

# **En økonomisk geologisk undersøgelse af området mellem Ameralik fjord (64° 00') og Sermiligaarsuk fjord (61° 30') Sydvestgrønland**

En orientering om de opnåede resultater  
fra en 3-årig indsats

Per Kalvig & Leif Thorning (redaktion)



**En økonomisk geologisk undersøgelse af  
området mellem Ameralik fjord (64° 00')  
og Sermiligaarsuk fjord (61° 30')  
Sydvestgrønland**

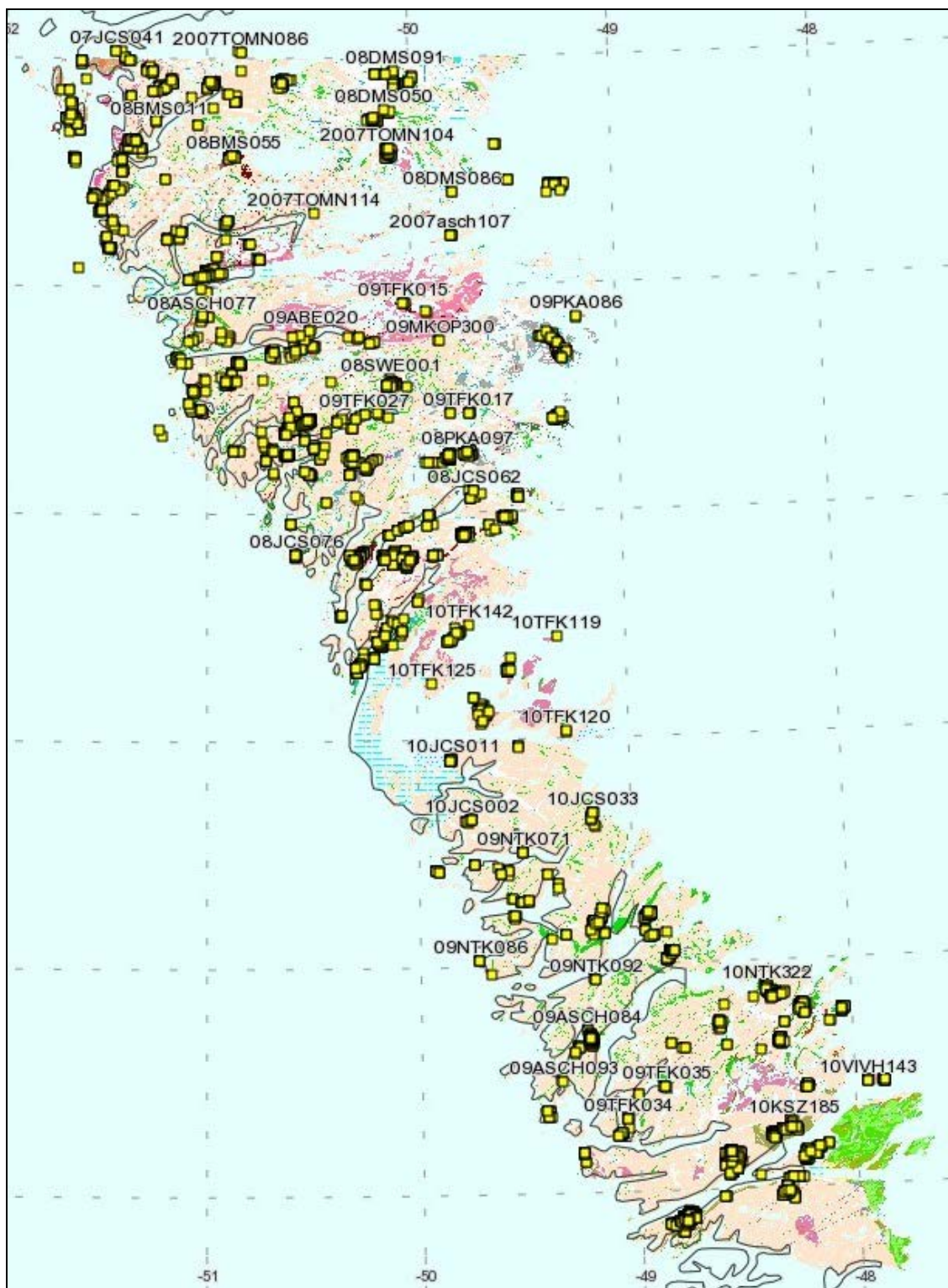
En orientering om de opnåede resultater  
fra en 3-årig indsats

Samarbejdsprojekt mellem Råstofdirektoratet og  
De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland

Per Kalvig & Leif Thorning (redaktion)

# INDHOLDSFORTEGNELSE

|           |                                                                                         |           |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.</b> | <b>Hvad har samfundet fået ud af indsatsen?</b>                                         | <b>5</b>  |
| <b>2.</b> | <b>Formål med undersøgelserne</b>                                                       | <b>6</b>  |
| <b>3.</b> | <b>Geologisk kortlægningsprojekt</b>                                                    | <b>8</b>  |
| 3.1       | Sammenfatning.....                                                                      | 8         |
| 3.2       | Baggrund .....                                                                          | 8         |
| 3.3       | Nyt digitalt geologisk kort for Sydvestgrønland på internettet .....                    | 9         |
| 3.4       | Datering af geologiske processer.....                                                   | 10        |
| 3.5       | De suprakrustale bjergarter.....                                                        | 11        |
| 3.6       | Temperaturforhold dybt i Jordens skorpe .....                                           | 11        |
| 3.7       | Dannelse af rubiner.....                                                                | 14        |
| 3.8       | Eksempler på feltundersøgelser .....                                                    | 14        |
| 3.9       | Forskningssamarbejde.....                                                               | 16        |
| 3.10      | Publikationer og formidling .....                                                       | 17        |
| <b>4.</b> | <b>Har metalforekomster 'fingeraftryk' som kan bruges til at finde nye forekomster?</b> | <b>18</b> |
| 4.1       | Sammenfatning.....                                                                      | 18        |
| 4.2       | Baggrund .....                                                                          | 18        |
| 4.3       | Metoden.....                                                                            | 19        |
| 4.4       | Igangværende og fremtidige arbejder .....                                               | 23        |
| 4.5       | Forskningssamarbejde.....                                                               | 23        |
| <b>5.</b> | <b>Vurdering af efterforskningsmuligheder og geologiske forhold i Sydvestgrønland</b>   | <b>24</b> |
| 5.1       | Sammenfatning.....                                                                      | 24        |
| 5.2       | Resultater.....                                                                         | 24        |
| 5.3       | Igangværende forskningssamarbejde .....                                                 | 29        |
| 5.4       | Afsluttede forskningsprojekter.....                                                     | 29        |
| <b>6.</b> | <b>Er der økonomiske platingruppe (PGE) forekomster i området?</b>                      | <b>30</b> |
| 6.1       | Sammenfatning.....                                                                      | 30        |
| 6.2       | Baggrund .....                                                                          | 30        |
| 6.3       | Formål.....                                                                             | 30        |
| 6.4       | Resultater.....                                                                         | 31        |
| <b>7.</b> | <b>Resultater af undersøgelserne i form af publikationer og præsentationer</b>          | <b>34</b> |



**Figur 1.** Geologisk kort for det undersøgte område mellem 61°30' og 64°N med angivelse af de besøgte områder (gule firkanter). Kortet kan hentes på <http://geuskort.geus.dk/gisfarm/svgrl>.

# 1. Hvad har samfundet fået ud af indsatsen?

De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS) og Råstofdirektoratet (RD) har i samarbejde med danske og udenlandske forskningsinstitutioner gennemført et 3-årigt geologisk forskningsprojekt af et område i Sydvestgrønland. Rapportering af geologiske forskningsprojekter sker almindeligvis i form af videnskabelige artikler, som skrives i et fagsprog, der sikrer, at alle forhold er korrekt beskrevet. Altså specialisternes interne sprog. Men denne videnskabelige form er ikke egnet, når målet er at informere offentligheden om, hvad samfundet har fået ud af indsatsen. Denne rapport forsøger at råde bod på dette ved at bruge et mere enkelt sprog, som dog er præcist nok til, at alment geologisk interesserede også vil kunne få noget ud af at læse rapporten.

Nedenfor har vi sammenfattet *de umiddelbart målelige og registrerbare resultater* af forskningssamarbejdet – vel vidende, at en del af samfundets 'udbytte' af forskningsindsatsen først vil kunne spores om flere år – eksempelvis i form af flere minerallicenser i området. Andre resultater af indsatsen vil måske aldrig komme Grønland direkte til gode; forskningsresultaterne fra Grønland vil blive brugt af andre forskere i andre lande i deres forsøg på at finde nye mineralforekomster. Helt på samme måde som vi bruger andre forskeres resultater til at finde økonomiske mineraler i Grønland. Sådan er det i internationalt anlagt forskningsarbejde. Der kan derfor ikke laves en egentlig costbenefit-analyse af indsatsen, da nogle af effekterne måske først viser sig om mange år og måske kun indirekte.

Men blandt de konkrete og målelige resultater – *som det ser ud per januar 2011* – kan blandt andet nævnes:

- Digitalt opdateret geologiske kort, med en lang række faciliteter, som kan bruges af både mineralefterforskningselskaber og geologiske forskningsinstitutioner.
- Mere end 70 videnskabelige afhandlinger og konference bidrag..
- Der er udannet 2 bachelorer, 4 kandidater og 3 phd'er.
- Ny geologisk viden som bruges direkte i markedsføring af Grønlands mineraler på internationale messer og kongresser.
- Fem nye minerallicenser for guld og platin inden for det undersøgte område.

Derudover er der kommet værdifuld viden, som både kan bruges til opfølgende undersøgelser i området, og som kan forbedre GEUS' indsats andre steder i Grønland.

Rapporten beskriver de fire største del-projekter, hvorfor de blev sat i gang, hvordan arbejdet blev udført og eksempler på de opnåede resultater.

Der er brugt omkring 25.000 forskertimer og omkring 30 mio. kroner til at gennemføre projektet; hertil kommer et betydeligt bidrag fra danske og udenlandske forsknings-samarbejdspartnere, som ikke har fået deres tid honoreret. GEUS og Råstofdirektoratet har afholdt omkostningerne til projektet.

## 2. Formål med undersøgelserne

Råstofdirektoratets Mineralstrategi fra 2004 påpeger nødvendigheden af at øge den konkrete viden om vigtige mineraliseringsområder – metallogenetiske provinser – til et sådant niveau, at efterforskningsselskaberne kan bruge denne viden i deres fortsatte arbejde. RD's strategi bygger på international erfaring om, at tilgængelig og detaljeret geologisk viden om et område er en forudsætning for at kunne tiltrække mineindustriens interesse. Favorabel geologi og store råstofpotentialer findes i mange lande. Derfor er der behov for særlige indsatser for at gøre den internationale mineindustri opmærksom på de råstoffer, som findes i Grønland, og derved øge sandsynligheden for investeringer. Den globale efterspørgsel efter råstoffer er stigende, og det er vigtigt at gøre opmærksom på de muligheder, der ligger i Grønland på en kvalificeret og indsigtsfuld måde.

Som led i arbejdet med at gøre Grønland til et eftertragtet efterforskningsområde indgik Råstofdirektoratet og GEUS i 2007 en forskningsaftale om i perioden 2008 – 2010 at gennemføre et forskningsprogram for Sydvestgrønland, strækkende sig fra området mellem Ameralik fjord (64° 00') i nord til Sermiligaarsuk fjord (61° 30') i syd. De overordnede formål var

1. at øge den konkrete geologiske viden i dette område,
2. at øge kendskabet til mineralske råstoffer i området, samt
3. at stille denne viden til rådighed for alle brugere af geologiske informationer, herunder den internationale mineindustri, på en let tilgængelig måde.

Overskriften for det geologiske arbejde har været *Mineral Ressource Assessment*, det vil sige, at områdets kendte mineralforekomster vurderes og områdets *mulige/sandsynlige* mineralforekomster opgøres; på baggrund af en detaljeret forståelse af områdets geologi, herunder en udredning af områdets geologiske historie. Projektet har derfor involveret mange forskellige geologiske eksperter, fra ind- og udland, som i tværvideenskabeligt samarbejde har tilvejebragt ny viden om områdets mineralpotentiale. Denne viden foreligger nu i form af mange rapporter og videnskabelige artikler rettet mod den internationale forsknings- og efterforskningsverden – og ikke mindst som et revideret digitalt geologisk kort over området. Nærværende rapport giver et overblik over det udførte arbejde med henblik på at orientere den interesserede offentlighed i Grønland; rapporten er derfor tilstræbt skrevet til ikke-geologer.

Principper for og omfanget af undersøgelserne er afstemt i forhold til de økonomiske og praktiske rammer. Eksempelvis er der gennemført tre feltarbejdsprogrammer (2008, 2009 og 2010) med deltagelse af 35 geologer og logistik personale, som har arbejdet ud fra baselejre i Buksefjorden, Fiskeræset- og Paamiut-området. Rammerne har ikke muliggjort en detaljeret undersøgelse af hver kvadratkilometer. Derfor har feltarbejdet været koncentreret om særlige nøglelokaliteter, som har været brugt til at danne en større forståelsesramme eller til vurdering af særlige mineraliseringer. Ud fra et sådant materiale kan potentielt interesserede efterforskningsselskaber få et indtryk af områdets generelle potentiale.

