



TEMANUMMER Guldfund og pladetektonik Den ketilidiske bjergkædedannelse i Sydgrønland

- Det ketilidiske orogen - en oversigt
- Guld i Ketiliderne
- Ketilidernes opbygning og dannelsehistorie

Det ketilidiske orogen - en oversigt



Adam A. Garde

Grønlands sydspids består af en nedroderet bjergkæde, som blev dannet for omkring 1800 millioner år siden langs randen af det ældre grundfjeld i nord. Regionen kaldes det Ketilidiske orogen eller blot Ketiliderne - navnet henviser til orogenese, som betyder bjergkædedannelse, og til Ketils Fjord, der er det nordiske navn for en af Sydgrønlands mest markante fjorde. Både ud fra forskningsmæssige og økonomisk-geologiske kriterier er det Ketilidiske orogen en meget interessant geologisk provins, og nye undersøgelser gennem de seneste år har ført til en helt ny teori for bjergkædedannelsen. Der er også gjort flere interessante guldfund, og i Kirkespirdalen ved Nanortalik er et efterforskningselskab langt fremme med detailundersøgelser med henblik på at etablere en guldmine.

Den sydligste del af Grønland blev dannet for mellem 1855 og 1725 millioner år siden i Proterozoisk tid*. Herved opstod Ketiliderne som en tilvækst af ny kontinental jordskorpe langs sydsiden af det ca. 3000 millioner år gamle Arkæiske* grundfjeld (fig. 1, 3 og 4). Skemaet fig. 2 viser en oversigt over Ketilidernes udvikling i tid og rum.

For godt og vel 1850 millioner år siden begyndte den sydlige grænse af det Arkæiske grundfjeld at blive ustabil, og der opstod en aktiv pladegrænse mod et ocean syd for grundfjeldet. Den oceaniske plade begyndte at bevæge sig i nordlig retning ind under kontinentet ved pladetektonisk underskydning (subduktion, se

Fig. 1. Sceneri ved fjeldet 'Sorte Nunatak' nordvest for Danell Fjord, på grænsen mellem Julianehåb batholitten og Sandstenszonen (stedet er vist på fig. 3). Den nederste del af fjeldmassivet består af granit tilhørende Julianehåb batholitten; den øvre del består af sandsten og sorte vulkanske bjergarter, der er aflejret på granitten.

* henviser til ordlisten



boks om pladetektonik). Under mødet mellem den kontinentale og den oceaniske plade begyndte den sydlige rand af det Arkæiske kontinent at synke ind, og der afsattes Ketilidiske sedimenter* og lavaer*. Samtidig blev der dannet en vulkansk øbue af basisk til granitisk sammensætning syd for kontinentet, som efterhånden blev til kernen i det Ketilidiske orogen*.

Mødet mellem den kontinentale og oceaniske plade foregik ikke ved et frontalt sammenstød, men lidt sideværts i skæv

vinkel. Herved opstod der et kompliceret system af deformations*- og forskydningszoner* i den nye bjergkæde, efterhånden som den voksede.

Bjergkædens rødder kan indeles i fire zoner parallelt med den oprindelige nordøst-sydvest rettede kontinentrand (fig. 3-4). De fire zoner er tilsammen op imod 225 kilometer brede: fra nordvest mod sydøst drejer det sig om: **Grænsezonen** mod det Arkæiske grundfjeld, **Julianehåb**

batholitten, **Sandstenszonen**, og **Skiferzonen** nærmest det forsvundne ocean. En batholit* består af et stort antal granitlegemer, der udgør rødderne i en øbue.

Julianehåb batholitten (fig. 5) opstod og fortsatte med at vokse, efterhånden som granitiske smelter dannet i forbindelse med underskydningen af den oceaniske plade trængte op i en øbue langs den sydlige grænse af det gamle grundfjeld. Smelterne (magmaet*) kom op i mange pulser i perioden for 1855-1794 millioner år siden, og størknede til store linseformede granitlegemer med volumener på op til flere tusind kubikkilometer. I den vestlige del af batholitten er granitlegemerne som regel stejltstående; mod øst er de ofte mere fladtliggende. Af og til trængte smelte helt op til overfladen og dannede vulkaner, så regionen blev dækket af aske og lava.

Mens vulkanerne voksede og forvitringen satte ind, hævede batholittens top sig op over havniveau. Erosionen nåede igennem det vulkanske dække ned til selve batholitten, og havområderne på dens flanker fik tilført masser af nedbrydningsmateriale.

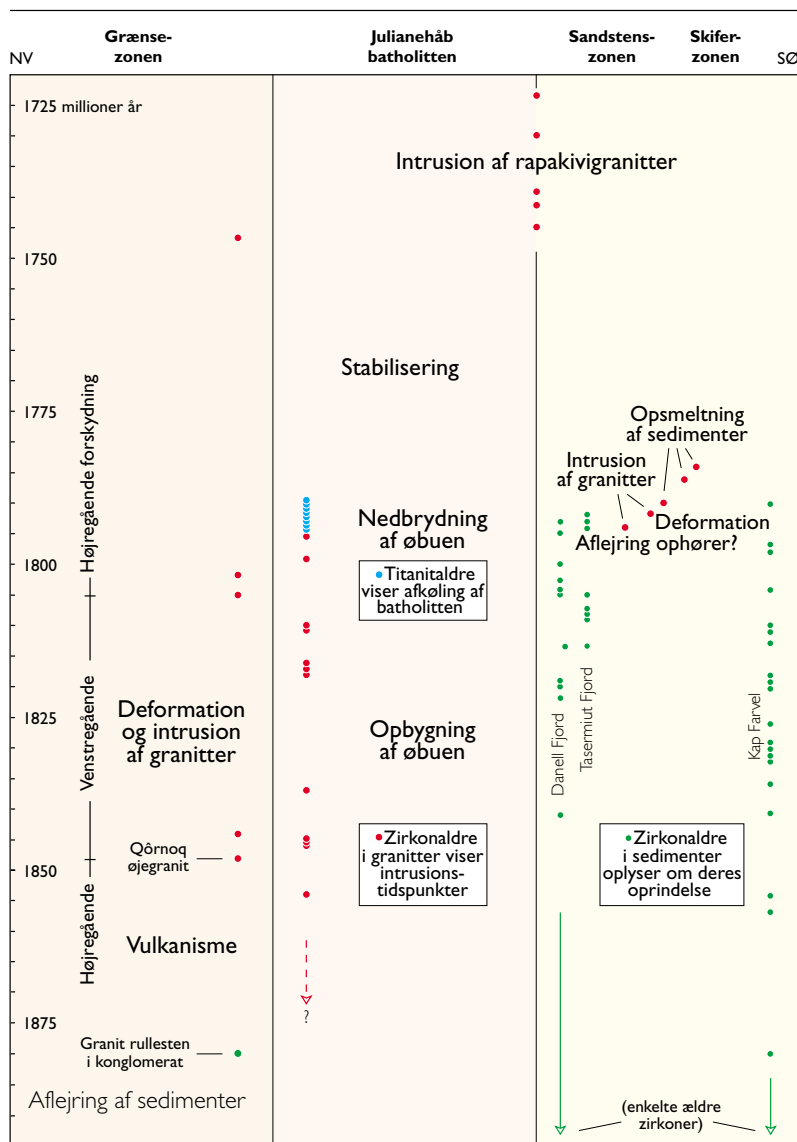
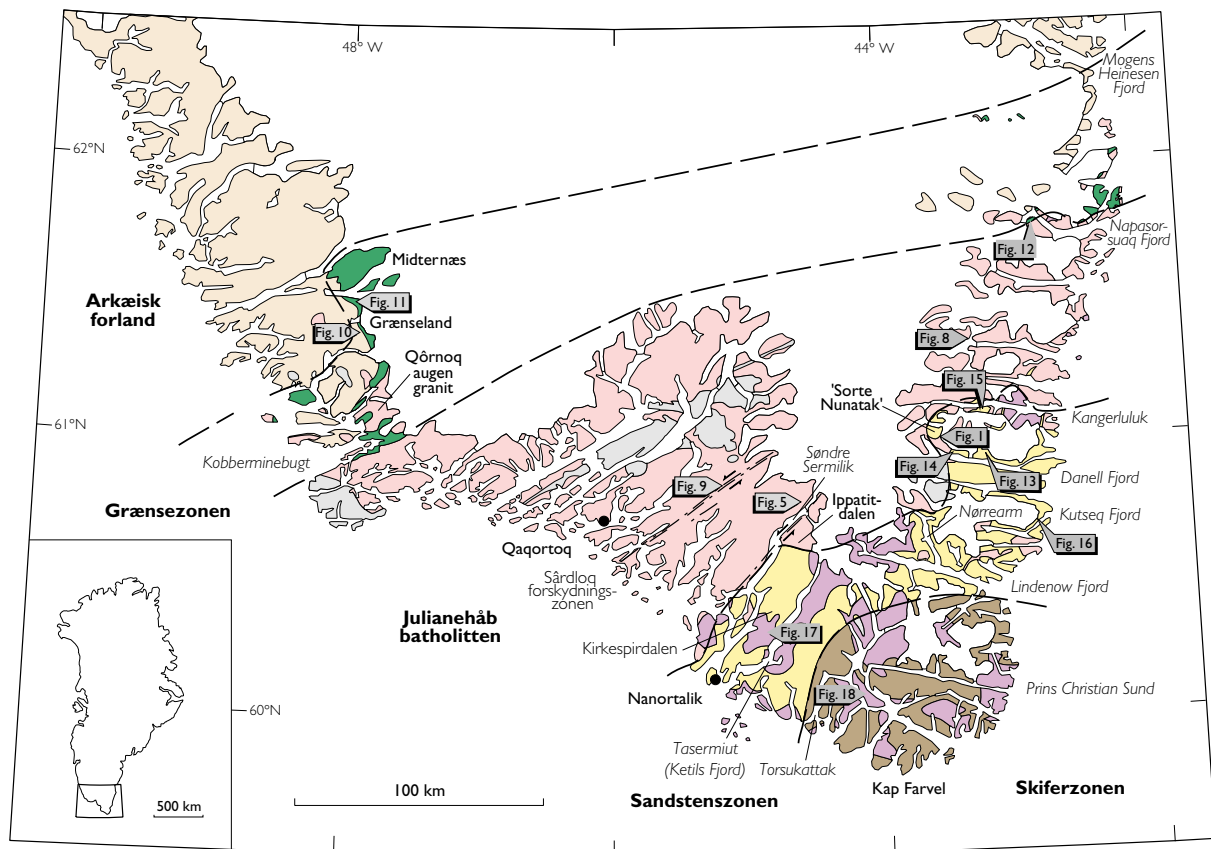


