–30.

Danske landskaber

Bog anmeldelse af: Jørgen Jensen & Lars Norman: Danske landskaber

Udgivet af Gyldendal, 2014, 345 sider

ISBN 978-87-02-15362-0

Pris: 399,95 kr. (vejledende)

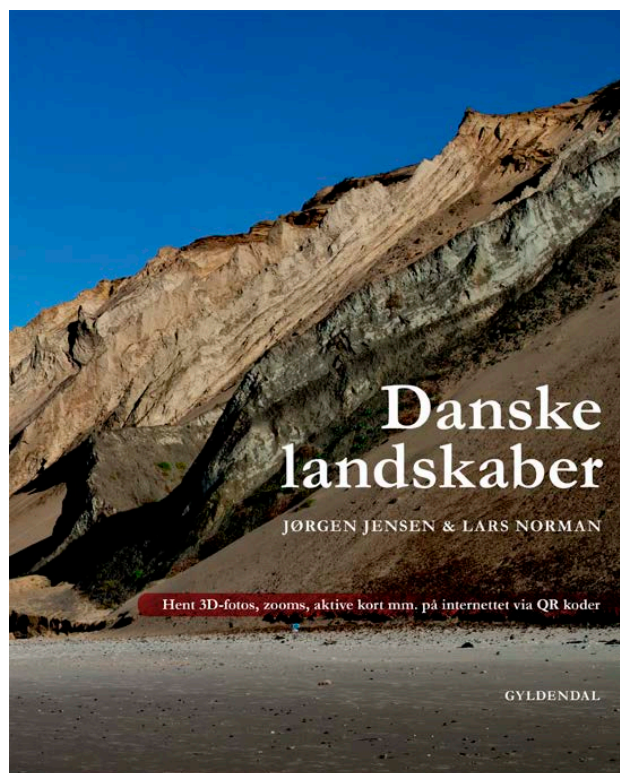
AF OLE BENNIKE, GEUS

Selv om Danmark kun er et lille land har vi en forbløffende stor mangfoldighed af landskaber, som er et resultat af naturens kræfter (især is og vand) og i de sidste 6000 år desuden af menneskets virke. Ikke mindst den lange kystlinje med blandt andet kystklinter er et særkende for Danmark.

Danske landskaber fortæller i 14 kapitler om: landskaber i granit og gnejs, landskaber i kridt og kalk, landskaber med moler, bakkeøer, tunneldale og åsbakker, smeltevandsflader, moræneflader, randmoræner, dødisbakker og hatbakker, moræneklinter, hævet havbund, klitlandskaber, druknede landskaber og Vadehavet samt odder. Det undrer mig, at forfatterne foretrækker ordet åsbakker i stedet for åse. De fleste åse har jo form som en vold eller ryg snarere end som en bakke. Det undrer mig også, at forfatterne næsten ikke bruger ordet kystklint, men blot skriver klint. Kystklinter fra Stenalderhavet kaldes i bogen Littorinaskrænter. Bogen handler ikke om kulturlandskabet, men mange af bogens fotos viser dog tydelige spor af menneskers påvirkninger. Der er flere fotos af strandenge, men det nævnes ikke at strandenge er et resultat af afgræsning og således er et kulturprodukt. Våde strandenge vil blive omdannet til rørsumpe hvis græsning ophører, mens tørre strandenge vil blive dækket af krat eller skov.

Bogen viser landskaber, der er fotograferet gennem de fire årstider – de fleste dog om sommeren. Ind imellem landskabsbillederne er der også en del fotos af planter, dyr, fossiler og kultur-steder. Man kunne naturligvis hævde, at bogen er rigelig tyk og burde nøjes med at vise landskaber. Men personligt synes jeg, at det er et plus, og jeg nød fotos af kronhorte, sandløbere, stor gøgeurt, molerfossiler og Ribe.