Logistikken for sådanne undersøgelser er omfattende. Transport i området blev udført med helikopter, kutter og lokale både. Der er taget mere end 10 tons videnskabelige prøver, som er analyseret både i GEUS, hos forskningssamarbejdspartnere og i laboratorier rundt om i verden. Den forskning, der er udført på grundlag af det analytiske arbejde, har allerede ført til videnskabelige artikler – og dette arbejde vil fortsat pågå over de kommende år.

Lige så væsentligt er det, at digitale data og informationer fra regionen nu er gennemarbejdede og tilgængelige for efterforskningsindustrien, som fremover vil have lettere ved at påbegynde egne projekter i området, ofte inspireret af de modeller og den nye viden, som de offentligt finansierede aktiviteter har fremskaffet.

Indsatsen i Sydvestgrønland har af praktiske grunde været opdelt i flere projekter, med hvert deres faglige fokus. Denne rapport beskriver kortfattet nogle af de aktiviteter, der er gennemført i fire store projekter, og præsenterer de opnåede resultater.

I 2011 vil den nye videnskabelige forståelse af geologien i denne del af Grønland blive fremlagt ved internationale kongresser, og interessen for Grønlands mineralske ressourcer vil derved forhåbentligt øges yderligere. Samtidig skifter Råstofdirektoratets og GEUS' fokus til Sydøstgrønland, som geologisk set er meget lidt undersøgt, men forventes at have en del lighedspunkter med Sydvestgrønland. Her vil GEUS og samarbejdspartnere de næste tre – fire år gennemføre tilsvarende feltprojekter for yderligere at forbedre den samlede geologiske viden om de mineralske ressourcer i Grønland.

## 3. Geologisk kortlægningsprojekt

*Af Thomas F. Kokfelt og Nynke Keulen*

### 3.1 Sammenfatning

Der er gennemført et geologisk kortlægningsprojekt i området mellem Ameralik fjord og Semiligaarsuk fjord. På grundlag af en omfattende forskningsindsats, er områdets geologi sat ind i en moderne geologisk forståelsesramme. Dette har gjort det muligt at revidere de eksisterende geologiske kort og at fremstille et digitalt geologisk kort. Det digitale kort er tilgængeligt på internettet og har en række faciliteter, så brugere af geologiske kort – eksempelvis efterforskningsselskaberne – let kan skaffe sig væsentlig geologisk information om et givet delområde.

I de nedenstående afsnit gennemgås nogle af de geologiske problemstillinger, som holdet har arbejdet med.

### 3.2 Baggrund

Formålet med kortlægningsprojektet var at producere ny geologisk viden om grundfjeldet i Sydvestgrønland – som er dannet i Jordens tidligste historie, det såkaldte Arkæikum - og at formidle denne viden til brugere af geologisk information. Der er udført geologisk feltarbejde i 2008-10, og området er gentolket på basis af moderne geologiske principper og analysemetoder, hvor både eksisterende kort og data og de nye data indsamlet i projektet er blevet anvendt. Hovedproduktet i projektet er et opdateret digitalt geologisk kort for Sydvestgrønland mellem 64° 00' og 61° 30'N i skala 1:100.000.

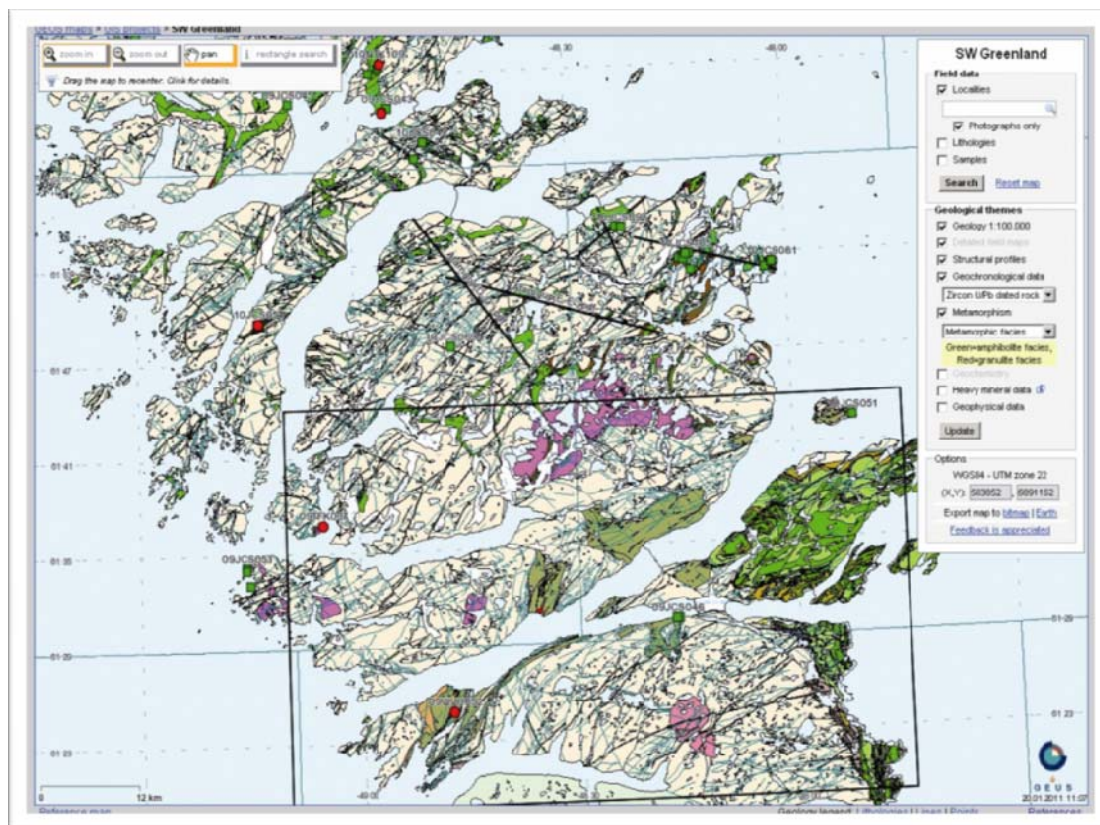
Det geologiske kortlægningsprojekt beskæftiger sig med området mellem Ameralik fjord (64° 00'N) og Sermiligaarsuk fjord (61° 30'N). Området blev oprindeligt kortlagt af Grønlands Geologiske Undersøgelser (GGU) i slutningen af 1960'erne og begyndelsen af 1970'erne, og der blev dengang udarbejdet ti geologiske kortblade i skala 1:100.000.

De nye feltundersøgelser viste, at den oprindelige kortlægning var af høj kvalitet, men den geologiske videnskab har udviklet sig meget siden 1970'erne, hvor kortlægningen blev foretaget. Eksempelvis blev teorierne om pladetektonik først alment udbredt omkring 1970; teorier med stor betydning for forståelsen af bl.a. de processer som dannede bjergkæderne i Jordens tidligste historie, herunder i den arkæiske tidsperiode. Desuden har den teknologiske udvikling og forbedring af laboratorieudstyr bevirket, at der i dag er nye analytiske muligheder. Eksempelvis kan man i dag hurtigt og præcist bestemme en bjergarts alder; GEUS råder over et sådant moderne laboratorium (LA-SF-ICP-MS laboratorium). Det er på denne baggrund, at det blev fundet relevant at opdatere den geologiske viden i området mellem Ameralik og Sermiligaarsuk.

Principperne for både feltarbejde og opfølgende arbejder er baseret på undersøgelser af udvalgte nøgle-lokaliteter for herigennem at øge forståelsen af de vigtige geologiske processer; der er således ikke tale om en total dækning af hele området. Denne tilgang var nødvendig ud fra de givne rammer for projektet.

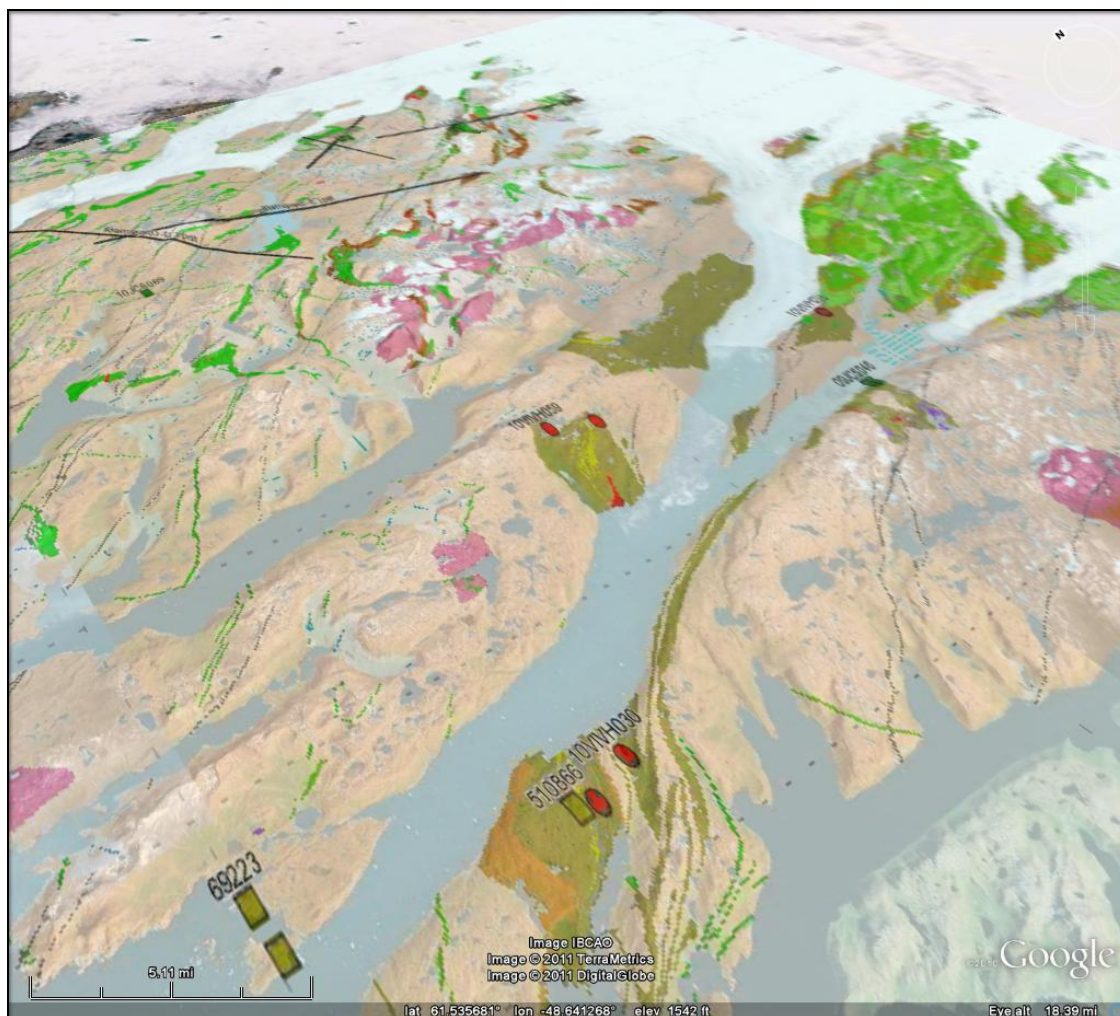
### 3.3 Nyt digitalt geologisk kort for Sydvestgrønland på internettet

Der er udarbejdet ét samlet digitalt geologisk kort for det undersøgte område, som er frit tilgængeligt på Internettet (<http://geuskort.geus.dk/gisfarm/svgrl>). Til udarbejdelsen af det digitale kort er de ti tidligere udgivne geologiske kort blevet digitaliserede, og der er foretaget ændringer i geologien, hvor det er skønnet relevant ud fra ny viden fra feltarbejdet. Desuden er der for kortet oprettet én ny fælles signaturforklaring, som følger internationale retningslinjer og konventioner for geologiske termer og bjergartsnavne. Dette arbejde er dokumenteret i GEUS rapport nr. 2010/119.



**Figur 2.** Eksempel på visning af det digitale geologiske kort som er tilgængeligt på Internettet under: <http://geuskort.geus.dk/gisfarm/svgrl>. Det aktuelle udsnit viser området mellem Paamiut og Sermiligaarsuk. De forskellige geologiske bjergarter er repræsenteret med forskellige farver. Kortet er delvist interaktivt, og information kan derfor hentes og gemmes efter behov. Eksempelvis kan der søges information om udvalgte og særligt illustrative lokaliteter (røde cirkler), dybder for hvor bjergarterne oprindeligt befandt sig i skorpen (grønne firekanter), og om bjergarternes aldre. Information om skorpestrukturer i form af geologiske profiler kan downloades som PDF-filer ('klik-bare' sorte linier), ligesom detaljerede geologiske kort kan fremkaldes indenfor de markerede områder (sorte firkanter).

Internetsiden for kortet har forskellige faciliteter, bl.a. søgefunktioner for lokaliteter, bjergartstyper, prøvenumre, og der kan desuden vises fotos fra lokaliteter. Der er også mulighed for at se temalag for eksempelvis aldre for bjergarterne og geofysiske- og geokemiske informationer. Ved at kombinere disse temalag kan brugeren let få overblik over geologien. Endelig er det muligt at få en 3D-visualisering af geologien ved at eksportere udvalgte geologiske temaer til Google Earth platformen. Kortet er et effektivt værktøj for alle interessenter, og det er i særdeleshed et vigtigt redskab til mineralefterforskning.