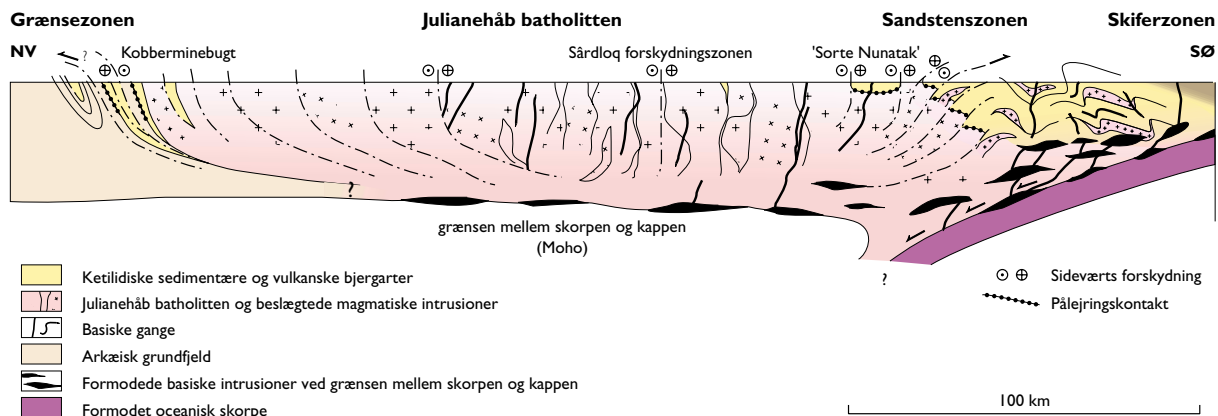
Fig. 2. Oversigt over det Ketilidiske orogens udvikling i perioden fra omkring 1875 til 1725 millioner år siden, lodret i diagrammet. De fire zoner er vist skematisk fra venstre til højre, i retning fra nordvest til sydøst. Røde og grønne cirkler er aldersbestemmelser af zirkon. Hver rød cirkel viser alderen af en magmatisk intrusion eller tidspunktet for opsmeltning (se boks om aldersbestemmelse). De grønne cirkler er aldre på zirkonkrystaller i sedimenter, hvor aldersfordelingen giver et fingerpeg om sedimenternes oprindelse. Blå cirkler er udvalgte aldersbestemmelser af titanit, som viser afkøling af Julianehåb batholitten. Oversigten viser, at det tog mindst 50 millioner år at opbygge Julianehåb batholitten, og at den efterfølgende aflejring, deformation og metamorfose af Sandstens- og Skiferzonerne foregik meget hurtigt.



Det Ketilidiske orogen

- | | | |
|--|--|---|
| Indlandsis | Rapakivi granitter og beslægtede intrusioner | Julianeheb batholitten |
| Gardar bjergarter (1100-1300 mill. år) | Metasedimenter og granitter (Skiferzonen) | Metasedimentære og vulkanske bjergarter (Grænsezonen) |
| | Metasedimenter og granitter (Sandstensen) | Arkæisk grundfjeld |

Fig. 3. Geologisk kort over det Ketilidiske orogen. De små grå skilte henviser til andre figurer.



- | |
|--|
| Ketilidiske sedimentære og vulkanske bjergarter |
| Julianeheb batholitten og beslægtede magmatiske intrusioner |
| Basiske gange |
| Arkæisk grundfjeld |
| Formodede basiske intrusioner ved grænsen mellem skorpen og kappen |
| Formodet oceanisk skorpe |

- | |
|-----------------------|
| Sideværts forskydning |
| Pålejringskontakt |



Fig. 5. Typisk parti af Julianeåb batholitten. Billedet viser granodiorit med en mørk intrusion af diorit i den bagerste del, gennemskåret af tynde basiske gange i mange retninger. Fra en 600 m høj fjeldside nordvest for gletscheren i bunden af Søndre Sermilik (placering, se fig. 3).

Grænsezonen nordvest for batholitten består nederst af omdannede aflejringer af sand og ler, der stammer fra det gamle grundfjeld nord for. Sandet og leret blev afsat i et lavvandet havområde, der tidligt under bjergkædedannelsen lå mellem grundfjeldet i nord og den voksende batholit i syd. I den vestlige del af Grænsezonen trængte basaltiske smelter op gennem havbunden og dannede tykke undersøiske lavastrømme.

Sandstenszonen og Skiferzonen på den oceanvendte sydside af batholitten består langt overvejende af omdannede sandsten og lersten - materiale, der oprindeligt stammer fra forvitring af batholitten - foruden mindre indslag af ældre nedbrydningsprodukter. Det groveste nedbrydningsmateriale, som transporteredes med floderne fra batholitten, blev afsat i den nordligste del af området i form af stenblokke, grus og sand, mens

det finere materiale afsattes længere mod sydøst i det åbne hav i form af silt og ler. Der er dog også vulkanske aflejringer og magmatiske intrusioner i begrænsede mængder i begge zoner.