Danske landskaber er forsynet med en række QR koder, som man kan skanne med en smartphone, en tablet eller en PC hvis den er forsynet med et kamera. Jeg synes dog ikke, at denne del af værket fungerer godt. Det virker ikke helt gennemtænkt eller helt gennemført, og jeg sidder med en følelse af, at forlaget



har ønsket dette for at vise, at man følger med den digitale udvikling – og at man har ønsket at indfange yngre læsere. Men i mange tilfælde får man blot det samme billede en gang til. Naturligvis kan man zoome ind og se detaljer, men i forvejen er billederne store og skarpe, så det får man ikke rigtigt noget ud af, især ikke hvis man sidder med en smartphone med en lille skærm. En del af disse koder har i bogen undertitlen "linjer i landskab", men det er svært at se de linjer, der hentydes til. I andre tilfælde bliver man lovet 3D fotos, for eksempel af flyvesand, men så er det bare en lille bunke sand, der er fotograferet fra flere sider. En kode har undertitlen "udbredelse af klitter", men i første omgang dukker der kun et kort over Danmark op. For at komme videre skal man

trykke på menu og derefter på klitlandskaber – og så opdager man at kortet kun viser udvalgte store kystnære klitlandskaber. Eller man bliver lovet "udbredelse af hævet havbund" (side 210), men her er kortet imidlertid stærkt misvisende, det viser både områder med hævet havbund og inddæmmede områder, og det ser ud, som om der findes store områder med hævet havbund på for eksempel Lolland og Falster. Læseren kan derfor få indtryk af, at landhævningen har været kraftigere end havniveaustigningen i hele landet.

I afsnittet: Danmarks relative landhævning og landsenkning (side 214) forsøger forfatterne at forklare hvordan det hænger sammen med de relative havniveauændringer, men det er de desværre sluppet uheldigt fra. Allerede titlen på afsnittet er uheldig: Landhævningen var ikke relativ, og der var næppe landsenkning i Danmark efter sidste istid. Det er ændringerne i havniveau i forhold til landet der er relative. I afsnittet skriver forfatterne at "Landet hævede sig både mod nord og syd – en bevægelse der stadig foregår". Men lidt længere nede i teksten står der: "Samtidig sænkedes Lolland-Falster, det sydlige Fyn og Sønderjylland". På side 280 hører vi, at "Syddanmark hæver sig imidlertid mindre end havet stiger". Det er således uklart, om forfatterne mener, at der findes landsenkning i Danmark. Formentlig har vi ikke landsenkning i Danmark, men hvis vi har, er det så lidt, at det næppe kan medvirke til at forklare landskabsdannelsen i Danmark, ligesom det heller ikke forklarer, hvorfor vi har submarine bopladser og træstubbe.

I *Danske landskaber* er der vist fotos af en "gammel kystklint" (side 204) og en "Littorinaskrænt" (side 223). Det er imidlertid meget svært at se disse fossile klinter for bare træer. Et af problemerne med at iagttage de danske landskaber er, at trævækst breder sig mere og mere. For hundrede år siden var der i Danmark en stor bestand af arbejdsheste, som krævede store arealer med græs, men hestene blev erstattede med traktorer. Men der var dog stadig en stor bestand af kvæg og store områder med enge. I de senere årtier er det imidlertid blevet mere og mere almindeligt at holde kvæget på stald året rundt, og de kreaturer der går på græs, kan slet ikke holde landskabet åbent. I bogen oplyses det, at "Omkring år 1900 havde man ca. 1 mio. får i Danmark, i dag er der henved 100.000 får." Hvis man sammenligner fotos af landskaber fra den tidlige geologiske kortlægning i Danmark med situationen i dag, kan man tydeligt se, hvordan landskabet er blevet mere og mere bevokset med træer.

På side 136 er der vist et foto af en kvist af stilk-eg. Figurteksten siger blandt andet "Stilk-eg er et af de første træer der bredte sig ved sidste istids ophør". Under sidste istid overlevede de fleste danske træer i

Sydeuropa, og de begyndte hurtigt at brede sig nordpå efter sidste istids maksimum. Men det varede mange årtusinder før stilk-eg kom til Danmark; de første træer der kom til Danmark var dun-birk, bævreasp, skovfyr, vorte-birk og hassel.

På side 34 får vi at vide, at der yngler ca. 2500 par ederfugle på Christiansø og Frederiksø nord-øst for Bornholm. Det er dog 15 år siden, at bestanden var så stor. I 2008 var der kun ca. 1000 par, men siden er det atter gået noget frem.

Bogens format er 255 mm (højde) gange 235 mm (bredde), og mange fotos breder sig over to sider, hvilket betyder, at landskaberne fremstår rigtigt flot. Men da bogen er indbundet opstår der en markant spaltedal ned gennem en dobbeltside og det skæmmer mange af disse fotos. For eksempel er Højerup Kirke ved Stevns Klint (side 58–59) skåret igennem på uheldig vis, og det samme gælder en kvie ved Roskilde Fjord (side 216–217).