**Figur 3.** Geologien fra web-kortet kan anvendes i Google Earth, hvorved eksempelvis en 3D-visualisering af områdets geologi kan fremstilles.

### 3.4 Datering af geologiske processer

Mere end 90 % af det arkæiske grundfjeld består af grå gnejser; den resterende del udgøres af spredte forekomster af mørkere bjergarter, der repræsenterer gammel havbund, såkaldte suprakrustaler. De grå gnejser repræsenterer bjergartsmasser, som er trængt ind i

de mørke suprakrustaler, hvorved suprakrustalerne er blevet gradvist opslugt. For at forstå denne proces og de efterfølgende omdannelser bedre er ca. 120 gnejser og granitter blevet dateret ved GEUS' laboratorier. De nye aldersdateringer er sammenstillet i en række tematiske kort, der giver information om forskellige geologiske begivenheder, som bjergarterne har gennemgået. Aldrene giver også mulighed for at vurdere, hvilke områder der kan være interessante for mineralefterforskning.

Disse nye kort viser nogle systematiske mønstre, som ikke tidligere har været kendt. Det ses eksempelvis af Figur 4, at de smeltede bjergarter, som senere dannede gnejserne, først trængte ind i skorpen i den sydlige del af området omkring Sermiligaarsuk for ca. 2950 millioner år siden, mens denne indtrængningsproces længere nordpå skete c. 130 millioner år senere. Undersøgelserne har sandsynliggjort, at smelterne trængte ind mange gange med ca. 40 millioner års mellemrum. Desuden har undersøgelserne vist, at gnejserne i den centrale del af Fiskenæsset-området er omkring 3200 millioner år gamle, og dermed er ca. 200 millioner år ældre, end hidtil antaget.

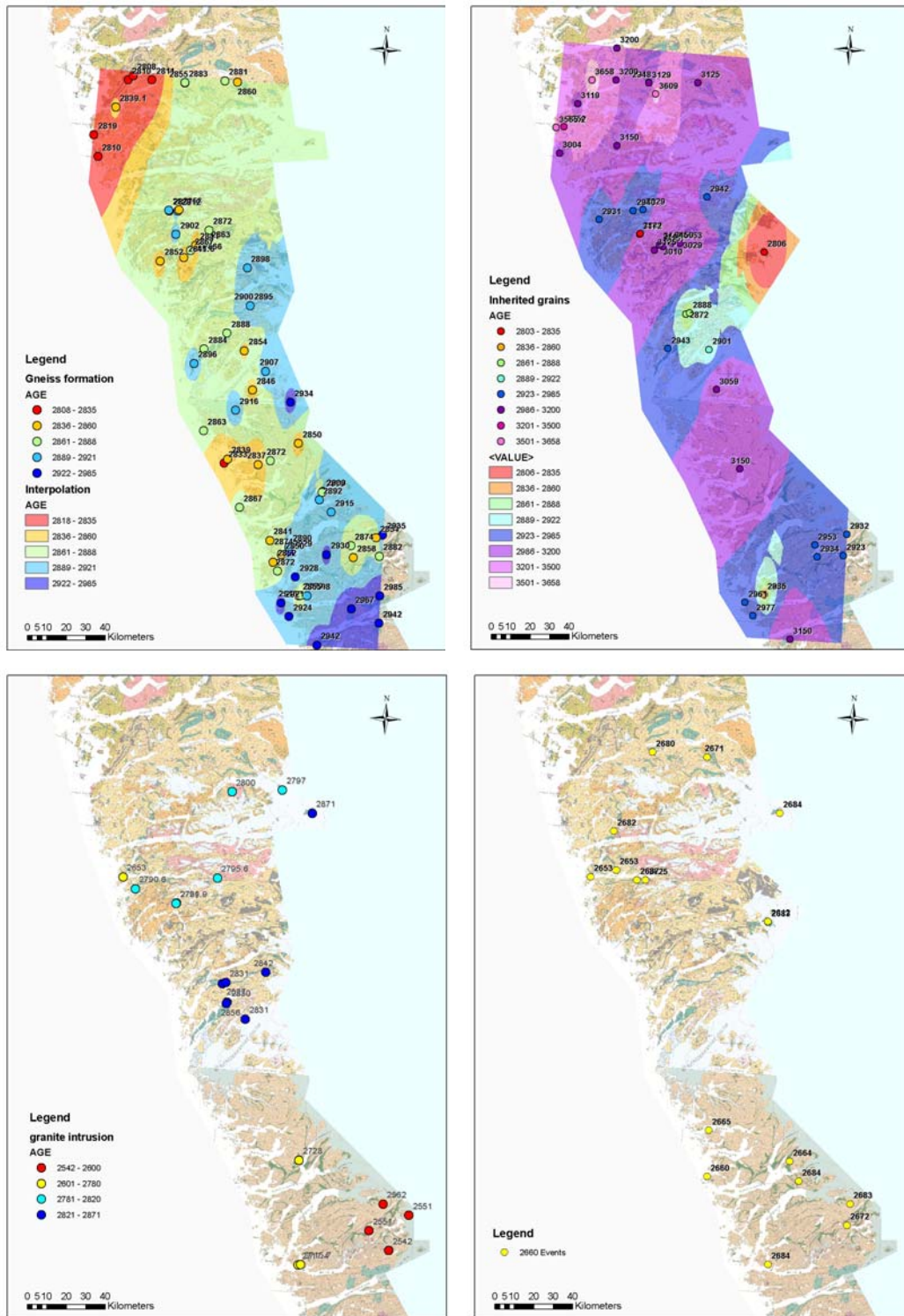
### 3.5 De suprakrustale bjergarter

Undersøgelserne har også haft til formål at forstå de geologiske miljøer, som dannede de såkaldte suprakrustale bjergarter, dvs. de bjergarter som oprindeligt blev afsat på, eller nær ved Jordens overflade. I dag udgør disse bjergarter arealmæssigt mindre 'bælter'. Interessen for suprakrustalerne skyldes også, at de ofte indeholder guld-mineraliseringer.

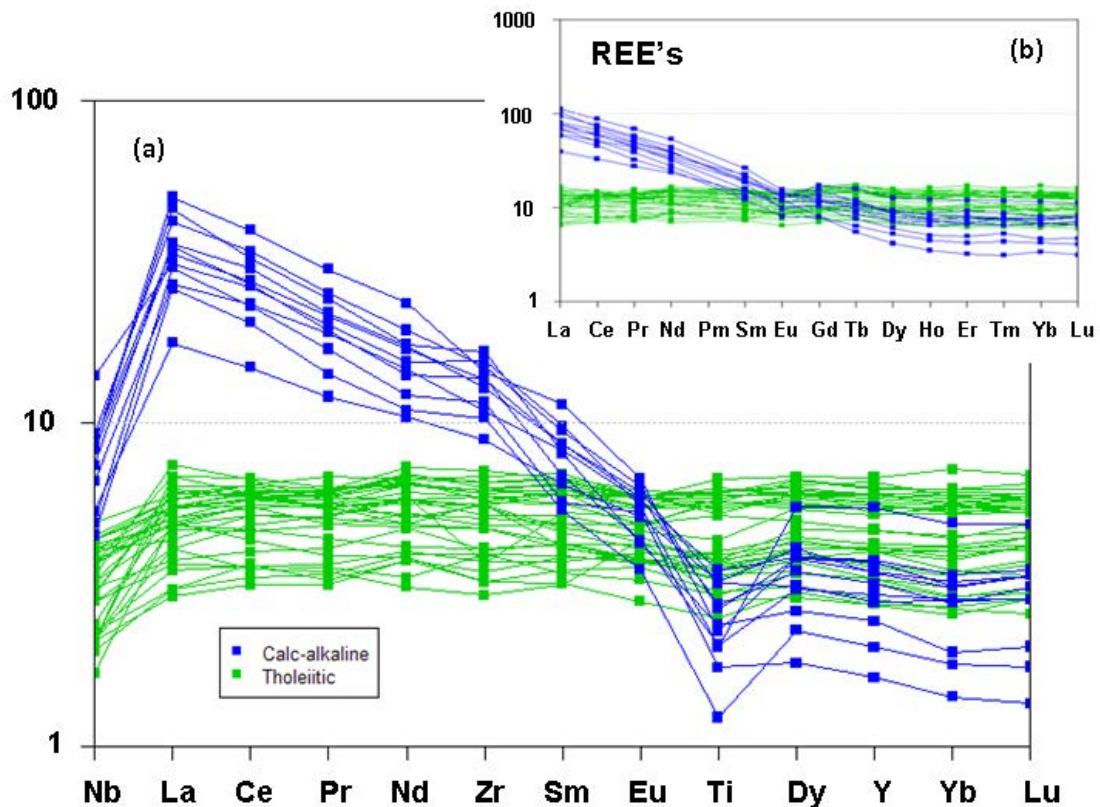
Projektet har tilvejebragt mange nye informationer om disse områder; blandt andet er det påvist, at der er tale om to forskellige bjergartstyper, de såkaldt *tholeiitiske* og *calc-alkaline* bjergarter (Figur 5). I dag ved man, at disse bjergartstyper dannes fra henholdsvis midt-oceaniske spredningsrygge (eksempelvis Island) og vulkanske ø-buer (eksempelvis Japan). Projektet har opstillet to forklaringsmodeller for, hvorfor disse typer nu findes samme sted.

### 3.6 Temperaturforhold dybt i Jordens skorpe

På baggrund af mineralsammensætninger og geokemiske data er det beregnet, hvor dybt i skorpen de suprakrustale bjergarter på et tidspunkt har befundet sig, efter at de er skubbet ned i dybet på grund af de tektoniske pladers bevægelser. Sådanne studier er baseret på, at nogle mineraler "husker" de højere temperaturer og tryk, de har været udsat for dybt nede i skorpen. Dette arbejde har bl.a. givet anledning til at revidere den hidtidige opfattelse af, i hvilken dybde i skorpen forskellige områder på et tidspunkt har befundet sig; denne viden er vigtig for at forstå, hvilke mineralske forekomster man kan forvente at finde i et givet område.



**Figur 4.** Alderskort viser den geografiske fordeling af forskellige geologiske begivenheder, herunder hvornår gnejserne først trængte ind i skorpen (øverst t.v.), fordelingen af 'nedarvede' ældre zirkonkorn (øverst t.h.), fordelingen af granitiske bjergarter (nederst t.v.), og fordelingen af ca. 2660 millioner år gamle bjergarter, hvilket flere steder i regionen er alderen på den guld-mineraliserende proces (nederst t.h.).



**Figur 5.** Geokemiske data for ét af de undersøgte suprakrustale bæltter (Ikkattup Nunaa). Diagrammerne viser koncentrationer af udvalgte sporgrundstoffer (normaliseret til kappens værdier). Der ses to typer af koncentrationsmønstre for hhv. calc-alkaline (blå) og tholeiitiske (grønne) bjergarter. Denne forskel afspejler, at bjergarterne er dannet i markant forskellige geologiske miljøer, nemlig ved henholdsvis et midt-oceanisk spredningscenter (blå) og ved en oceanisk ø-bue (grøn). Nedunder ses indsamling af prøver fra Ikkattup Nunaa (til venstre) og et typisk eksempel på såkaldte 'pudelavaer', som er dannet ved at magma er strømmet ud på havbunden (til højre).

### 3.7 Dannelse af rubiner

I Fiskenæsset-området findes flere forekomster af rubin (Figur 6). Rubiner findes især i bjergarter, som oprindeligt stammer fra Jordens kappe (et tykt lag som ligger dybere end Jordens skorpe). Projektet har undersøgt og klarlagt de processer, som dannede rubinerne i Fiskenæssetområdet. Denne viden kan have betydning for efterforskning af andre rubinforekomster.



**Figur 6.** Billede fra Fiskenæsset-området viser en bjergart, som indeholder røde rubiner tilsammen med et grønt mineral, pargasit. Disse mineraler er dannede ved en kemisk reaktion dybt i skorpen, som bl.a. involverer frigivelse af aluminium fra plagioklas feldspat og krom fra nedbrydning af mørke mineraler i såkaldte ultramafiske bjergarter. Den største rubin til højre i billedet er ca. 2 cm i diameter.