Umiddelbart efter sedimentationen blev både Sandstens- og Skiferzonen udsat for flere faser af intens deformation* og foldning. Samtidig foregik der en kraftig opvarmning, hvorved de sedimentære bjergarter blev omkrystalliseret og begyndte at smelte. Opsmeltningen forløb ved høj temperatur, men ved lavt tryk. Det skyldes muligvis, at der tilførtes ekstra varme fra store fladtliggende linser af magma nær grænsen mellem Jordens skorpe og kappe (fig. 4).



Fig. 4. Skematisk tværsnit gennem det Ketilidske orogen fra Grænsezonen til Skiferzonen for 1785 millioner år siden, inden intrusion af rapakivigranitterne, set mod nordøst. Sammenlign med den skematiske figur i boksen om pladetektonik.

Pladetektonik

Den yderste del af Jorden består af stive plader, som bevæger sig i forhold til hinanden. Pladerne dannes langs vulkanske rygge i oceanerne og destrueres andre steder med bjergkædedannelse til følge. Disse processer kaldes tilsammen pladetektonik (se figur). Den moderne pladetektonik begyndte med teorien om kontinentaldrift, fremsat i 1915 af meteorologen Alfred Wegener, bl.a. på baggrund af, at Afrikas og Sydamerikas kystlinjer passer nøje sammen. Wegener mente, at disse kontinenter var blevet adskilt fra hinanden ved kontinentaldrift, men havde ikke nogen tilfredsstillende forklaring på kræfterne og dynamikken bag kontinenternes bevægelser. Teorien blev derfor forkastet og latterliggjort af de fleste af samtidens geologer.

Pladernes vækst

Først i 1960'erne fandt man en god forklaring på Wegeners observationer, og løsningen blev ikke fundet på kontinenterne, men i oceanernes bund. Man blev klar over, at der til stadighed dannes ny oceanskorpe langs vulkanske rygge over dybe brudlinjer i oceanskorpen, hvor magma* stiger op fra Jordens kappe. En af de mægtigste af disse rygge, den Midatlantiske ryg, løber nord-syd gennem Atlanterhavet og gennem Island.

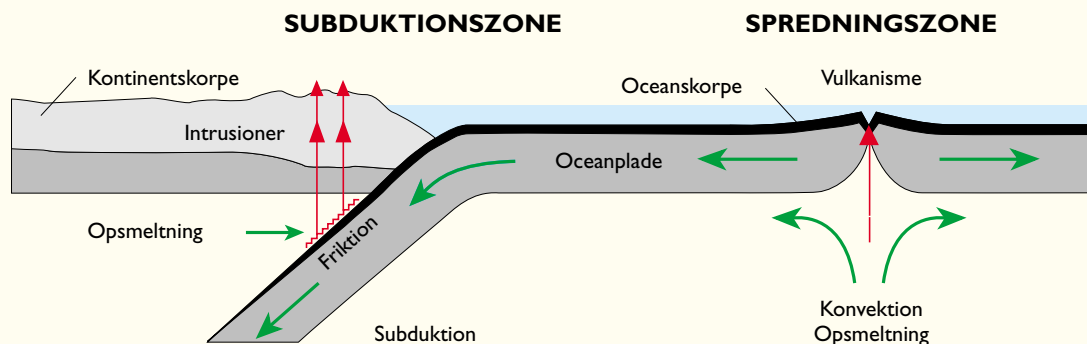
Magmaet stiger op langs en brudlinje midt i ryggen og danner ny oceanskorpe, som straks spaltes af en ny brudlinje, glider til side og giver plads til mere magma nedefra. Med få centimeter om året skubbes ældre havbund ud til begge sider som store plader. Hele Jordens overflade er opdelt i sådanne plader, som består af oceanisk eller kontinental skorpe og desuden omfatter den øverste, stive del af kappen. Pladerne glider på et blødt, delvis opsmeltet lag lidt længere nede i kappen. Drivkraften bag pladetektonik er varmeproduktion i Jordens indre under henfald af radioaktive grundstoffer. Varmen skaber en langsom strømning (konvektion) inde i Jordens kappe, og denne strømning styrer pladernes bevægelser på Jordens overflade.

Pladernes destruktion

Jordens volumen og overfladeareal er konstante, og der dannes hele tiden ny oceanskorpe. Derfor må pladerne nedbrydes igen - og det sker, hvor de støder sammen. Det foregår typisk langs randen af et gammelt kontinent. Her skubbes oceanskorpen ind under kontinentet og føres ned i kappen, fordi oceanskorpe består af bjergarter, som er tungere end kontinentets. Gnidningsmodstanden mellem de to plader resulterer i varmeudvikling og hyppige jordskælv.

Når den kolde oceanplade føres ned i dybet og varmes op, frigives der vand fra vandholdige mineraler i pladens øverste del. Vandet stiger op i kappen oven over den neddykkede oceanskorpe og sænker derved kappens smeltepunkt. Derfor dannes der store mængder af smelte, som trænger op gennem kappen og videre op langs randen af det gamle kontinent, hvor først en vulkansk øbue og senere en hel bjergkæde vokser frem. Mellem øbuen og det gamle kontinent kan der dannes et lavvandet hav, hvis aflejringer senere indgår i den nye bjergkæde. Et godt eksempel herpå er området omkring Japan, hvor Japan er øbuen med vulkaner og jordskælv, og havet mellem Japan og Kina er indsynkningsbassinet bag øbuen. Andesbjergene langs Sydamerikas vestkyst er et andet eksempel uden et lavvandet hav bag bjergkæden. Også det Ketilidiske orogen er dannet i et sådant miljø.

Støder to kontinenter sammen, vil de blive presset ind i hinanden, og skorpen fortykkes. Under disse omstændigheder kan der dannes meget høje bjergkæder, fordi den fortykkede - men lette - skorpe flyder på kappen som et isfjeld i vand. Moderne eksempler findes i Alperne, hvor Afrika bevæger sig mod Europa, og i Himalaya, hvor det Indiske kontinent støder ind i Asien.



Pladetektonisk principskitse. Til højre ses dannelsen af ny oceanbund i spredningszone langs en oceanryg; det sker langs en zone i kappen, hvor der er opadgående konvektion. Til venstre ses subduktion (neddykning) af en oceanplade under et kontinent. Herved sker der en delvis opsmeltning af kappen ovenover den neddykkede plade, som fører til dannelsen af ny kontinental skorpe med granitintrusioner. Sammenlign med fig. 4.

Guld i Ketiliderne

Flere steder i Sydgrønland er der i de senere år, ved hjælp af vaskepande og tålmodighed, fundet små synlige guldkorn i sand fra bunden af bestemte elve, som afvander de Ketilidiske fjelde. Der er også foretaget systematiske undersøgelser, hvor indholdet af guld i sand fra vandløb er analyseret rutinemæssigt, se fig. 6. Det Ketilidiske orogen er en guldprovinc - dvs. en region, hvor indholdet af guld er forhøjet i forhold til andre regioner, og hvor mulighederne for at finde brydeværdige guldforekomster derfor er større end normalt.

Guldmineraliseringer er ofte knyttet til hydrothermale omdannelser*, dvs. omdannelser forårsaget af gennemstrømmende varmt vand. Den slags omdannelser er al-

mindelige i visse dele af det Ketilidiske orogen, specielt i den del af Sandstenszonen, der ligger tæt på Julianehåb batholitten, se fig. 6. De mest lovende guldfund er gjort i kvartsårer, der som oftest kun er få cm og allerhøjest omkring 1 m tykke. De guldholdige kvartsårer findes for eksempel i forskydningszoner* og breccier* inde i batholitten, og i vulkanske bjergarter i Sandstenszonen i nærheden af batholitten.