I skolen lærte jeg at Danmark er et land fattigt på råstoffer, og dette udsagn gentages også i bogen (side 88: "Danmark hører ikke til blandt de lande, der kan prale af store mængder råstoffer i jordbunden"). Men Danmarks velfærd bygger i høj grad på indtægter fra olie og gas i Nordsøen, så jo: vi kan godt prale af særdeles værdifulde råstoffer i undergrunden.

Fjorde har fået en temmelig stedmoderlig behandling i bogen. Ordet fjord optræder ikke i indholdsfortegnelse eller i register, men i afsnittet om tunneldale er der et foto af Mariager Fjord, og det nævnes at Vejle Fjord ved munden er en 5 kilometer bred tunneldal. Det er dog svært at forestille sig, at en så stor fjord er dannet som en simpel tunnel i isen. Moser har ligeledes kun fået få ord og fotos med på vejen. Der er enkelte fotos og noter om Lille Vildmose og Store Vildmose, men de gemmer sig under afsnittet om hævet havbund. Læseren får ikke at vide, at mange moser, så som Holmegård Mose eller Store Åmose, er dannet ved tilgroning af søer, ligesom vi ikke hører om lavmoser.

Danske landskaber er forsynet med et omfattende stikordsregister, hvilket er en god hjælp til læseren. Men jeg tror, at mange læsere vil savne en geologisk tidstavle. Her skulle sidste istid, Weichsel, begynde ved ca. 115.000 år før nu, ikke ved 70.000 år før nu som forfatterne skriver. Det er også uheldigt at sidste istids afslutning er sat til ca. 11.500 år på side 92, men 11.700 år på side 97. Den mest præcise datering vi har i dag siger 11.703 år før AD 2000 – med en vis usikkerhed. Det er dog kun få og små fejl jeg har opdaget, og det er uundgåeligt, at der opstår fejl når man giver sig i kast med at skrive sådan en bog, der fagligt spænder bredt. I øvrigt er jeg ikke faldet over en eneste stavfejl. En anden ting jeg savner, er kort – der er ikke et eneste kort i bogen, hverken topografiske, geomorfologiske

eller geologiske kort. Jeg synes også at fotos af blomstrende planter kunne forsynes med en dato i figurteksten. Der er også en litteraturliste med 18 numre, hvoraf dog 4 er bøger om planter. Der er ikke henvisning til en mindre bog som GEUS har udgivet med titlen: Danske Landskaber, et billedatlas. Der er heller ikke henvisning til det fremragende værk Danmarks Natur, som blev udgivet af Politikens Forlag.

Bogen har masser af fremragende fotos, men det er lidt uklart for mig, hvem der er målgruppen. I forordet skriver forfatterne at "Det er bogens sigte at lære læseren at "at læse" landskaberne...", men hvis den skulle bruges til undervisning mangler der illustrative tegninger, diagrammer og kort. For eksempel er der flere fotos af krumodder i bogen, men ingen af dem viser tydeligt krumoddens karakteristiske form.

Her ville en skitse eller et kortudsnit være en stor hjælp. Bogen er mest velegnet for folk, der er interesserede i geografi og geologi, men den kan bestemt også bruges af folk, der er interesserede i naturen mere generelt, og som gerne vil lære om landskaberne. Den bør findes i ethvert bibliotek på landets seminarier, gymnasier og skoler, samt på folkebiblioteker og hos lærere, der underviser i geografi. Bogen kan også bruges som et smukt billedværk, hvor man kan nyde, se eller gense eksempler på vores smukke landskaber. Bogen omfatter ikke en guide til lokaliteter, men jeg tror alligevel, at mange læsere vil blive inspirerede til at tage på biltur eller cykeltur ud i det dejlige danske landskab.

Ole Bennike

Dansk Geologisk Forenings bestyrelses beretning for 2014

Denne beretning er en kort gennemgang af Dansk Geologisk Forenings aktiviteter og arrangementer i det forgangne år. Beretningen afsluttes med en kort opgørelse over medlemstal og kontingentsatser samt en liste over foreningens sponsorer i 2014.