### 3.8 Eksempler på feltundersøgelser

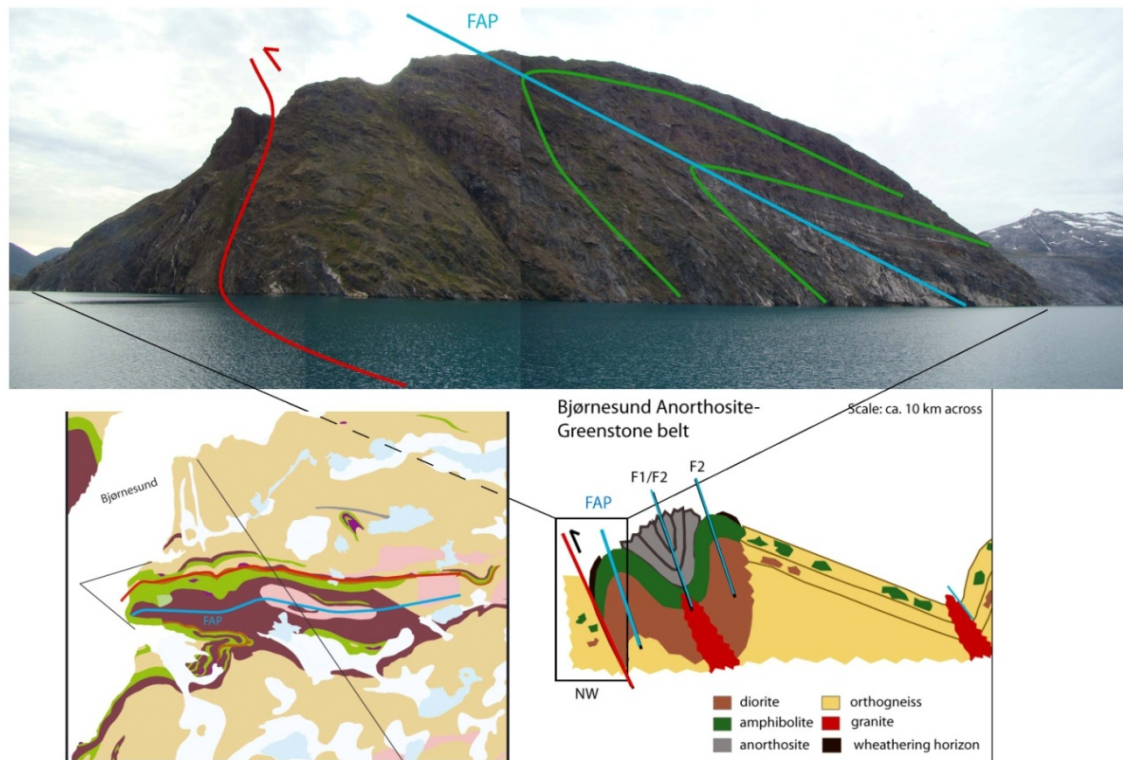
Nedenfor er beskrevet et par eksempler på nye resultater, der er opnået i forbindelse med feltundersøgelserne.

#### **Geologisk model for Bjørnesund-området**

I området vest og øst for Bjørnesund findes en type bjergarter – såkaldte anorthositer – side om side med suprakrustale bjergarter; disse bjergarter er dannet i hvert sit miljø langt fra hinanden og efterfølgende bragt sammen. På grundlag af observationer i felten er der konstrueret et geologisk profil gennem området (Figur 7), der illustrerer, at den geologiske historie indeholder følgende faser:

- De suprakrustale bjergarter blev ved pladetektonik skubbet dybt ned i skorpen og omdannet på grund af høj temperatur og tryk.
- Derefter trængte smelter af anorthosit-bjergarterne ind i de suprakrustale bjergarter.

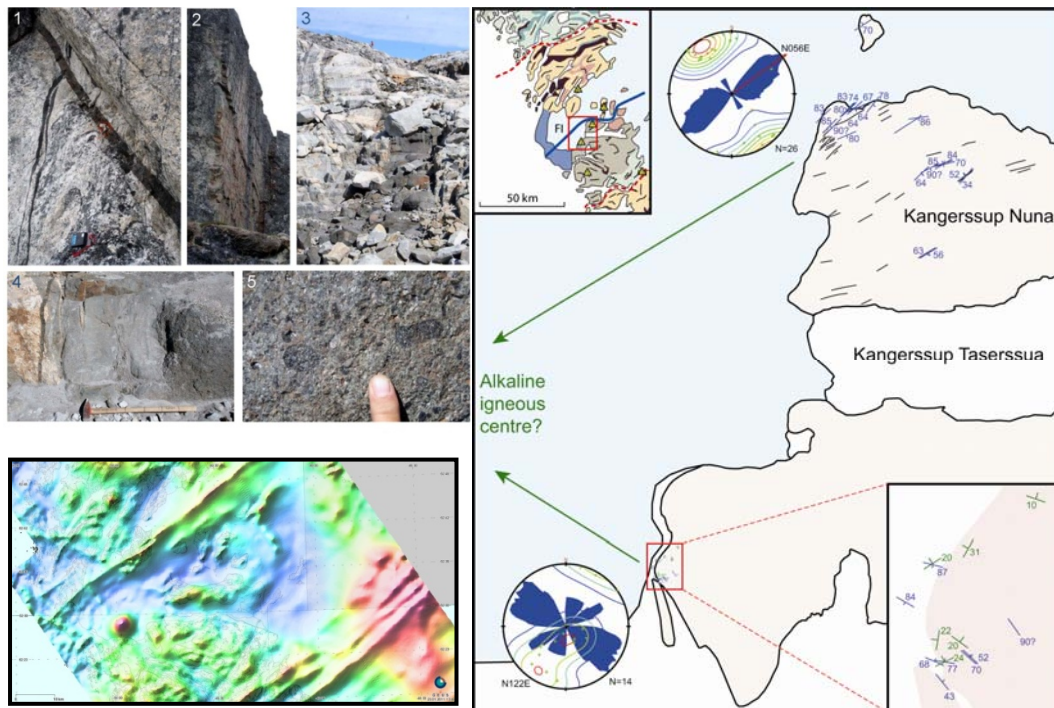
- Efterfølgende er området foldet og forkastet under nye pladetektoniske bevægelser.
- Nogle af de sidste hændelser var granitdannelse og opkoncentrering af guld i nærheden af forkastningszonen.



**Figur 7.** Foldning og forkastning af bjergarterne i Bjørnesund-området. Billedet øverst er fra 'knæet' af Bjørnesund med blik mod øst (se geologisk kort nederst til venstre). Billedet og det tolkede profil (nederst til højre) viser, at bjergarterne i området er foldet og forkastede. De blå streger viser foldens aksialplan (FAP) og de grønne streger en foldning af bjergarterne, mens forkastningszonen er vist med en rød streg.

#### **Kortlægning af særlige gang-bjergarter i området ved Frederikshåb Isblink**

Der er kortlagt nogle gang-bjergarter - såkaldt *lamprofyriske* gange - i området ved Frederikshåb Isblink. Denne type bjergarter kan have forhøjet indhold de grundstoffer, som kaldes *sjældne jordarters metaller* (ofte forkortet til REE for det engelske Rare Earth Elements), som er stærkt efterspurgt til udvikling af grønne teknologier og moderne kommunikationsudstyr, og som desuden kan indeholde diamanter. Undersøgelserne har vist, at gangene udgår fra et fælles centrum beliggende under Frederikshåb Isblink; dette punkt falder sammen med et område, hvor der er forhøjede magnetiske værdier, og det formodes derfor, at kilden til de lamprofyriske gange er en intrusion, som nu befinder sig under Frederikshåb Isblink.



**Figur 8.** Kortlægning af lamprofyriske gange omkring Frederikshåb Isblink. Orienteringen af gangene sandsynliggør, at de udgår fra et fælles intrusivt centrum beliggende under Frederikshåb Isblink. Disse feltobservationer er i overensstemmelse med de aeromagnetiske data (nederst t.v.), som viser en kraftig punktformet anomali i det samme område (rød pil). Det geofysiske kort er tilgængeligt på det digitale web-kort under det geologiske temalag der omhandler geofysiske data.

### 3.9 Forskningssamarbejde

Felt- og laboratorieundersøgelser er gennemført af en kernegruppe af GEUS' geologer i samarbejde med en gruppe af forskere og studerende fra eksterne forskningsinstitutioner og universiteter. Der er samarbejdet med følgende institutioner: Geologisk Museum og Københavns Universitet, Lunds Universitet, Sverige, universiteterne i Bristol, Oxford og Leicester i England, samt Stellenbosh Universitet i Sydafrika.

Derudover har en række medarbejdere fra GIS-gruppen i GEUS været centrale i arbejdet med at digitalisere det geologiske kort og gøre det tilgængeligt på Internettet.

Indenfor dette del-projekt, er der afsluttet følgende studier: 1 phd, 1 kandidat, 3 4.-års opgaver, samt 1 bachelor.

Der er stadig en række projekter i gang, herunder bl.a.:

- Et 3-årigt post doc studie i samarbejde med Københavns Universitet; afsluttes i 2011.
- Et phd-studie i samarbejde med Københavns Universitet, som afsluttes i 2012
- Et phd-studie i samarbejde med Bristol Universitet, som forventes startet i 2011
- Et phd-studie i samarbejde med Lunds Universitet.
- Et 2-årigt batchelor-projekt i samarbejde med Stellenbosh Universitet, Sydafrika; afsluttes 2012.
- Et 2-årigt kandidat-projekt i samarbejde med Bristol Universitet; afsluttes i 2012.

### **3.10 Publikationer og formidling**

Indsatsen i Sydvestgrønland har betydet mange nye data og ny viden, og processen med at publicere denne viden pågår fortsat. Således er en række publikationer i nationale og internationale tidsskrifter udkommet, og endnu flere vil blive indsendt til publikation over de næste par år. Publikationerne fra denne indsats indgår i den samlede liste i afsnit 8.

For at markere nogle af de væsentligste resultater, som er opnået indenfor projektet, har GEUS taget initiativ til en videnskabelig session omkring geologien i det nordatlantiske kraton og Grønland ved det kommende årlige møde ved EGU (European Geosciences Union), som afholdes i Wien i april 2011. Ved denne lejlighed vil der være 19 bidrag om geologien i Sydvestgrønland. Der forventes ca. 10 000 deltagere i konferencen, og med dette møde er der således taget et væsentligt skridt i retning af at videregive de videnskabelige resultater i et internationalt forum.

## 4. Har metalforekomster 'fingeraftryk' som kan bruges til at finde nye forekomster?

*Af Bo Møller Stensgaard*

### 4.1 Sammenfatning

I dette projekt er udvalgte mineraliseringer og områderne omkring dem blevet undersøgt ved hjælp af forskellige statistiske og geovidenskabelige metoder. Igennem dette arbejde er det blevet muligt at etablere en række karaktertræk for forekomsterne. Hypotesen er, at disse karaktertræk danner en slags 'fingeraftryk', som – hvis hypotesen er korrekt – kan bruges til at finde metalforekomster andre steder i Grønland. Metoden er derfor et stærkt værktøj til mineralefterforskning.

### 4.2 Baggrund

Metalforekomster er dannet i forbindelse med geologiske hændelser, der involverer bestemte bjergarter. Formålet med dette projekt er at finde de karakteristika, som afspejler disse hændelser – altså at prøve at finde de 'fingeraftryk', som forskellige forekomster af metaller afstedkommer i den omkringliggende geologi – på baggrund af mange forskellige geologiske og geofysiske informationer. På denne måde kan områder, inden for hvilke der er særligt gode muligheder for at finde en given metalforekomst, identificeres. Metoden kan anvendes på mange forskellige metaller, men i dette projekt er der fokuseret på guldforekomster.

Resultaterne fra dette projekt vil sætte GEUS, RD og mineselskaber i stand til bedre at forstå, hvordan f.eks. guldforekomster kan afsløres vha. forskellige data, hvilke kontrollerende forhold forekomsterne er dannet under, og hvor i Sydvestgrønland, der er størst mulighed for at finde lignende 'fingeraftryk', som dermed måske kan lede frem til nye malmforekomster.

I moderne mineralefterforskning produceres der store datamængder af meget forskellig art; de bruges til at opstille modeller for dannelsen af metalforekomster. Modellerne bruges til at udlede sammenhænge ud af de meget forskellige data og sikre, at de også stemmer overens med kendt geologiske viden.

De statistiske analyser i projektet er blevet udført på grundlag af de omfattende geodata, som GEUS og RD har til rådighed fra tidligere års geologiske og geofysiske undersøgelser. Efterfølgende er der udført detaljerede geologiske feltstudier af udvalgte områder.

## 4.3 Metoden

### **Geokemiske, geofysiske og geologiske signaturer af områder med guldforekomster**

I Sydvestgrønland er der gennem mange år indsamlet prøver af sand fra elve – bæksedimenter – og der findes derfor et omfattende geokemisk materiale på denne prøvetype.

Bæksedimenter er velegnede, fordi sådanne prøver indeholder erosionsprodukter fra de omkringliggende bjerge, hvilket vil afspejles i deres kemi. På grund af vand og tyngdekraft vil materialet hele tiden bevæge sig nedad, ende i bække og efterhånden koncentreres på visse steder i bækkene.

En helt anden slags data udgøres af et omfattende regional-dækkende geofysisk datasæt, hvor de samme bjergarters magnetiske egenskaber er blevet kortlagt via målinger fra fly. Desuden kan der også indgå forskellige typer af satellit data i analysen af et område.