Nalunaq guldforekomsten i Kirkespirdalen

De mest interessante guldfund er gjort i Kirkespirdalen på Nanortalik halvøen mellem Tasermiut og Søndre Sermilik (fig. 3 og 6). Her - og i andre dele af Ketiliderne -

blev der i 1980'erne systematisk søgt efter guld i sand fra bunden af vandløb, og der var gevinst i flere af dem. Nanortalik kommune og private investorer forsøgte først at udvinde guld direkte fra de løse nutidige aflejringer i bunden af Kirkespirdalen, men det viste sig desværre, at lødigheden var for lav. I 1992 fandt Nunaoil A/S synligt guld i en op til 50 cm tyk kvartsåre i en fjeldside halvvejs oppe i Kirkespirdalen. Forekomsten fik navnet Nalunaq - "stedet, der er svært af finde". I 1993-95 fandt selskabet meget høje guldkoncentrationer i borekerner, som ansporede til fortsatte undersøgelser. I sommeren 1998 blev en 300 m lang tunnel sprængt ind i fjeldet langs den mest lovende kvartsåre, og der blev

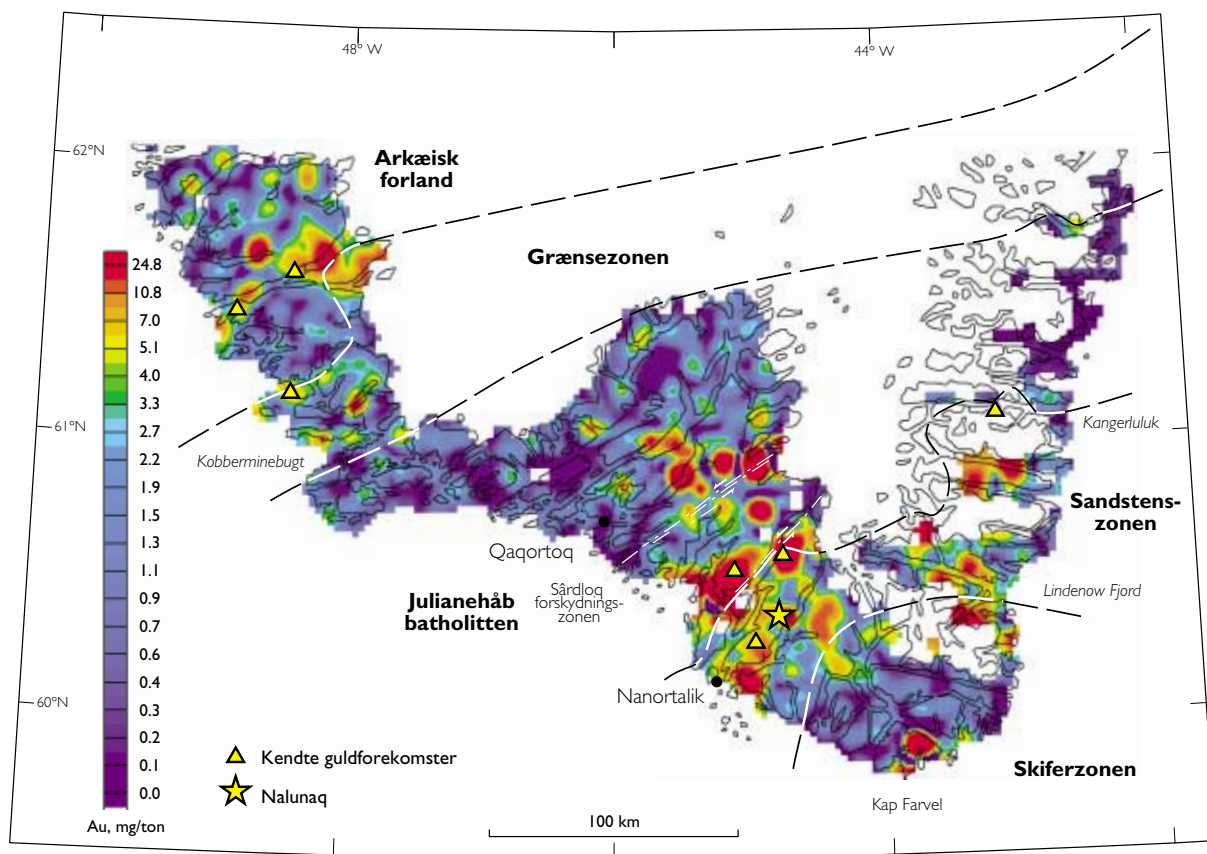


Fig. 6. Geokemisk kort over fordelingen af guld i Ketiliderne, påvist ved hjælp af analyser af løse sedimentprøver fra bunden af vandløb. Der er analyseret for guld i næsten 2500 prøver, som er systematisk indsamlet i hele den isfri del af Sydgrønland. Guldmængden i prøverne varierer fra nul, mørk blå farve, til 850 milligram pr. ton, rød farve. Hvis der er over 10 milligram pr. ton i flere prøver fra det samme område, er der gode chancer for at finde guldforekomster i oplandet ovenfor bækken. Trekantsymbolerne viser steder, hvor der er fundet guld i fast fjeld, men hvor der ikke for tiden er planer om brydning. Forekomsten ved Nalunaq er vist med en stjerne. Kortet viser ikke gulddindholdet i de enkelte prøver, men beregnede gennemsnit for hvert af de små kvadrater, som opbygger kortet.

løbende udtaget prøver til analyse for at vurdere, om der var basis for at etablere en guldmine. Resultaterne var opmuntrende, og de videre undersøgelser foretages i øjeblikket af et privat selskab, hvori Grønlands Hjemmestyre har en aktiepost.

Lidt om mineraliseringsprocesser

De guldførende kvartsårer i Kirkespirdalen, som for øjeblikket undersøges med henblik på etablering af en guldmine, findes i en mørk, grønlig bjergart bestående af omdannet lava og tuf*. De vulkanske bjergarter blev afsat i et aflejringsbassin oven på Julianehåb batholitten og siden udsat for metamorfo-

se* og deformation*, hvorved de blev transporteret mod nordøst langs en overskydning eller under dannelsen af en stor liggende fold. Guldet sidder i smalle årer, som følger fladtliggende forskydningszoner i de vulkanske bjergarter. Årerne har en kerne af kvarts omgivet af mineralerne diopsid* og feldspat*. Der kan være synlige guldkorn på op til 2 millimeter i de kvartsrige dele af årerne, men guldet er desuden ofte koncentreret i de diopsid- og feldspatrige dele og usynligt for det blotte øje.

De mineraliserede årer er afsat af hydrothermale væsker under lavt tryk langs sprækkezoner i de omdannede vulkanske bjergarter. Det ca. 250–350°C varme vand

havde et højt saltindhold og var formentlig cirkulerende havvand, som blev varmet op ved at gennemstrømme de øvre, opsprækkede dele af den endnu varme Julianehåb batholit. Varmt, saltholdigt vand kan opløse guld i de bjergarter, det passerer igennem - for eksempel lavaer, som oprindeligt har haft et vist indhold af finfordelt guld, eller muligvis dele af Julianehåb batholitten. Guldet transporteres i det varme vand i form af komplekse ioner, hvor positivt ladede guld-ioner er omgivet af et antal negativt ladede ioner. Genudfældningen sker, hvor fallende temperatur, tryk eller ændringer af de kemiske forhold gør de komplekse ioner ustabile.

Aldersbestemmelse ved radioaktivt henfald

Grundstoffer, isotoper og radioaktivt henfald

Det naturlige henfald af radioaktive grundstoffer til andre grundstoffer, som ikke er radioaktive, kan benyttes til geologisk aldersbestemmelse.