Bestyrelse og sekretariat

Ved Dansk Geologisk Forenings (DGF) årsmøde og efterfølgende generalforsamling lørdag den 29. marts 2014 blev der afholdt valg til bestyrelsen, som herefter kom til at se således ud: Karen Hanghøj (formand), GEUS; Jørgen Overgaard Leth, GEUS (næstformand); Joakim Stiel Korshøj, GEO (kasserer); Tanni Abramowitz, DONG Energy; Benedicte Grøtner, studerende, Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning (IGN), KU (under studieophold i det meste af perioden og repræsenteret ved substitut Catharina Frost); Sara Hoffritz, GEUS; Tod Waight, IGN, KU; Paul Martin Holm, IGN, KU; Nicolaj Krog Larsen, Institut for Geoscience, AU; Anette Petersen, GEON; Jette Sørensen, VIA University College Horsens og Mahtab Yamininia, Mærsk Olie og Gas.

Sekretær for foreningen er Maja Bar Rasmussen som er geologistuderende ved IGN. Sekretariatet har til huse i Mødelokale 6 på IGN, KU, Øster Voldgade 10, 1350 København K. Ved henvendelse til foreningen gennem sekretariatet benyttes e-mail-adressen dgfemail@gmail.com. Denne e-mail læses regelmæssigt, men ikke dagligt, af sekretæren.

Der gøres opmærksom på, at Jette Sørensen ud over at sidde i DGF's bestyrelse også sidder i rådet og bestyrelsen for Nationalpark Mols Bjerge. Anette Petersen er DGF's repræsentant i Det Grønne Kontaktudvalg.

Publikationer

Bulletin of the Geological Society of Denmark

DGF's tidsskrift med fagfællebedømmelse (peer-review) 'Bulletin of the Geological Society of Denmark' (eller blot 'Bulletinen') indeholdt i 2014 fem artikler (i alt 104 sider), som frit kan hentes på foreningens hjemmeside (www.2dgm.dk). Artiklerne er forfattet af Rønsbo *et al.*, Schwartz-Wings *et al.*, Katerinopoulou *et al.*, Weinreich & Cuny, samt Jelby *et al.* (se listen over udgivelser).

Artiklerne udgives løbende i takt med, at de bliver accepteret. Ved årets udgang bliver årgangen samlet i et bind, der kan hentes i sin helhed sammen med omslaget. Bulletinen redigeres fortsat professionelt af chefredaktør Lotte Melchior Larsen, GEUS. En grundig redaktionel proces er grundlaget for den kvalitet, som er nødvendig for at opretholde Bulletinens status.

Geologisk Tidsskrift

Formålet med Geologisk Tidsskrift, der udkommer på dansk, er anderledes end for Bulletinen, idet fokus er at gøre geologisk viden tilgængelig for et bredt, fagligt interesseret publikum og ikke kun for eksperter. Chefredaktør for Geologisk Tidsskrift er Ole Bennike, GEUS.

I 2014 er Geologisk Tidsskrift udkommet med en artikel om Maniitsoq-strukturen i Vestgrønland, en boganmeldelse samt bestyrelsens beretning for 2013 (se listen over udgivelser). I lighed med Bulletinen udgives artiklerne løbende, og de kan frit hentes på hjemmesiden.

Facebook, LinkedIn og hjemmesiden

DGF's side på Facebook har vist sig at være meget effektiv til annoncering af de faglige arrangementer, og mange (nok især studentermedlemmer) bruger hyppigt denne side til at orientere sig om aktiviteter i foreningen. I 2014 har bestyrelsen yderligere etableret en LinkedIn side for DGF, hvor nyheder om arrange-

menter, og diverse relevante historier og links deles. Der er i øjeblikket 375 der følger DGF på Facebook og 121 på LinkedIn. Hjemmesiden benyttes også i stadig stigende grad som det fremgår af Fig. 1 og 2. Alle arrangementer annonceres her (med enkelte svipsere) og mange benytter siden til at hente digitale versioner af Bulletinen og Geologisk Tidsskrift. Bestyrelsen har igangsat arbejdet med en ny hjemmeside som forventes lanceret i løbet af foråret 2015.