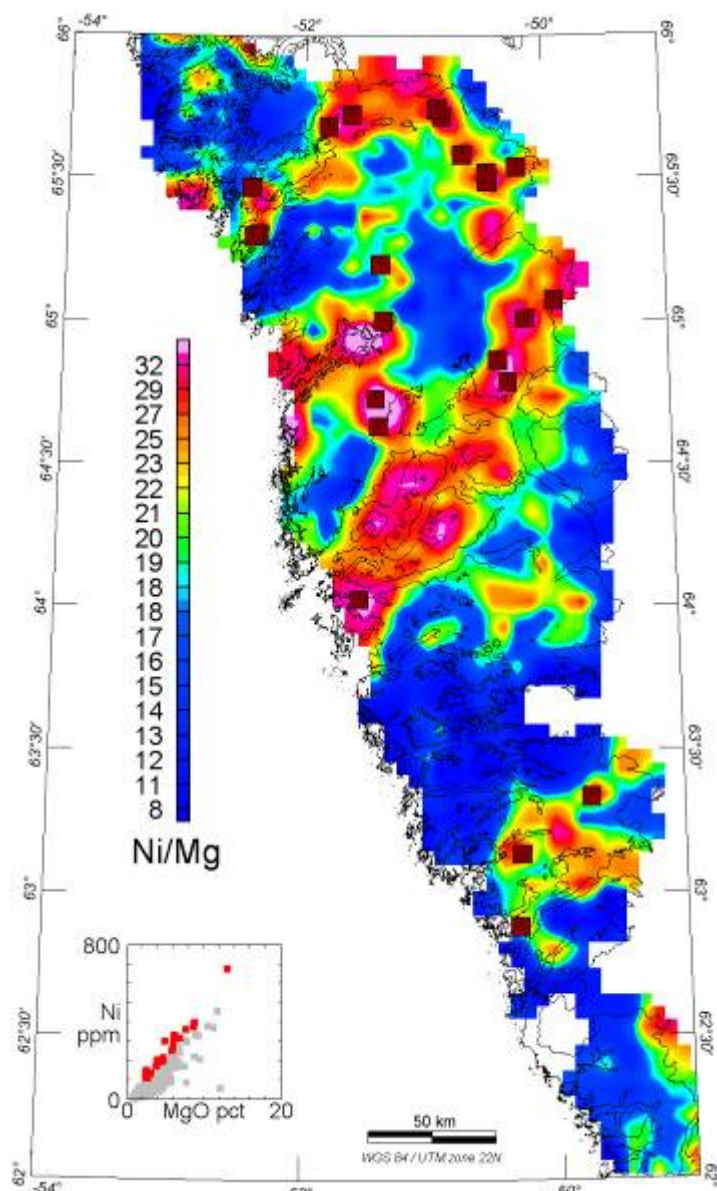
Med udgangspunkt i disse metoder samt kendskab til kendte guldmineraliseringer i området er der foretaget en undersøgelse af, hvilke geokemiske karakteristika som sammen med de magnetiske data skal være til stede, for at et område samlet set kan siges at have et særligt potentiale for guld. Denne viden kan bruges til at udpege områder med lignende 'fingeraftryk', og som derfor med en vis sandsynlighed kan forventes at indeholde interessante guldmineraliseringer.

Undersøgelser af denne karakter er baseret både på empiriske og erfaringsmæssige analyser, foretaget af geokemikere og geologer, og på egentlige statistiske og matematiske dataanalyser. Blandt andet er der for første gang i Grønland brugt metoden 'selv-organiserede dataanalyser' til kortlægning af sammenhænge mellem geokemiske elementer og betydningen for udpegning af karakteristika af guldforekomster.

### **Feltundersøgelser af områder udpeget som potentielle for guldforekomster**

Der er gennemført feltarbejde i tre somre i specifikke udvalgte detailområder, med henblik på:

- at sammenholde de etablerede datasignaturer med de geologiske forhold,
- at karakterisere kendte guldmineraliseringer yderligere, og
- at teste om 'fingeraftryks'-metoden kan lede frem til nye områder med guldmineraliseringer.



**Figur 9.** Fordelingen af indholdet af nikkel og magnesium i bæksedimenter fra Sydvestgrønland er her angivet som forholdstallet Ni/Mg. Det er tidligere påvist, at guldmineraliseringer findes i områder med høje Ni/Mg-værdier. Denne viden gør det muligt at udpege områder, hvor der er særligt gode vilkår for at finde guldmineraliseringer. De brune firkanter angiver områder med særligt høje Ni/Mg-værdier.

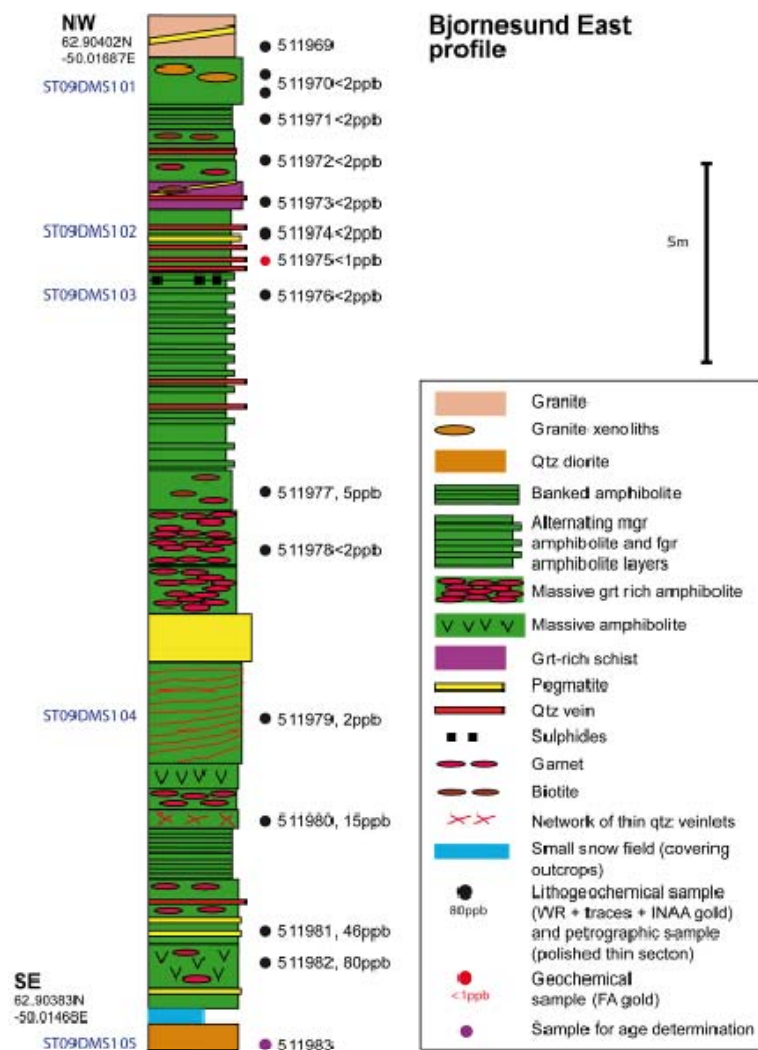
I 2008 var feltarbejdet fokuseret i Buksefjord-området mellem fjorderne Ameralik og Sermi-lik. Arbejdet blev koordineret med andre RD-GEUS projekter, som skulle gennemføres i samme område. Arbejdet var fokuseret på at teste arbejdsmodellen i områder hvor, der ikke tidligere var rapporteret guld. Der blev fundet flere guldmineraliserede områder og to lokaliteter med betydeligt forhøjede guldværdier.

I 2009 fortsatte feltundersøgelserne med at teste metoden i den vestlige del af Bjørnesund-området. Ved undersøgelserne anvendtes også satellitdata til at udpege større rustzoner,

som altid er interessante i malmgeologiske undersøgelser. Feltarbejdet resulterede i opdagelsen af nye guldmineraliserede zoner; der blev udført detaljeret kortlægning og undersøgelse af disse zoner. Disse detailstudier vil gøre det muligt at få en bedre forståelse af de processer, der har skabt guldmineraliseringen.



**Figur 10.** Et af de nye områder i den vestlige del af Bjørnesund-området, hvor der blev konstateret guld under feltarbejdet i 2009.



**Figur 11.** Ny detaljeret kortlægningsprofil over ca. 25 m. Sådanne profiler gør det muligt at karakterisere forekomster af guld og de omkringliggende værtsbjergarter. Denne viden kan bruges til at udpege andre områder, hvor lignende forhold gør sig gældende, men hvor der ikke i forvejen er kendte mineraliseringer.

I 2010 blev der udført feltarbejde i Taartoq-området. I dette område kendes der guldforekomster i forvejen, og undersøgelserne var derfor rettet mod at karakterisere guldforekomsternes værtsmiljø.

Flere af de undersøgte områder er efter offentliggørelse af resultaterne blevet genstand for private efterforsknings- og mineselskabers interesse.

### Empirisk gennemgang af potentialet for 'iron-oxide copper-gold' forekomster

Som en mindre del af projektet er der lavet en empirisk, geologisk gennemgang af potentialet i hele Grønland for tilstedeværelsen af en særlig type jern-kobber-guld forekomster. Resultaterne af dette arbejde er formidlet til mineindustrien gennem populærartikler og på

konferencer, og der arbejdes på at publicere videnskabelige artikler om dette arbejde. Indsatsen har medført en del interesse fra efterforsknings- og mineselskaber.

#### **4.4 Igangværende og fremtidige arbejder**

Arbejdet med at undersøge og udpege favorable områder for guld- og andre metalliske forekomster vil med baggrund i de sidste nye resultater og data forsætte ind i 2011. Det er vigtigt at få den senest opnåede forståelse, kortgrundlaget, og rapporterede data med i det samlede billede for at få en så god afspejling af regionens mineralpotentiale som muligt. Samtidigt kan måske andre nye vigtige 'fingeraftryk' af mineraliseringerne muligvis erkendes.

#### **4.5 Forskningssamarbejde**

I 2009 blev dele af arbejdet udført som et forskningssamarbejde med Institute of Land Resources and High Techniques, China University of Geosciences (Beijing) i forbindelse med en forskers gæstophold ved GEUS.

## 5. Vurdering af efterforskningsmuligheder og geologiske forhold i Sydvestgrønland

*Af Jochen Kolb*

### 5.1 Sammenfatning

Dette projekt blev sat i gang for at undersøge mineraliseringer i området mellem Nuuk og Sermiligaarsuk, fordi geologien i dette område har lighedspunkter med geologien i en række andre lande, hvorfra der kendes kommercielle guld- og kobberforekomster. Undersøgelserne har særligt haft fokus på: 1) De såkaldte hydrothermale mineraliseringer, som er dannet ved, at metallerne er transporteret rundt i bjergarterne i opløst form i varme væsker og er blevet koncentreret forskellige steder i jordens skorpe. 2) De såkaldte grønstensbælter, fordi netop den type geologi kan indeholde økonomiske mængder af jern, nikkel og platin, som det kendes fra bl.a. Australien, Canada, Sydafrika og Indien. Desuden er også andre mineraliseringstyper undersøgt.

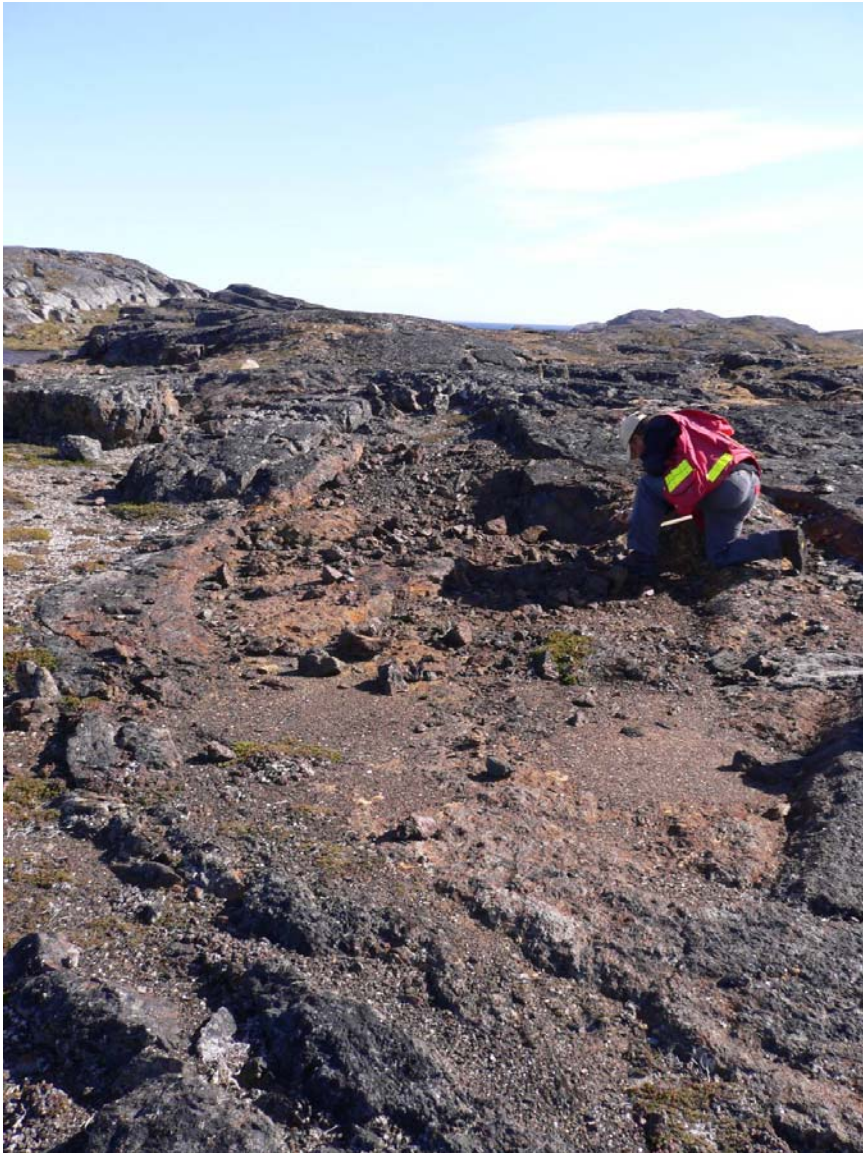
Undersøgelserne har påvist mineralisering af kobber, sølv, nikkel og guld i det undersøgte område. Resultaterne er publiceret i en række videnskabelige og mere populære artikler, samt diskuteret på møder med mineralindustrien. Dette har bevirket, at der er søgt flere licenser i området, hvor industrien vil følge op på resultaterne. En del af forskningsarbejdet med udenlandske samarbejdspartnere er stadig i gang.