Mange grundstoffer består af flere forskellige isotoper - det vil sige varianter af det samme grundstof med lidt forskellig atomvægt. For eksempel findes der tre isotoper af kulstof. To af dem er ikke radioaktive, men den tredje isotop, kulstof-14, er radioaktiv og henfalder til kvælstof. Tilsvarende henfalder begge de to naturligt forekommende isotoper af uran til to forskellige isotoper af bly. Radioaktivt henfald er en proces, hvor en bestemt brøkdelen af den radioaktive isotop henfalder i løbet af et givet tidsrum. Man taler om halveringstiden, den tid det tager for halvdelen af den oprindelige mængde at henfalde.

Aldersbestemmelse med zirkonkrystaller og titanit

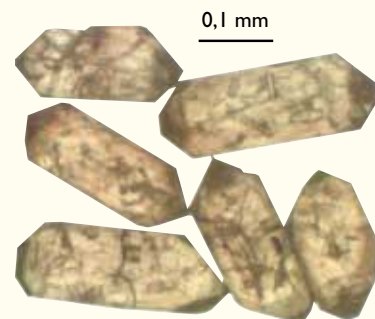
Når man foretager geologiske aldersbestemmelser, udnytter man naturligt radioaktivt henfald i en bjergart eller et mineral, som man vil kende alderen på. Ud fra halveringstiden for den radioaktive isotop og målinger af dens restmængde samt mængden af det nydannede henfaldsprodukt, kan

man beregne dannelses-tidspunktet for bjergarten eller mineralet.

Mineralet zirkon ($ZrSiO_4$) er velegnet her til. Zirkon dannes ved krystallisation fra granitiske smelter som små, aflange krystaller (se figur). Foruden metallet zirkonium indeholder zirkon også lidt uran, som passer ind i krystalgitteret på de pladser, hvor zirkonium ellers sidder. Derimod er der ikke plads til bly - urans henfaldsprodukt - når krystallerne dannes.

Fra det øjeblik, zirkonkrystallerne er udkrystalliseret fra granitten og afkølet til under ca. 800°C, er deres indre forsejlet fra omverdenen, og det radioaktive ur begynder at tikke. Det bly, som siden dannes ved uranets henfald, passer ganske vist ikke i krystalgitteret, men fanges alligevel inde i de solide krystaller. Zirkon kan tåle kraftige ydre påvirkninger som f.eks. deformation, metamorfose eller forvitring, uden at det indre krystalgitter påvirkes nævneværdigt. Ved aldersbestemmelsen pilles en zirkonkrystal ud af sin bjergart, og dens indhold af uran og bly undersøges i et massepektrometer, hvor de enkelte isotoper måles. Ud fra forholdene mellem de to isotoper af uran og deres respektive henfaldsprodukter af bly kan zirkonens alder beregnes og den geologiske hændelse tidsfæstes - i dette tilfælde intrusionen af en granit.

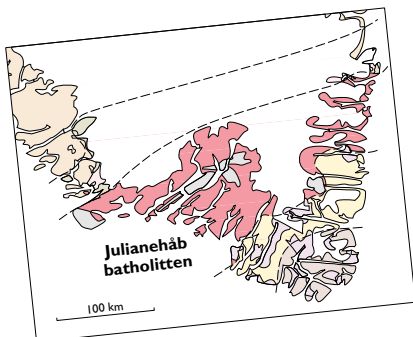
Aldersbestemmelse ved hjælp af mineralet titanit foregår i princippet på samme måde, men da titanit omkrystalliserer ved væsentligt lavere temperaturer, giver det andre geologiske oplysninger end zirkon. Der findes også andre metoder til radiometrisk aldersbestemmelse.



Typiske zirkonkrystaller fra en granodiorit i den vestlige del af Julianehåb batholitten. Krystallerne er omkring en kvart millimeter lange og 1796 millioner år gamle. Foto: M.A. Hamilton.

Ketilidernes opbygning og dannelseshistorie

JULIANEHÅB BATHOLITTEN



Julianehåb batholitten (fig. 5, s. 5) udgør den største del af det Ketilidiske orogen. På østkysten strækker den sig fra Napa-sorsuaq Fjord til Kangerluluk, ca. 70 km, og på vestkysten fra Kobberminebugt til Søndre Sermilik, ca. 150 km. I alt dækker

batholitten et areal på omkring 30.000 km² incl. store områder under Inlandsisen.

Batholitten består hovedsagelig af intrusioner af granit, granodiorit og andre siliciumrige bjergarter, som tilsammen udgør rødderne af en typisk øbue. Der er også mere basiske intrusioner af diorit og gabbro, foruden små mængder af lava og sedimentære bjergarter. Batholittens udbredelse er tydelig på fig. 7, som viser et magnetisk kort over Sydgrønland optaget fra fly. De røde, magnetiske områder svarer ret præcis til batholittens udbredelse, idet batholitten indeholder mere magnetit end de omgivende bjergarter. Det magnetiske kort er upåvirket af, at målingerne i store områder er foretaget ned gennem Inlandsisen.

Magmatiske gange

Tynde hornblende*- eller biotit*-bærende magmatiske gange optræder i alle fire zo-

ner af det Ketilidiske orogen, men er særligt talrige i batholitten (fig. 5, s. 5). Mangen af gangene består af to forskellige komponenter, en granitisk og en basisk, som er intruderet samtidig. Gangenes strukturer og kontaktforhold viser, at de er dannet, mens sidestenen endnu ikke var helt størknet. De har således ofte en delvis magmatiske foliation* af samme alder som i værtsbjergarten, og boudinering* er almindelig.

Fig. 7. Magnetisk kort over Sydgrønland målt fra fly. De røde farver viser områder med højt magnetisk signal, som stort set svarer til udbredelsen af Julianehåb batholitten og primært skyldes tilstedeværelsen af mineralet magnetit. Granitter af magmatiske og sedimentære oprindelse i nærheden af batholitten giver også forhøjede signaler. Undersøgelsen blev finansieret af Grønlands Hjemmestyre. nT (nanotesla) er den benyttede måleenhed for den magnetiske intensitet.