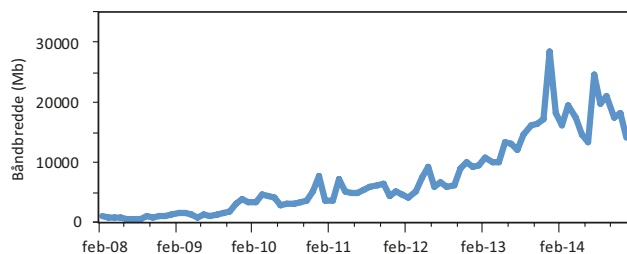


Fig. 1. Båndbredden på www.2dgf.dk fra oktober 2008 til december 2014. Båndbredden er et udtryk for datatrafikken på hjemmesiden.

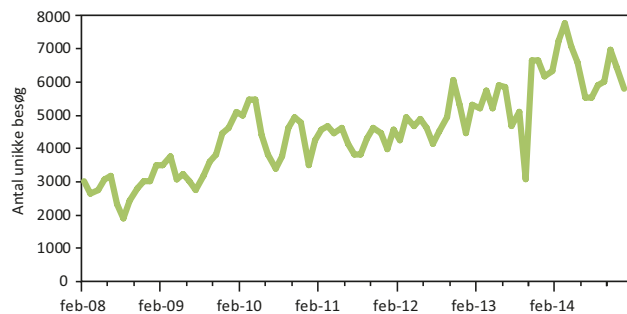


Fig. 2. Udviklingen af de såkaldte 'unikke besøg' på www.2dgf.dk. 'Unikke besøg' viser, hvor mange forskellige besøgende der gæster hjemmesiden.

Arrangementer

Der laves ikke statistik på deltagelse i arrangementer, men der er generelt mange medlemmer som møder op til foreningens arrangementer. Der er i 2014 afholdt flere arrangementer i Aarhus og København. Den liste, som ses nedenfor, er taget fra www.2dgf.dk, hvor man løbende kan opdatere sig vedrørende kommende og afholdte arrangementer.

Temamøde om råstoffer – muligheder og begrænsninger

Torsdag d. 30. januar 2014 kl. 13–16, GEUS, København
Oplægsholdere: Laura Addington, Naturstyrelsen; Christian Abildtrup, NCC Roads; Peter Rank, Danske Regioner og Jakob Qvortrup Christensen, Niras.

Årsmøde og generalforsamling

29. marts 2014, Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Geocentret, København

Oplægsholdere: Martin Breum, journalist DR og forfatter; Christopher Jacob Ries, PhD og forfatter; Lars Stemmerik, professor, Statens Naturhistoriske Museum, leder af Centre for Cross-disciplinary Chalk Research (C³); Per Kalvig, Centerleder MiMa – Videncenter for Mineralske Råstoffer og Materialer (GEUS); Karsten Høeg Jensen, professor, Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, København, leder af Villum Kann Rasmussen Centre of Excellence HOBE; Christian Tegner, professor, Institut for Geoscience, Aarhus Universitet.

Desuden blev der præsenteret i alt seks posters af speciale og phd. studerende fra Københavns Universitet.

Ekskursion til Island

30. juni til 10. juli 2014

Ekskursionsledere: Paul Martin Holm, Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet og Johanne Schmidt, Nordisk Vulkanologisk Center, Islands Universitet, Reykjavik. Turen arrangeredes af Benedicte Grøtner i samarbejde med turlederne. Ekskursionen havde til formål at demonstrere aktive geologiske processer og landskaber under opbygning. Tyve medlemmer deltog spændende fra førstårsstuderende til pensionister. Det ikke altid perfekte vejr udgjorde ingen hindring for at ekskursionen blev en stor succes, og præsenterede Island fra den yngste holocæne vulkanisme ved Mývatn, Krafla og på Reykjanes til de ældste miocæne plateaubasalter i Vestfjorderne.

Sprudlende lavafontæner og rødglødende lavastrømme – helt tæt på Bárðarbunga vulkanudbruddet i Island

20. oktober 2014, GeoCenter Danmark, København
Oplægsholder: Johanne Schmith Nordvulk Fellow, PhD-student University of Iceland.