### 5.2 Resultater

#### ***Kobber og relaterede metaller***

Feltarbejdet dokumenterede to områder mineraliseret med kobber og en række andre metaller:

1. En forekomst med massive og semimassive sulfidmineraliseringer af kobber, zink, bly, vismut og molybdæn. Forekomsten ligger omkring 20-40 km syd fra Nuuk tæt på Narsaq og Simiutat. Mineraliseringen er koncentreret i linser af ca. 10 m x 100 m. Det kan dog ikke udelukkes, at der findes større mineraliseringer i dybden. I Canada efterforskes og udvindes lignende forekomster. Det anbefales derfor at gennemføre geofysiske undersøgelser for at få mere viden om forholdene under overfladen.
2. En kobber-sølv mineralisering i et område syd fra Ameralik. Prøverne indeholder op til 2 % kobber og 25 g/t sølv. Størrelsen af denne forekomst kendes dog ikke. Forekomsten har geologiske lighedspunkter med store kobber-sølv mineraliseringer i Sydamerika og med molybdænforkomsten i Malmbjerget, Østgrønland. Det anbefales at undersøge denne forekomst yderligere ved hjælp af satellitdata samt opfølgende feltundersøgelser.



**Figur 12.** En geolog undersøger semimassivsulfid bjergarter i en linse på Simiutat (2008).

### **Nikkel**

Der er fundet nikkel-mineraliseringer i nogle bjergarter nord fra Isortuarssuup Tasia. Nikkel-indholdet er dog ikke særlig højt (de højeste værdier er 2300 g/t Ni). Men i Paamiut-området er der fundet andre bjergarter – såkaldte komatiitter - som andre steder i verden er knyttet til store nikkelforekomster. Der er dog ikke set mineraliseringer i komatiitterne ved Paamiut. Nikkel-mineraliseringer kan være svære at se i felten, og forekomsterne kan være skjult under overfladen. Derfor anbefales det at lave opfølgende geofysiske undersøgelser i dette område, så det bedre kan afgøres, om området indeholder egentlige nikkelforekomster.



**Figur 13.** GEUS' felthold på vej 'hjem' efter at have undersøgt en kobber-sølv-mineralisering (2008).

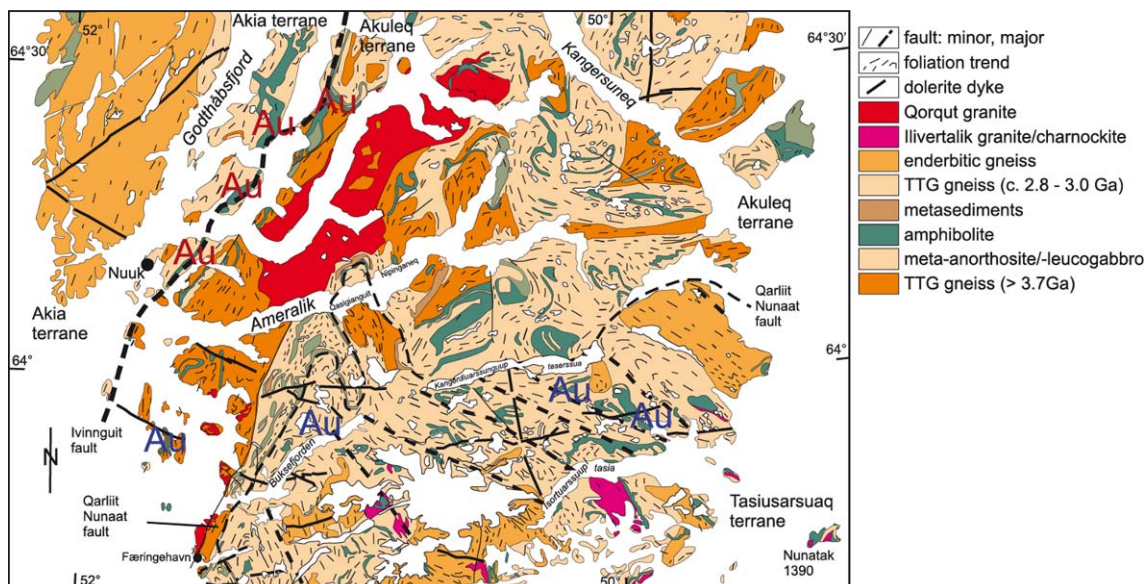
### **Guld**

Der blev fundet flere nye guldmineraliseringer i området. Efter offentliggørelse på GEUS' hjemmeside og i MINEX tog efterforskningsselskabet NunaMinerals A/S efterforskningslicenser på to af disse områder. Den ene guldmineralisering ligger på Qilanngaarsuit omkring 40 km syd for Nuuk, den anden nord for Sermilik. Guld findes i kvartsårer (1-50 cm brede) og i deres omdannelseszoner (0,2-2 m). De mange guldholdige kvartsårer danner tilsammen 50-200 m brede og 250-2000 m lange bælter. Guldindholdet i prøverne varierer meget (0,05-10 g/t). Det skyldes, at analyseværdierne i små prøver med lave guldkoncentrationer påvirkes meget af, om der er enkelt guldkorn mere eller mindre i prøven – man taler om '*nugget effect*'. Derfor er det vigtigt, at der i sådanne komplicerede områder foretages detaljerede undersøgelser, og at fundene vurderes på grundlag af den samlede sum af geologisk viden, og ikke kun på analysedata.



**Figur 14.** En geolog indtaster observationer af nikkelforekomsten i sin digitale dagbog – kaldet PDA (2008).

I den sydlige del af indsatsområdet er der to kendte guldforekomster i områderne omkring Paamiut og i Sermiligaarsuk. GEUS har studeret alle tilgængelige data og også studeret forekomsterne i felten. På dette grundlag har vi påvist, at der er nye efterforskningsmuligheder for guld både i forbindelse med de kendte forekomster og på nye guldfund i nærheden heraf.



**Figur 15.** Skematiske geologiske kort af Nuuk-området. Rødt 'Au' markerer guldforekomster, som var kendt inden 2008, som f.eks. Storø, mens blå 'Au' markerer nye guldforekomster, der blev fundet af GEUS' geologer igennem projektforløbet.

Det anbefales derfor at gennemføre en detaljeret efterforskning på de forskellige guldforekomster med mere systematisk prøveindsamling, som evt. kan danne grundlag for et senere boreprogram. GEUS har offentliggjort forskellige geologiske informationer om forekomsterne i GEUS-rapporter, som er tilgængelige for interesserede efterforskningsselskaber.



**Figur 16.** En af geologerne undersøger en foldet struktur mineraliseret med guld i tilknytning til en rustfarvet omdannelseszone. Den hydrotermale omdannelse ses som en rustfarvet zone som skyldes forvitrede jernsulfidminerale.



**Figur 17.** Geolog noterer observationer af en ny guldforekomst i Paamiut-området. De rustbrune farver er forvitrede omdannelseszoner, der indeholder guld og jernholdige mineraler.

### **Andre erfaringer**

Undersøgelserne viste blandt andet:

- at der ikke er potentiale for jernforekomster i det undersøgte område, som der f.eks. er det i Isua.
- at platinpotentialet ikke er særligt stort, når der ses bort fra Fiskensættet-området (se projektbeskrivelse i denne rapport). Der blev kun fundet enkelte små forekomster med maksimal 50 ppb (g/1000 tons) platin og 50 ppb palladium i Paamiut-området, og disse er ikke økonomiske.

## **5.3 Igangværende forskningssamarbejde**

Igennem samarbejde med geologer fra forskellige universiteter blev der skabt en række forskningsprojekter, som først afsluttes i perioden 2011 til ca. 2013. Der er forskningssamarbejde med forskere og studerende fra følgende universiteter: Geocenter Denmark, København; RWTH Aachen Universitet, Tyskland; Stellenbosch Universitet, Sydafrika; Windsor Universitet, Canada; Imperial College London; og Oxford Universitet, England. Råstofdirektoratet vil løbende blive informeret om resultater af projekterne.

## **5.4 Afsluttede forskningsprojekter**

Nedenstående forskningsprojekter er blevet afsluttet og resultaterne er indarbejdet i følgende faglige rapporter:

- B.Sc. thesis: Marie-Isabelle Struck (2009), Die geochemische Charakterisierung von metamorphen Gesteinen der Færingehavn-, Tre Brødre-, und Tasiarsuaq-Terrane, Südwestgrønland (RWTH Aachen University)
- M.Sc. mapping project: Martin Koppelberg (2010), Geological map of the Fiskensættet complex: Sarfat Aariaat east (RWTH Aachen University)
- M.Sc. mapping project: Nicolas Benjamin Stoltz (2010), Geological map of the Fiskensættet complex: Sarfat Aariaat west (RWTH Aachen University)
- M.Sc. project: Mohammad Nader Birooni (2010), Petrology of the sulphide occurrence on Simiutat, southern West Greenland: a metamorphosed or a metamorphic sulphide mineralisation (Copenhagen University)

## 6. Er der økonomiske platingruppe (PGE) forekomster i området?

*Peter U. W. Appel*

### 6.1 Sammenfatning

Siden 1960'erne har det været kendt, at der findes platingruppe-mineraliseringer i Fiskesnæsset-området. På grund af stærkt stigende priser på disse metaller er der gennemført nye undersøgelser i 2008 og 2009. Disse undersøgelser påviste, at der findes et 5 meter bredt lag, som indeholder 690 ppb (milligram per ton) samlet for platin+paladium+guld, hvilket er næsten kommercielt niveau. Resultaterne er blevet publiceret – blandt andet på GEUS' hjemmeside – og har tiltrukket stor interesse; eksempelvis har et selskab udtaget licenser i området og gennemført feltarbejde i 2010.

### 6.2 Baggrund

Verdens største og bedste platinforekomst - Merensky Reef i Bushveld-intrusionen i Sydafrika - har mange geologiske lighedspunkter med Fiskesnæsset-komplekset i Vestgrønland. Siden opdagelsen af Fiskesnæsset-komplekset i 1960'erne er der derfor spekuleret over, om også Fiskesnæsset-området kunne indeholde platinminerale i økonomiske mængder.

Et canadisk selskab gennemførte i 1960'erne og 1970'erne efterforskning af platinmetaller (ofte omtalt som PGE – Platin Group Elements). Der blev fundet flere PGE-mineraliseringer, som dog havde for lavt indhold til at være interessante med henblik på udnyttelse. I 1990'erne gennemførte Grønlands Geologiske Undersøgelse (GGU) en enkelt, men mere detaljeret undersøgelse, som påviste højere PGE-værdier end tidligere fundet, men med datidens markedspriser var resultaterne alligevel ikke interessante. PGE-priserne er imidlertid steget markant i de seneste ti år, blandt andet fordi flere af dem anvendes i 'grøn' teknologi og nu er meget efterspurgt.

### 6.3 Formål

Som led i det 3-årige geologiske undersøgelsesprogram i Sydvestgrønland blev det aftalt at lave en detaljeret undersøgelse af de områder, hvor tidligere undersøgelser havde påvist PGE-mineraliseringer. Med nye analysemetoder og på baggrund af ny geologisk viden om PGE-mineraliseringer ønskede man at undersøge, om der kunne være forekomster af en sådan størrelse og lødighed at efterforskningsselskaber ville være interesserede i at arbejde videre i området.

Desuden ville man finde ud af, om der er særlige geokemiske kendetegn for PGE-mineraliseringerne, således at sådanne "fingeraftryk" kan bruges i selskabernes fremtidige prospektering efter PGE.

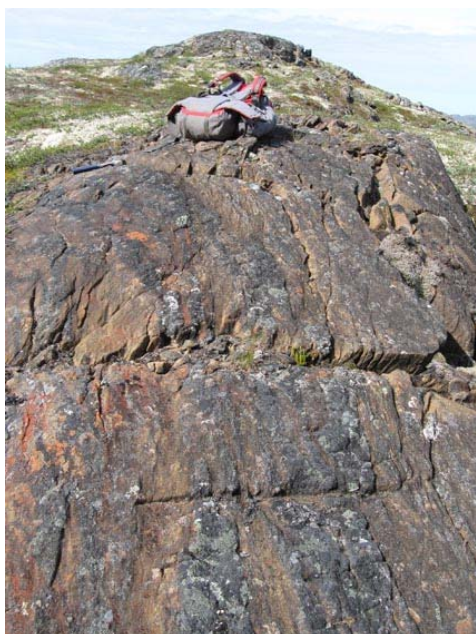
Undersøgelserne skulle desuden omfatte en overordnet geokemisk vurdering, med henblik på at føre Fiskensæset- komplekset ind i en moderne geologisk forståelsesramme.