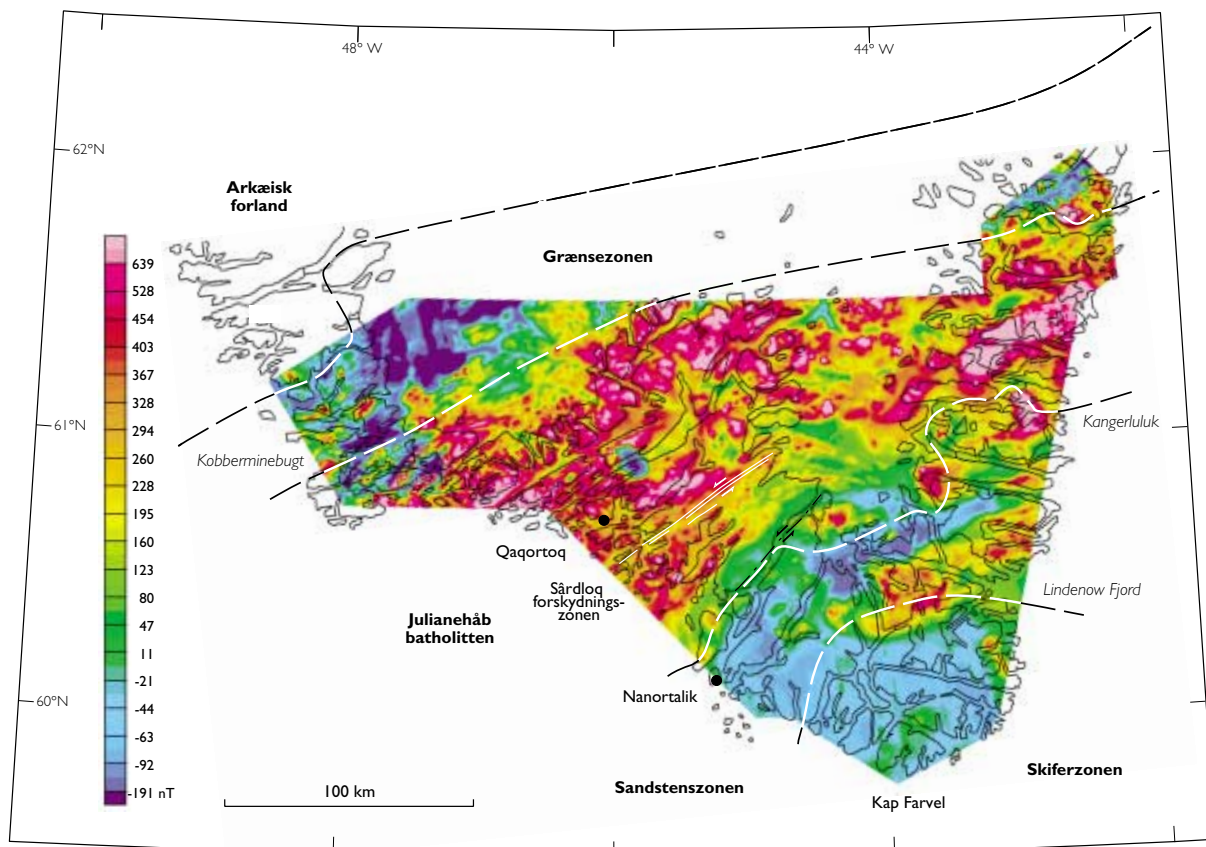




Fig. 8. Stejltstående forskydningszone i den østlige del af Julianehåb batholitten mellem Kangerluluk og Napasorsuaq Fjord. Fjeldsiden er ca. 400 m høj. Placering se fig. 3.

Nogle steder kurver sene gange ind i forkastninger, medens andre er blevet forskudt af forkastninger. Det viser, at de seneste gange og forkastningerne er samtidige.

Aldersbestemmelser af batholitten

Aldersbestemmelser af mineralet zirkon fra forskellige dele af Julianehåb batholitten



(se skemaet fig. 2 og boks) viser, at den ikke består af delvis opsmeltet Arkæisk grundfjeld, men er dannet af smelter fra Jordens kappe i Proterozoisk tid. Zirkon dannes under krystallisation fra smelter ved høje temperaturer, og aldersbestemmelser ved hjælp af zirkoner giver derfor oplysninger om tidspunktet for intrusionen af den pågældende bjergart. Zirkonalde fra forskellige dele af Julianehåb batholitten viser, at den blev intruderet for mellem 1855 og 1792 millioner år siden, tilsyneladende med en længere pause på omkring 15 millioner år i perioden mellem 1835 og 1820 millioner år.

Aldersbestemmelser ved hjælp af mineralet titanit har givet andre oplysninger, nemlig om tidspunktet for batholittens afkøling. Titanit omkrystalliserer ved væsentligt lavere temperaturer end zirkon, ned til omkring 550°C. Et stort antal aldersbestemmelser på titanit fra Julianehåb batholitten giver sammenfaldende aldre på omkring 1800 millioner år. Det er sandsynligvis omkring dette tidspunkt, at batholitten for alvor blev stabiliseret, voksede op over havniveau og begyndte at blive borteroderet.

Fig. 9. Detalje af deformeret Julianehåb granodiorit fra Sárdloq forskydningszonen. De deformede og omtrent linseformede men asymmetriske feldspatkrystaller afspejler venstregående bevægelse. Mønten er 2,7 cm i diameter.

Deformation af batholitten

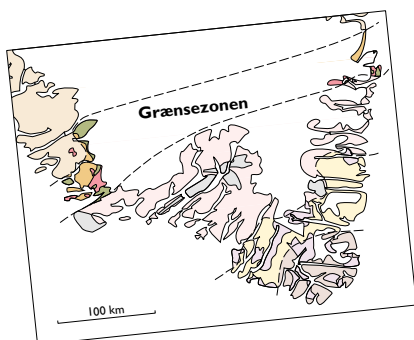
Samtidig med den magmatiske aktivitet blev den voksende batholit deformeret under det vedvarende pres langs grænsen mellem den kontinentale og den neddykkende oceaniske plade. Deformationen foregik både, mens de enkelte granitlegger i batholitten var i færd med at størkne, og efter deres afkøling. Store aflange feldspatkrystaller blev derfor orienteret parallelt med hinanden ved flydning, mens de stadig var delvis omgivet af smelte, og da deformationen fortsatte ved lavere temperaturer, blev dele af batholitten helt eller delvis omkrystalliseret til gnejs.

Deformationskræfterne under det skæve møde mellem de to plader blev omsat til to forskellige komponenter, der var orienteret henholdsvis på tværs af og parallelt med bjergkæden. De tværgående kræfter betød, at bjergarterne blev trykket sammen, og kræfterne parallelt med bjergkæden skabte sideværts forskydninger.

En stor del af de sideværts bevægelser var lokaliseret i markante, op til 1,5 km brede forskydningszoner (fig. 8) bestående af stærkt udvalgte gnejsler, for eksempel Sárdloq forskydningszonen i den sydvestlige del af batholitten. Bevægelserne var mest venstregående, dvs. forskydningszonernes nordsider blev tvunget til venstre i forhold til deres sydsider (fig. 9). Forskydningszoner dannes under plastisk deformation ved temperaturer på flere hundrede grader. Under fortsat deformation ved endnu lavere temperaturer erstattes forskydningszonerne af forkastninger, hvor bevægelsen sker i veldefinerede brud.

I Kobberminebugt langs overgangen mellem Grænsezonen og Julianehåb batholitten viser deformationsstrukturer sammen med aldersbestemmelser, at bevægelsesretningen er skiftet mindst to gange (se skemaet fig. 2). I begyndelsen, indtil for 1845 millioner år siden, dominerede højregående bevægelser. Så fulgte der en lang periode på 45 millioner år med venstregående bevægelser imens størstedelen af batholitten blev dannet, og derefter blev bevægelserne igen højregående.

GRÆNSEZONEN



Grænsezonen udgør den nordligste del af det Ketilidiske orogen og befinder sig mellem det upåvirkede Arkæiske grundfjeld og

kysten omfatter de så forskellige bjergarter som konglomerater*, kalksten, kvartsitiske sandsten, arkose*, kvartsbåndet jernmalm og slamstrøm-aflejringer*. De blev siden dækket af basaltiske pudelavaer* med en samlet tykkelse på flere kilometer (fig. 11) og skåret af fladtliggende basiske intrusioner. Aldersbestemmelse af en granitisk rul-
lesten fra et konglomerat midt i den vulkanske sekvens viser, at de øverste lavaer er afsat for mindre end 1880 millioner år siden (se skemaet fig. 2).

Senere blev området trykket sammen fra sydøst mod nordvest, hvorved der dannedes overskydninger og folder. Intensiteten af både deformation og metamorfose tilta-
ger mod syd, og fra Grænseland og sydover

omkring 1750 millioner år siden, da deformationen forlængst var afsluttet.

Langs østkysten er de Ketilidiske konglomerater og sandsten, som engang dækkede den sydøstlige del af det Arkæiske grundfjeld, kun bevaret på nogle af de højeste fjeldtoppe, som stikker op gennem Indlandsisen, og der findes ingen basiske pudelavaer. Syd for disse fladtliggende og stort set uomdannede aflejringer findes et langstrakt bælte af stærkt deformerede, metamorfoserede og delvis opsmeltede sedimentter afvekslende med granitiske intrusioner (fig. 12).