Geologens muligheder. Et arrangement for geologistuderende og nyuddannede. Projektmesse og foredrag

28. november 2014, Festsalen, Inst. for Geovidenskab og Naturforvaltning, Øster Voldgade 10, Kbh. K
Projektmesse: Muligheder for bachelor- og specialeprojekter, virksomhedsprojekter, evt. studiejobs mv. med repræsentanter fra IGN, GEUS, Statens Naturhistoriske Museum, HCØ, Geo, Rambøll, Grøntmij, COWI, Mærsk, DONG, EKJ Rådgivende Ingeniører, med flere.
Oplægsholdere: Lone Toelstrup Karlby, geolog hos COWI; Anja Fonseca, vejrvært for DR; Bjarne Siewertsen, Web editor i DMI; Anders Haumann, geolog hos

COWI; Martin Sønderholm, geolog hos DONG; Karen Hanghøj, afdelingsleder på GEUS; Bent Lindow, formidlingsmedarbejder på Statens Naturhistoriske Museum.

Trees and forests as geo-engineers of past and future climates

4. december 2014, Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Geocentret, København

Oplægsholder: David J. Beerling, University of Sheffield

Alken Enge – et geo-arkæologisk hotspot

10. december 2014, Institut for Geoscience, Aarhus Universitet

Oplægsholdere: Mads Kähler Holst, Institut for Kultur og Samfund – Forhistorisk Arkæologi, Aarhus Universitet, Bent Odgaard, Institut for Geoscience, Aarhus Universitet; Niels Emil Søe, Institut for Geoscience, Aarhus Universitet

Petrologisk Klub

Der blev holdt 9 frokostmøder i 2014 med foredrag af gæster, samt ansatte i Geocenteret, og med deltagelse af typisk 10–30 personer.

Nationalpark Mols Bjerge

Dansk Geologisk Forening har indtil 2013 siddet med i bestyrelsen for Nationalpark Mols Bjerge repræsenteret ved geolog Jette Sørensen. I slutningen af 2013 var der udskiftning af halvdelen af medlemmerne i Nationalparkens bestyrelse og i 2014 udpegning af nye medlemmer til Nationalparkrådet. Dansk Geologisk Forening fik atter en plads i Nationalparkrådet v. geolog Jette Sørensen, der efterfølgende blev udpeget til medlem af Nationalparkbestyrelsen for Nationalparkrådet. Det faglige arbejde i Nationalparken foregår overvejende i en række udvalg og herunder Naturudvalget, hvor natur og geologi varetages. Dansk Geologisk Forenings repræsentant i bestyrelse og råd er formand for Naturudvalget og har i den forbindelse deltaget i en række konferencer og møder vedrørende naturarbejdet. Der er i 2014 igangsat et projekt med kortlægning af de største istransporterede blokke i Nationalparken og herunder udskrevet en konkurrence for Nationalparkens beboere. Desuden er de tre projekter, der blev igangsat i slutningen af 2013 under udførelse. Det drejer sig om 1) digital landskabsmodel, 2) seismisk kortlægning af Mols Bjerge og 3) vegetationsanalyse af borekerne fra Agri Sø. Projekterne forventes afsluttet i 2015.

Det Grønne Kontaktudvalg

DGF har siden 2013 været medlem af det grønne kontaktudvalg (DGK)*. I 2014 har der, udover de ordinære møder, været afholdt et møde i august 2014, med miljøminister Kirsten Brosbøl om Vand- og Naturplaner og om regeringens friluftspolitik. DGK havde på mødet lejlighed til at fremhæve ønsker om klare mål og strategier for naturen i Danmark, et nationalt naturnetværk, en national naturfond og bedre beskyttelse af naturarealer.

DGKs væsentligste aktiviteter i 2014 var afsendelse af et brev til Margrethe Vestager (tidligere økonomi- og indenrigsminister) med opfordring om at finansiere dele af den danske natur-, miljø- og klimaindsats, afsendelse af et brev til fødevareminister Dan Jørgensen om dyrevelfærd i forbindelse med dyr der dræbes i høstmaskiner, og en henvendelse til Folketingets Kulturudvalg. Sidstnævnte var i forbindelse med et medieforlig og udtrykte ønske om at få den danske natur tilbage på TV-kanalernes sendeflade. Mange af de spektakulære naturudsendinger vi bliver præsenteret for er udenlandsk produceret og Danmarks natur er oftest fraværende på TV.

*Forum stiftet for ca. 30 år siden, for frivillige grønne organisationer. Formål med DGK er at de grønne organisationer får lejlighed til at holde hinanden orienteret om de enkelte foreningers tiltag organisationsmæssigt og på den politiske front, således at fælles indsats koordineres. DGK optræder også af og til samlet over for politikere og pressen, via høringssvar, pressemeddelelser og afholder 1–2 årlige møder med miljøministeren og fødevareministeren.