## 6.4 Resultater

Der blev gennemført en detaljeret prøvetagning af udvalgte dele af Fiskensæset-komplekset på den nordlige del af Qeqertarsuatsiaq, samt på kompleksets østlige forlængelse ved Itise; begge steder blev der påvist forhøjede PGE-værdier. Desuden er prøverne fra 1991 blevet analyseret igen. Der er påvist høje PGE-værdier i et ca. 5 meter bredt lag – kaldet Ghisler Reef – med værdier på 690 ppb samlet for platin+paladium+guld, hvilket er næsten kommercielt niveau. Den PGE-holdige horisont kan spores over ca. 5 km, og horisonten har mægtigheder på op til 50 meter; horisonten gennemskæres af forkastninger og er derfor ikke et sammenhængende bælte.

Der er også påvist interessante PGE-mineraliseringer længere mod øst, i områder tæt på isen – eksempelvis ved Sinarsuk.

De geokemiske og mineralogiske undersøgelser af PGE-mineraliseringen i Fiskensæset-komplekset viser stor lighed med en række af de PGE-forekomster, som udnyttes kommercielt, som eksempelvis Sudbury, Canada, Great Dyke i Zimbabwe og Monchegorsk på Kola Halvøen i Rusland. De nye PGE-mineraliseringer må karakteriseres som særdeles interessante, og industrien har da også vist interesse for resultaterne. Således blev der allerede i 2010 udtaget licenser på flere af områderne umiddelbart efter GEUS' pressemeddelelse om fundene, og det danske selskab 21<sup>st</sup> North påbegyndte yderligere efterforskning. Samlet set har de geologiske undersøgelser ajourført den geologiske viden om hele Fiskensæset-intrusionen. Resultaterne er blevet publiceret i en række videnskabelige tidsskrifter.



**Figur 18.** Blotning af de PGE-mineraliserede bjergarter.



**Figur 18.** PGE-mineraliseret horisont (pil) ved Itise. Person kan anes med rød anorak.



**Figur 19.** Prøvetagning – kanalprøver taget med stensav - af PGE-mineraliseret horisont ved Itie.



**Figur 20.** Prøvetagning udført med hammer og mejsel – kanalprøver - af PGE-mineraliseret horisont ved Itise.



**Figur 21.** Geologisk kort over Fiskenæsset-området. Grå-brun signatur viser udbredelsen af Fiskenæsset-komplekset. De bedste platin-mineraliseringer kendes inden for det markerede område. Anorthosit-bjergarterne er angivet med turkisblå farve.

## 7. Resultater af undersøgelserne i form af publikationer og præsentationer

Appel, P.W.U., Dahl, O., Kalvig, P. & Polat, A. 2010: Discovery of new PGE mineralization in the Precambrian Fiskensæset anorthosite complex, West Greenland. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport, 2010/29, 42 pp. CD enclosed.

Appel, P. W. U., Dahl, O., Kalvig, P. & Polat, A. 2010: PGE discoveries in the ~2970 Ma Fiskensæset anorthosite complex, West Greenland. In: Kokfelt, T. F. & Kolb, J. (eds.). Annual workshop on the geology of southern West Greenland related to field work: abstract volume 2, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser Rapport 2010/58, 5–6.

Berger, A., Kokfelt, T. F. & Klausen, B. M. 2011: Geochemistry and petrology of border zones between mafic/ultramafic bodies and surrounding TTG gneisses (SW Greenland). In: Geophysical Research Abstracts Vol. 13. EGU General Assembly 2011; EGU2011-7403.

Berger, A., Kolb, J. & Konnerup-Madsen, J. 2010: Characteristics of the hydrothermal alteration and mineralisation in the Kangiata Nunaa and Sermilik region. In: Kokfelt, T. F. & Kolb, J. (eds.). Annual workshop on the geology of southern West Greenland related to field work: abstract volume 2, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser Rapport 2010/58, 7–8.

Katerinopoulou, A., Balic-Zunic, T., Kolb, J. & Secher, K. 2009: The crystal chemical role of Fe-Mn substitution in the epidote family. Acta Cryst A65, 49.

Keulen, N., Schumacher, J.C., Scherstén, A., Kokfelt, T.F. & Piazzolo, S. 2009: Structural overview of the area North of Buksefjorden. Southern West-Greenland Fieldwork Spring Meeting, Copenhagen – oral presentation.

Keulen, N., Scherstén, A. Schumacher, J.C., Næraa, T. & Windley, B.F. 2009: Geological observations in the southern West Greenland basement from Ameralik to Frederikshåb Isblink in 2008. Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin 17, 49–52.

Keulen, N., Næraa, T., Kokfelt, T.F., Schumacher, J.C. & Scherstén, A. 2010: Geological Zircon record of the igneous and metamorphic history of the Fiskensæset anorthosite complex in southern West Greenland. Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin 20, 67–70.

Keulen, N., Næraa, T., Kokfelt, T. F., Schumacher, J. C. & Scherstén, A. 2010: Zircon record of the igneous and metamorphic history of anorthosite from Fiskensæset complex, southern West Greenland. In: Kokfelt, T. F. & Kolb, J. (eds.). Annual workshop on the geology of southern West Greenland related to field work: abstract volume 2, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser Rapport 2010/58, 14–19.

Keulen, N., Schumacher, J. C., van Hinsberg, V. J., Szilas, K., Windley, B. F. & Kokfelt, T. F. 2010: The Bjørnsund anorthosite-greenstone belt – linking the Fiskensæset complex to

the Ravn Storø metavolcanic belt. In: Kokfelt, T. F. & Kolb, J. (eds.). Annual workshop on the geology of southern West Greenland related to field work: abstract volume 2, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser Rapport 2010/58, 9–13.

Keulen, N., Schumacher, J.C., Scherstén, A., Kokfelt, T.F. & Piaolo, S. 2009: Reinterpretation of the Tre Brødre-Tasiusarsuaq Terrane-boundary in the Buksefjorden area, Southern West-Greenland. Deformation, Rheology & Tectonics Conference, Liverpool – poster.

Keulen, N., Næraa, T., Kokfelt, T. F., Schumacher, J. C. & Scherstén, A. 2010: Zircon record of the igneous and metamorphic history of anorthosite from Fiskensæset complex, southern West Greenland. In: Kokfelt, T. F. & Kolb, J. (eds.). Annual workshop on the geology of southern West Greenland related to field work: abstract volume 2, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser Rapport 2010/58, 14–19.

Keulen, N., Kokfelt, T. F., Berger, A. & Schumacher, J. C. 2011: Archaean tectonics in the Paamiut region, South-West Greenland. In: Geophysical Research Abstracts Vol. 13. EGU General Assembly 2011; EGU2011-8660-1.

Keulen, N., Kokfelt, T. F., & Scherstén, A. 2010: Notes on the common legend to the 1:100 000 digital geological map of southern West Greenland and South-West Greenland, 61°30' - 64°N. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser Rapport 2010/119

Keulen, N., Kokfelt, T. F. & the Homogenisation Team GEUS (A. Scherstén, M. Christoffersen, A. Berger, J. Halskov, T. Heijboer, A.T. Hindø, M. Hornum, M.S. Jørgensen, A.F.M. Kisters, M.B. Klausen, J. Kolb, U. Larsen, T. Næraa, M. Pedersen, B. Pjetursson, Thorkild M. Rasmussen, P. Riisager, F. Schjøth, D.M. Schlatter, J.C. Schumacher, A. Steinfeldt, K. Szilas, V.J. van Hinsberg, F.von Platen-Hallermund, W.L. Weng, M.B. Wiese, B.F. Windley). 2011: A 1:100 000 web-accessible geological map of southern West and South-West Greenland (61°30' – 64°N). In: Geophysical Research Abstracts Vol. 13. EGU General Assembly 2011; EGU2011-12336-1.

Keulen, N., Schumacher, J. C., van Hinsberg, V. J., Szilas, K., Windley, B. F. & Kokfelt, T. F. 2010: The Bjørnsund anorthosite-greenstone belt – linking the Fiskensæset complex to the Ravn Storø metavolcanic belt. In: Kokfelt, T. F. & Kolb, J. (eds.). Annual workshop on the geology of southern West Greenland related to field work: abstract volume 2, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser Rapport 2010/58, 9–13.

Keulen, N., Schumacher, J. C., van Hinsberg, V., Szilas, K., Windley, B., Kokfelt, T. F., Schlatter, D. M. & Scherstén, A. 2011: The Bjørnsund anorthosite-greenstone belt - a link between the Fiskensæset complex and the Ravn Storø metavolcanic belt, southern West Greenland. In: Geophysical Research Abstracts Vol. 13. EGU General Assembly 2011; EGU2011-8525-1.

Keulen, N., Kokfelt, T. F., Berger, A. & Schumacher, J. C. 2011: Archaean tectonics in the Paamiut region, South-West Greenland. In: Geophysical Research Abstracts Vol. 13. EGU General Assembly 2011; EGU2011-8660-1.

Keulen, N., Schumacher, J. C. & Kokfelt, T. F. 2011: Notes on established structural profiles related to the 1:100 000 digital geological map of southern West and South-West Greenland, 61°30' - 64°N. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser Rapport 2011/13.

Kisters, A., Bergen, A., Kokfelt, T. F. & Kolb, J. 2010: Structural Geology in the Grædefjord area, southern West Greenland. In: Kokfelt, T. F. & Kolb, J. (eds.). Annual workshop on the geology of southern West Greenland related to field work: abstract volume 2, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser Rapport 2010/58, 20–22.

Klausen, M. B., Kokfelt, T. F., Keulen, N., Berger, A. & Schumacher, J. C. 2011: Tholeiitic 'komatiite' basalt and calc-alkaline andesite–dacite succession in the Archaean Kvanefjord Area (South-West Greenland): A composite oceanic and volcanic arc suite? In: Geophysical Research Abstracts Vol. 13. EGU General Assembly 2011; EGU2011-10661.

Klausen, M. B., Kokfelt, T. F., Keulen, N., Berger, A. & Schumacher, J. C. 2011: A volcanic komatiite – basalt – andesite – dacite succession within the Archean Craton of South-West Greenland: preliminary field, geochronology and geochemistry results. 3<sup>rd</sup> annual Igneous and Metamorphic Studies Group 2011, Department of Earth Sciences at Stellenbosch University, Matieland, South Africa.

Klausen, M. B., Kokfelt, T. F., Keulen, N., Berger, A. & Schumacher, J. C. 2011: Tholeiitic 'komatiite' basalt and calc-alkaline andesite–dacite succession in the Archaean Kvanefjord Area (South-West Greenland): A composite oceanic and volcanic arc suite? In: Geophysical Research Abstracts Vol. 13. EGU General Assembly 2011; EGU2011-10661.

Klausen, M. B., Berger, A. & Kokfelt, T. F. 2011: Archaean structures around the proposed Frederikshåb Isblink Terrane Boundary in southern West Greenland, 62°25'-62°45'N. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser Rapport 2011/14.

Klausen, M. B., Kokfelt, T. F., Keulen, N., Berger, A. & Schumacher, J. C. 2011: Geochemistry of Archaean serpentinites, tholeiitic amphibolites and calc-alkaline schists across the Niglerlikasik section in the Kvanefjord Region, South-West Greenland (~62°S). Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser Rapport 2011/11.

Kokfelt, T.F., Keulen, N., & Scherstén, A. 2009: Presentation of the map legend. Southern West-Greenland Fieldwork Spring Meeting, Copenhagen – poster.

Kokfelt, T.F., Scherstén, A., Næraa, T. & Keulen, N. 2009: Overview of geochronological data in the area between Ameralik and Frederikshåb Isblink. Southern West-Greenland Fieldwork Spring Meeting, Copenhagen – poster.

Kokfelt, T. & Kolb, J. (eds.) 2010: Annual workshop on the geology of southern West Greenland related to field work: abstract volume II. Geological Survey of Denmark and Greenland, Report 2010/58, Copenhagen, pp 52.

Kokfelt, T. F., Keulen, N., Heijboer, T. C., Næraa, T. & Scherstén, A. 2010: Thematic age distribution maps of the Archaean basement of southern Greenland. In: Kokfelt, T. F. & Kolb, J. (eds.). Annual workshop on the geology of southern West Greenland related to field work: abstract volume 2, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser Rapport 2010/58, 23–25.

Kokfelt, T. F., Keulen, N., Næraa, T., Scherstén, A. & Heijboer, T. 2011: New zircon U/Pb age data from the Archaean craton, South-West and southern West Greenland (61°30'N - 64°00'N). In: Geophysical Research Abstracts Vol. 13. EGU General Assembly 2011; EGU2011-14038.

Kokfelt, T. F., Scherstén, A. & Næraa, T. 2011: New geochronological evidence for a c. 3.1-3.2 Ga. old cratonic core in the Fiskensæset area, South-West Greenland. In: Geophysical Research Abstracts Vol. 13. EGU General Assembly 2011; EGU2011-13662.

Kokfelt, T. F., Keulen, N., Næraa, T., Nilsson, M., Scherstén, A. & Heijboer, T. 2011: Geochronological characterisation of the felsic rocks of the Archaean craton in South-West Greenland and southern West Greenland, 61°30' - 64°N. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser Rapport 2011/12.