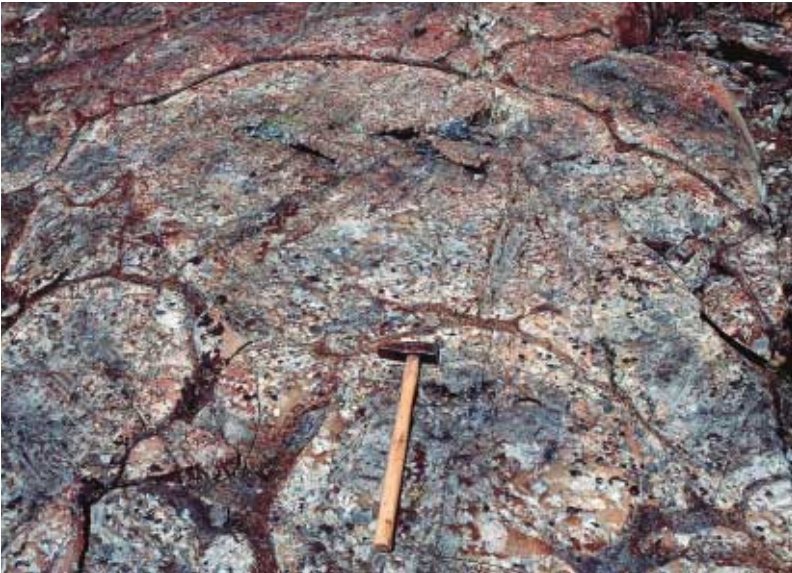
Aldersbestemmelser af zirkoner fra sedimentterne i dette område har vist, at de for-



Julianehåb batholitten. På østkysten strækker zonen sig fra Mogens Heinesen Fjord sydover til Napasorsuaq Fjord, og på vestkysten fra Midternæs til Kobberminebugt. På et tidligt tidspunkt i den Ketilidiske orogenese (se skemaet fig. 2) udgjorde regionen et lavvandet havområde mellem kontinentet og øbuen over batholitten. Her blev mange forskellige sedimentter aflejret ovenpå det Arkæiske grundfjeld (fig. 10). På vest-

er også grundfjeldet deformeret i en stor åben fold. Flere steder i Grænsezonen optræder der også enlige granitlegemer af samme type som i Julianehåb batholitten. Det største af dem, Qôrnoq øjegrannitten, blev intruderet samtidig med deformation af sedimentterne ved begyndelsen af perioden med venstregående forskydninger (skema fig. 2). De yngste Ketilidiske granitter i Grænsezonen blev intruderet for

Fig. 10. Pålejringskontakt i Grænsezonen. Mørktfarvede Ketilidiske sedimentter og lavaer er aflejret ovenpå det lysere, nederoderede Arkæiske grundfjeld i forgrunden. Foto mod nordøst over Grænseland. Afstanden mellem pålejringskontakten i forgrunden og Indlandsisen i baggrunden er ca. 3 km. Foto: A. Steenfelt.



bavsende nok stammer fra Julianeåb batholitten og ikke fra det Arkæiske grundfjeld. Det kan betyde, at den østligste del af batholitten engang var en del af en selvstændig øbue med et nordligt aflejringsbassin, og at den først under den efterfølgende deformation er transporteret til sin nuværende position klods op af det Arkæiske grundfjeld.

I nogle dele af Grænsezonen ses talrige tynde magmatiske gange, og på østkysten er der fundet Ketilidiske gange i det Arkæiske grundfjeld helt op til 80 km nord for batholitten.

Fig. 11. Basisk pudelava fra det nordlige Grænse-land, afsat af en undersøisk lavastrøm. Hver lavapude er omgivet af en finkornet rand, som skyldes hurtig afkøling ved kontakt med havandet.

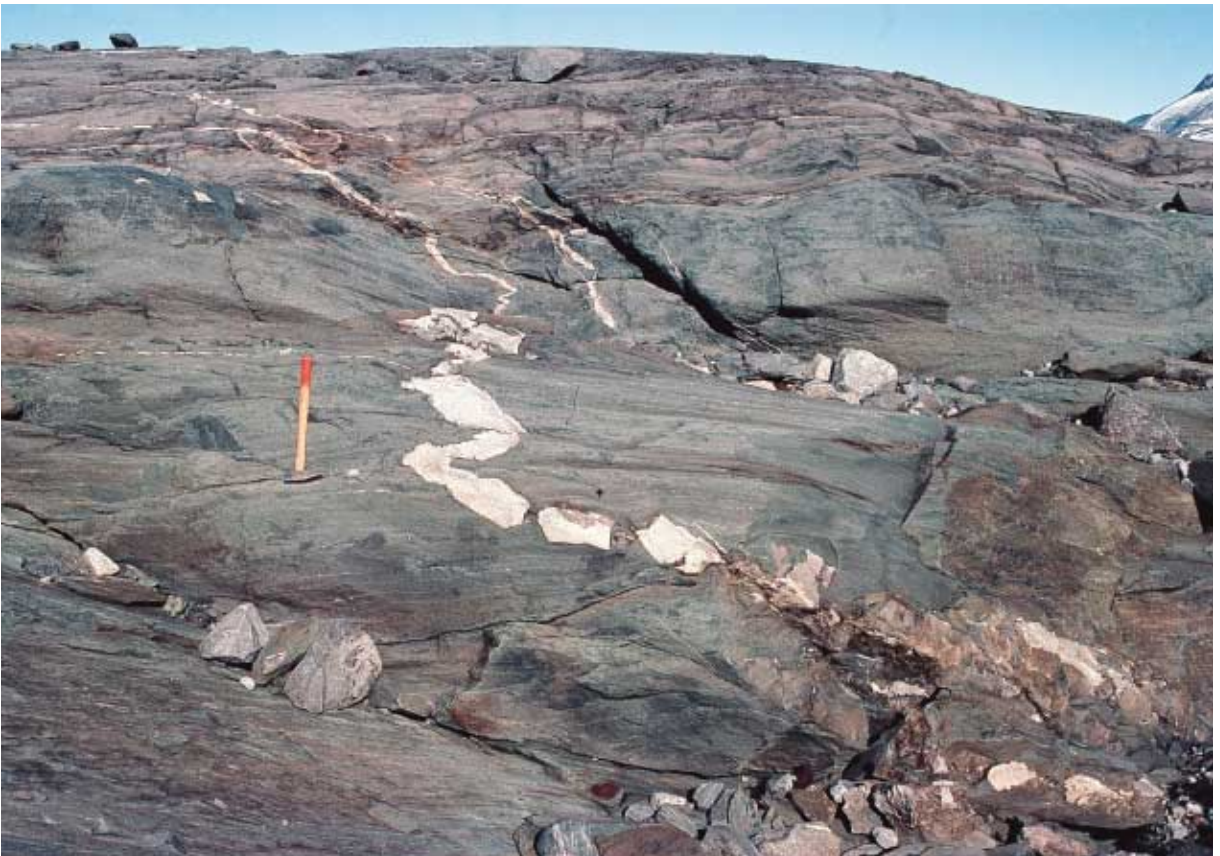
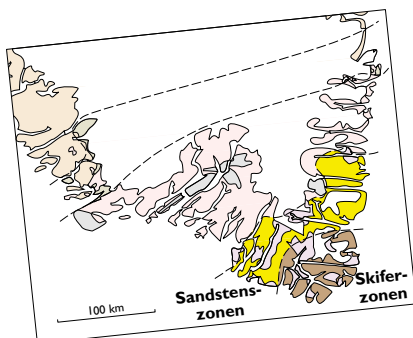


Fig. 12. Metamorfoserede og deformerede Ketilidiske sedimenter i Grænsezonen ved Napasorsuaq Fjord, skåret af en foldet granitisk gang. Under deformationen er den nederste del af den granitiske gang brudt op i flere stykker (boudinering, se ordlisten).