Danmarks Geologipris

Under festmiddagen efter årsmødet den 29. marts 2014 blev Danmarks Geologipris uddelt af direktør for GEUS Johnny Fredericia. Prisen blev givet til Christian Tegner, AU. Ved overrækkelsen udtalte Johnny Fredericia blandt andet: "Christian du har givet os en øget forståelse af nogle vigtige processer i gamle vulkankamre, der ikke blot er spændende – men også af betydning for at forstå forekomsten af værdifulde mineraler, deres mængde og udbredelsen i sådanne intrusioner." Dette citat såvel som en mere uddybende begrundelse for tildelingen af prisen kan findes på DGF's hjemmeside (www.2dgf.dk).

Medlemmer og kontingent

Kontingentsatserne er i 2014 fastholdt på 350 kr. for ordinære medlemmer og 150 kr. for studentermedlemmer. Det skal bemærkes, at der betales et administrationsgebyr på 50 kr. hvis ens betaling ikke er tilmeldt PBS. Medlemstallet øges samlet set stadig. Ved udgangen af 2014 lå antallet af ordinære, betalende medlemmer på 440 mod 425 i 2013. Antallet af studentermedlemmer steg til 204 fra 147 i 2013. DGF har tre livsvarige medlemmer samt syv firmaer og institutioner som medlemmer. 112 medlemmer er kontingentfrie. Det totale medlemstal er således nu oppe på 766.

Sponsorer

Bidrag fra sponsorer er essentielt for, at DGF kan fastholde et højt aktivitetsniveau samtidig med, at kontingentsatserne holdes på et rimeligt niveau for ordinære medlemmer og på et lavt niveau for studentermedlemmer. Årsmødet med efterfølgende middag udgør en væsentlig udgiftspost i foreningens budget, og dette møde er specielt afhængigt af sponsorstøtte. DGF takker sine sponsorer i 2014 (i alfabetisk rækkefølge): DONG Energy, Geo, Hess, Mærsk Olie og Gas, Rambøll, Shell Olie- og Gasudvinding Danmark.



Udgivelser i 2014

- Bennike, O. 2014: Danske landskaber af Jørgen Jensen & Lars Norman, boganmeldelse. *Geologisk Tidsskrift* 2014, 19–21.
- Garde, A. 2014: Maniitsoq-strukturen i Vestgrønland: De dybt nederoderede rester af Jordens ældste kendte meteoritkrater. *Geologisk Tidsskrift* 2014, 1–18.
- Carlsen, A.W. & Cuny, G. 2014: A study of the sharks and rays from the Lillebælt Clay (Early–Middle Eocene) of Denmark, and their palaeoecology. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 62, 39–88.
- Jelby, M.E., Thibault, N., Surlyk, F., Ullmann, C.V., Harlou, R. & Korte, C. 2014: The lower Maastrichtian Hvidskud succession, Møns Klint, Denmark: calcareous nannofossil biostratigraphy, carbon isotope stratigraphy, and bulk and brachiopod oxygen isotopes. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 62, 89–104.
- Katerinopoulou, A., Balic-Zunic, T., Kolb, J., Berger, A. & Secher, K. 2014: Manganiferous minerals of the epidote group from the Archaean basement of West Greenland. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 62, 27–37.
- Rønsbo, J.G., Sørensen, H., Roda-Robles, E., Fontan, F. & Monchoux, P. 2014: Rinkite–nacareniobsite–(Ce) solid solution series and hainite from the Ilímaussaq alkaline complex: occurrence and compositional variation. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 62, 1–15.
- Schwarz-Wings, D., Milàn, J. & Gravesen, P. 2014: A new eusuchian (Crocodylia) tooth from the Early or Middle Paleocene, with a description of the Early–Middle Paleocene boundary succession at Gemmas Allé, Copenhagen, Denmark. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 62, 17–26.

Bestyrelsen, 28. februar, 2015

Indhold:

Adam A. Gaarde: Maniitsoq-strukturen i Vestgrønland: De dybt nederoderede rester af Jordens ældste kendte meteoritkrater	1
Jørgen Jensen & Lars Norman: Boganmeldelse af Danske landskaber	19
Bestyrelsens beretning for 2014.....	22