Kokfelt, T. F., Keulen, N., & the homogenisation team (A. Scherstén, M. Christoffersen, A. Berger, J. Halskov, T. Heijboer, A.T. Hindø, M. Hornum, M.S. Jørgensen, A.F.M. Kisters, M.B. Klausen, J. Kolb, U. Larsen, T. Næraa, M. Pedersen, B. Pjetursson, Thorkild M. Rasmussen, P. Riisager, F. Schjøth, D.M. Schlatter, J.C. Schumacher, A. Steenfelt, K. Szilas, V.J. van Hinsberg, F.von Platen-Hallermund, W.L. Weng, M.B. Wiese, B.F. Windley). 2011: Geological investigations in the Archaean craton in South-West Greenland and southern West Greenland, 61°30' - 64°N: Summary report for the 'Homogenisation' project. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser Rapport 2011/15.

Kolb, J. & Kokfelt, T. (eds.) 2009: Annual workshop on the geology of southern West Greenland related to field work: abstract volume I. Geological Survey of Denmark and Greenland, Report 2009/21, Copenhagen, pp 36.

Kolb, J., Stensgaard, B.M., Schlatter, D.M. & Dziggel, A. 2009: Controls of hydrothermal quartz vein mineralisation and wall rock alteration between Ameralik and Sermilik, southern West Greenland. Geological Survey of Denmark and Greenland, Report 2009/25, Copenhagen, pp 76.

Kolb, J., Dziggel A., Koppelberg, M., Stoltz, N.B., Kisters, A.F.M. & Bergen, A. 2010: Controls of hydrothermal quartz vein mineralisation and wall rock alteration between Sermilik and Grædefjord, southern West Greenland, vol 2010/47. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport, Copenhagen, p 73.

Kolb, J., Schlatter, D.M., Stensgaard, B.M., & Dziggel, A. 2010: Controls on quartz ± gold vein formation and hydrothermal alteration in the Færingehavn and Tasiusarsuaq terranes, southern West Greenland. 5IAS extended abstract volume.

Kolb, J., Schlatter, D.M., Stensgaard, B.M. & Dziggel, A. 2010: Controls on quartz  $\pm$  gold vein formation and hydrothermal alteration in the F eringehavn and Tasiusarsuaq Terranes, southern West Greenland. In: Tyler, I.M. and Knox-Robinson, C.M. (eds): Fifth International Archean Symposium Abstracts. Geological Survey of Western Australia, Record 2010/18, 313-315.

Kolb, K., Schlatter, D.M., Dziggel, A. & Kisters, A. F.M. 2011: Orogenic gold mineralisation in the Archean North Atlantic craton, southern West and SouthWest Greenland. In: Geophysical Research Abstracts Vol. 13. EGU General Assembly 2011; EGU2011-8427.

Koppelberg, M., Dziggel, A., Kolb, J., Schlatter, D.M. & Flock, R. 2011: Alteration systematics and petrology of gold-bearing quartz veins on the island Qilanngaarsuit, southern West Greenland. In: Geophysical Research Abstracts Vol. 13. EGU General Assembly 2011; EGU2011-10089.

Lewerentz, A., Keulen, N., Kokfelt, T. F. & Scherstén, A. 2010: On the occurrence of baddeleyite in zircon in silica-saturated metamorphic rocks In: Kokfelt, T. F. & Kolb, J. (eds.). Annual workshop on the geology of southern West Greenland related to field work: abstract volume 2, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser Rapport 2010/58, 26–28.

Nilsson, M. K.M., S derlund, U., Ernst, R. E., Hamilton, M. A., Scherstén, A. & Armitage, P. E.B. 2010: U-Pb ages of mafic intrusions in the North Atlantic Craton, and implications for a palaeoreconstruction. In: Kokfelt, T. F. & Kolb, J. (eds.). Annual workshop on the geology of southern West Greenland related to field work: abstract volume 2, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser Rapport 2010/58, 28–31.

N raa, T., Rosing, M., Scherstén, A., Hoffmann, E., Kokfelt T. F. & Kemp, T. 2011: Eo- to Mesoarchean crust formation in the Nuuk region, southernWest Greenland. Constrains from combined U/Pb, Hf and O isotopes in zircon. In: Geophysical Research Abstracts Vol. 13. EGU General Assembly 2011; EGU2011-13670.

N raa, T., Scherstén, A. & Kokfelt, F. T. 2010: Field observations, whole rock chemistry and combined zircon U/Pb/Hf/O isotope analyses from the Ilivertalik Augen Granite, southern West Greenland: Evidence for an igneous granite - charnockite relationship. In: Kokfelt, T. F. & Kolb, J. (eds.). Annual workshop on the geology of southern West Greenland related to field work: abstract volume 2, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser Rapport 2010/58, 32–35.

Pilbeam, L. 2011: The composition of Kimberlite from the Majuagaa dyke southernWest Greenland a quantitative textural and chemical study. In: Geophysical Research Abstracts Vol. 13. EGU General Assembly 2011; EGU2011-11428.

Polat, A., Appel, P.W.U., Fryer, B., Windley, B., Frei, R., Samson, E.M. & Huang, H. 2009: Trace element systematics of the Neoarchean Fiskensæset anorthosite complex and asso-

ciated meta-volcanic rocks, SW Greenland: Evidence for a magmatic arc origing. *Precambrian Research*, 175, 87-115.

Polat, A., Frei, R., Scherstén, A. & Appel, P.W.U. 2010: New age (ca. 2970 Ma) mantle-source composition and geodynamic constraints on the Archean Fiskensæset anorthosite complex, SW Greenland. *Gem. Geol.* 277, 1-20.

Polat, A., Fryer, B.J., Appel, P.W.U., Kalvig, P., Kerrich, R., Dilek, Y., & Yan, Z., 2010: Geochemistry of anorthositic differentiated sills in the Archean (~ 2970 Ma) Fiskensæset Complex, SW Greenland: Implications for parental magma compositions, geodynamic setting, and secular heat flow in arcs. *Lithos*, In Press, Accepted Manuscript, Available online 13 December 2010

Rasmussen, T.M. & Steinfeldt, A. (under forberedelse, vil blive publiceret i 2011): Analysis of regional datasets based on I. geological experience and II. Self-organising maps. Geological Survey of Denmark and Greenland, Report, Copenhagen.

Rehnström, E. F. (compiler). 2011: 64 V.2 Syd. Kapisillit: A new geological 1:100 000 map sheet in the Nuuk area, SW Greenland. In: *Geophysical Research Abstracts Vol. 13. EGU General Assembly 2011*; EGU2011-13675.

Schlatter, D.M. (under forberedelse, vil blive publiceret i 2011): Results from field work in the Bjørnesund and Tartooq areas, southern West Greenland. Geological Survey of Denmark and Greenland, Report, Copenhagen.

Schlatter, D.M. & Kolb, J. 2011: The hydrothermal gold system of the Archaean green stones in the Nuuluk area, Sermiligaarsuk Fjord, South West Greenland. *CERCAMS 14 & MDSG 34*, 5<sup>th</sup> – 7<sup>th</sup> January 2011, Abstract Volume with Programme, The Natural History Museum, London: page 43.

Schlatter, D.M., Kolb, J. & Hoffritz, S.E. 2011: Characterization of host rocks and hydrothermal alteration of the Nuuluk gold occurrences in the Sermiligaarsuk Fjord area, South-West Greenland. In: *Geophysical Research Abstracts Vol. 13. EGU General Assembly 2011*; EGU2011-7359.

Schlatter, D. M., Larsen, U. & Stensgaard, B.M. 2010: Digital field data capture in Greenland: GanFeld news. In: Kokfelt, T. F. & Kolb, J. (eds.). Annual workshop on the geology of southern West Greenland related to field work: abstract volume 2, *Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser Rapport 2010/58*, 36–41.

Schumacher, J. C., Stamper, C., Shermood, G., Keulen, N. & Piazzolo, S. 2010: Pressure and temperature constrains on metamorphism of and the P-T trajectory for altered volcanic rocks from Qilanngaarsuit Island, east of Qarajat Iluat fjord and Ikkattup Nunaa In: Kokfelt, T. F. & Kolb, J. (eds.). Annual workshop on the geology of southern West Greenland related to field work: abstract volume 2, *Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser Rapport 2010/58*, 42–44.

Schumacher, J.C., Keulen, N., Probst, A. & Piazzolo, S. 2009: Metamorphism and host rock interaction with pegmatites. Southern West-Greenland Fieldwork Spring Meeting, Copenhagen – oral presentation.

Schumacher, J.C., Probst, A., Keulen, N., Van Hinsberg, V.J., Windley, B. & Herd, R.K. 2009: Origin of ruby-bearing and related aluminous assemblages in Southwest Greenland. Geological Society of America Annual Meeting, Portland – oral presentation.

Schumacher, J. C., Keulen, N., Stamper, C., Sherwood, G., & van Hinsberg, V. 2011: Metamorphism in southern West Greenland and South-West Greenland. In: Geophysical Research Abstracts Vol.13. EGU General Assembly 2011; EGU2011-10078.

Schumacher, J.C., van Hinsberg, V. & Keulen, N. 2011: Metamorphism in supracrustal and ultramafic rocks in southern West Greenland and South-West Greenland 64 – 61.5°N. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser Rapport 2011/6.

Stensgaard, B.M. ,2009: Hydrothermal mineralization and geochemical results from 2008 fieldwork in the Buksefjord area, southern West Greenland: what did we find. In Kolb, J. & Kokfelt, T.: Annual workshop on the geology of southern West Greenland related to field work: abstract volume 1. Geological Survey of Denmark and Greenland, Report 2009/21, Copenhagen, p. 17–17. [Kun delen af B.M. Stensgaard]

Stensgaard, B.M., Schlater, D.M. & Rasmussen, T.M. (under forberedelse, vil blive publiceret i 2011): Mineral potential mapping for gold in southern West Greenland, 61°30'N – 64°00'N. Geological Survey of Denmark and Greenland, Report [nummer ikke endelig], Copenhagen.

Stensgaard, B. M., Kolb, J., Nielsen, T. F. D. & Thrane, K. 2011: The Archaean craton and Palaeoproterozoic mobile belt in South-East Greenland: An overview of our current understanding. In: Geophysical Research Abstracts Vol.13. EGU General Assembly 2011; EGU2011-14021.

Stoltz, N. B., Dziggel, A.. & Kolb, J. 2011: Formation of garnet coronas during high-P retrogression in mafic granulites of the Mesoarchaeoan Tasiusarsuaq terrane, southern West Greenland. In: Geophysical Research Abstracts Vol.13. EGU General Assembly 2011; EGU2011-10042-1.

Szilas, K. 2010: Supracrustal rocks of the Tartoq Group, SW Greenland In: Kokfelt, T. F. & Kolb, J. (eds.). Annual workshop on the geology of southern West Greenland related to field work: abstract volume 2, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser Rapport 2010/58, 45–48.

Szilas, K., Garde, A. A., Scherstén, A., van Gool, J. & Østergaard, C. 2011: Mesoarchaeoan premetamorphic hydrothermal alteration of tholeiitic basalt resulting in aluminous lithologies, Storø supracrustal belt, Nuuk region, southern West Greenland. In: Geophysical Research Abstracts Vol.13. EGU General Assembly 2011; EGU2011-12125-1.

Szilas, K., Scherstén, A., Hoffmann, J. E., Kokfelt, T. F., van Hinsberg, V. J., Windley, B. F. & Münker, C. 2011: Linking the Ravns Storø and Bjørnesund supracrustal belts (SW Greenland) using Lu-Hf and Sm-Nd isotopic data and whole-rock Geochemistry. In: Geophysical Research Abstracts Vol.13. EGU General Assembly 2011; EGU2011-11114-1.

Szilas, K., van Hinsberg, V. J., Kisters, A. F. M., Kokfelt, T. F., Scherstén, A. & Windley, B. F. 2011: Remnants of Mesoarchaeoan oceanic crust in the Tartoq Group, North Atlantic Craton, SW Greenland. In: Geophysical Research Abstracts Vol.13. EGU General Assembly 2011; EGU2011-3170-2.

Szilas, K., Berger, A., Kokfelt, T.F., Næraa, T., Scherstén, A. & Klausen, M.B. 2011: Geochemistry of the supracrustal rocks and the associated intrusive TTG suites of the Archaean craton in South-West Greenland and southern West Greenland, 61°30' - 64°N. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser Rapport 2011/10.

Szilas, K., van Hinsberg, V., Kisters, A., Kokfelt, T.F., Scherstén, A. & Windley, B.F. 2011: (submitted): Remnants of Mesoarchaeoan oceanic crust in the Tartoq Group, southern West Greenland. ROSA.

van Hinsberg, V. 2010: The Tartoq metamorphic sequence: Using tourmaline to reconstruct its thermal and chemical history. In: Kokfelt, T. F. & Kolb, J. (eds.). Annual workshop on the geology of southern West Greenland related to field work: abstract volume 2, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser Rapport 2010/58, 49–51.

van Hinsberg, V. J., Szilas, K. & Kisters, A. 2011: The Tartoq Group, SW Greenland: Mineralogy, textures and a preliminary metamorphic to hydrothermal history. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser Rapport 2011/120.

van Hinsberg, V. J., Kisters, A. & Szilas, K. 2011: Constraining the geotectonic setting for the Archaean Tartoq Group (SW Greenland) from its metamorphic and structural history. In: Geophysical Research Abstracts Vol. 13. EGU General Assembly 2011; EGU2011-10026.