SANDSTENSZONEN OG SKIFERZONEN



Sandstensenzonen sydøst for Julianehåb batholitten er mellem 40 og 70 km bred og strækker sig på vestkysten fra Søndre Sermilik til Torsukattak, på østkysten fra Kangerluluk til munden af Lindenow Fjord.

Kontakten til Julianehåb batholitten består nogle steder af stejle nordøst-sydvest rettede forskydningszoner, for eksempel ved Danell Fjord, eller af fladtliggende forskydningszoner som ved Nørrearm og Tasermiut. Andre steder som for eksempel i 'Sorte Nunatak' området ved bunden af Kangerluluk (fig. 1) ses direkte aflejring af sedimenter på ældre dele af batholitten og intrusion af yngre granitter ind i aflejringerne. Disse vidt forskellige kontaktrelationer skyldes, at der foregik mange forskellige geologiske processer næsten samtidig i et særdeles aktivt geotektonisk miljø: erosionen af batholitten og aflejringen af sedimenter på andre dele af den foregik samtidig med, at der også var magmatisk aktivitet og regional deformation. Grænsen mellem Sandstensenzonen og Skiferzonen i sydøst er delvis maskeret af yngre rapakivgranitter*, der er beskrevet sidst i artiklen.

Sandstensenzonen består af batholittens grove nedbrydningsprodukter, som blev transporteret ud i et floddelta sydøst for øbuen i retning mod det nu forsvundne ocean. Sedimentpakken, der sammenlagt er nogle tusind meter tyk, er stærkt deformeret og delvis opsmeltet. Hist og her kan mange af de oprindelige aflejringstyper og aflejningsstrukturer dog stadig erkendes, som for eksempel krydslejring* (fig. 13). Aflejringerne er domineret af sandsten, men tættest på Julianehåb batholitten er der ofte indlejret horisonter af konglomerat med rullesten af

granit, der stammer fra batholitten. Forskellige former for krydslejring tyder på, at mange af sandstenene blev aflejret i stærkt strømmende floder og i flodmundinger. Den mineralogiske sammensætning af sandstenene med deres store indhold af feldspat viser, at sandet blev aflejret meget tæt på dets kilde. Feldspat har således en veludviklet spaltelighed, som forhindrer, at feldspatkorn i sandfraktionen kan transporteres ret langt uden at blive yderligere fin-delt. Kalksandsten er også udbredte og kan være afsat på lavt vand af algemætter. Derimod er kvartsitiske sandsten sjældne.

Der er også indslag af mere lerholdige sekvenser i Sandstensenzonen, som lokalt - trods intens deformation og metamorfose - har bevaret en veludviklet graderet lagdeling* (fig. 14). Graderingen viser, at disse sekvenser er afsat af slamstrømme*, der med stor hastighed har bevæget sig fra et kystnært delta længere ud i bassinet. Slamstrømmene blev sat i gang af små jordskælv i det hastigt voksende og ustabile aflejningsbassin.

Desuden findes der flere meget interessante sekvenser med vulkanske bjergarter, som både omfatter tuffer* med vulkanske bomber* (fig. 15), agglomerater*, pudelaver* og pudebreccier*. De bedst bevarede ligger ved Kangerluluk i den nordligste del



Fig. 13. Krydslejret sandsten i Sandstensenzonen nord for Danell Fjord. De oprindelige sedimentære strukturer i sandstenen er bevaret på dette sted, selv om nogle af lagene ved nærmere undersøgelse viser begyndende opsmeltning. Møntens diameter er 2,8 cm (femkrone midt i billedet).



Fig. 14. Graderet lagdeling i stejltstående, tæt foldede sedimenter i Sandstensenzonen ved bunden af Danell Fjord. Tre graderede lag ses øverst til højre i billedet: hver af de lyse zoner repræsenterer den nederste, grove del af et lag. Hammerhovedet peger i retning af foldeaksen for den opretstående fold.

af Sandstensenzonen. Andre forekommer ved Danell Fjord, Kutseq Fjord, og ikke mindst ved Kirkespirdalen og Ippatitdalen nord for Nanortalik. Både i Kirkespirdalen og ved Kangerluluk indeholder de vulkanske bjergarter markante guldmineraliseringer, som beskrevet i et af artiklens første afsnit. Skiferzonen er den sydligste del af det Ketilidske orogen. Den er mindst 70 km bred og strækker sig helt til Kap Farvel, Grønlands sydligste spids. Zonen består overvejende af bjergarter dannet fra finkornede aflejringer, som er afsat på dybere vand og længere væk fra deres kilde end i Sandstensenzonen.

Tilsammen afspejler Sandstensen- og Skiferzonens bjergarter hurtige transport- og aflejningsprocesser i et lavvandet og tektonisk ustabilt bassin med vulkanske udbrud på randen af et voksende kontinent.



Fig. 15. Vulkansk bombe i askeaflejringer i Sandstenszonen ved Kangerluluk. Da bomben landede, forstyrrede den lagdelingen i askelagene under sig og dannede en såkaldt bombesæk. Bomben er overlejret af uforstyrrede askelag. Møntens diameter er 2,8 cm.

Sedimenternes oprindelse

Zirkonerne i Sandstenszonens og Skiferzonens sedimenter stammer fra magmatiske bjergarter og er senere transporteret med floder og slamstrømme ud i aflejningsbassinet. De har aldre, som stort set overlapper med batholittens dannelse (skemaet fig. 2).

Aldre mellem ca. 1850–1800 millioner år dominerer, og de yngste korn er ca. 1795 millioner år gamle. Enkelte korn er dog meget ældre. Sammenholdt med aflejningsbassinets placering umiddelbart op ad Julianehåb batholittens og aflejringernes umodne mineralogiske sammensætning viser de do-



Fig. 16. Stærkt foldet og delvis opsmeltet sandsten syd for Danell Fjord. Møntens diameter er 2,8 cm.

minerende zirkonalldre, at aflejringerne hovedsagelig stammer fra nedbrydning af batholittens. Alderen af de yngste sedimentkorn fortæller, at aflejringen i dele af Sandstenszonen først blev afsluttet for omkring 1795 millioner år siden.

Omdannelse af Sandstenszonen og Skiferzonen

Aldersbestemmelser af nydannede magmatiske zirkoner i yngre granitter, som er intruderet ind i aflejringerne samtidig med deres deformation og metamorfose, har givet et meget nøjagtigt billede af Sandstenszonens videre historie (skemaet fig. 2) - og den var i geologisk forstand både hurtig og dramatisk. Umiddelbart efter aflejringen af sedimenterne, for mellem ca. 1792 og 1785 millioner år siden, undergik begge aflejningszoner 4–5 faser af intens deformation ledsaget af metamorfose ved høj temperatur og lavt tryk. Der blev også intruderet granit, granodiorit, diorit og gabbro. Disse intrusioner kan alle betragtes som sene udtryk for de samme pladetektoniske processer, som allerede forinden havde givet ophav til Julianehåb batholittens. Også deformationen skyldtes pladetektonisk aktivitet, idet de nyligt aflejrede sedimenter og deres magmatiske intrusioner blev skubbet sammen og foldet foran Julianehåb batholittens i det område, hvor den oceaniske skorpe blev ført ind under kanten af kontinentet (fig. 4).

De to tidligste deformationsfaser havde fælles retning og kan kun adskilles fra hinanden få steder. De gav ophav til en fladtliggende skifrihed og strækning af bjergarterne parallelt med orogenet. Bjergarts- og mineralteksturer omkring Nørrearm viser, at transportretningen i toppen af lagpakken var mod nordøst, altså på langs af orogenet. Samtidig dannedes tætte, stejltstående til liggende småfolder. En hornblendegranit, intruderet mod slutningen af den 2. deformationsfase, har givet en zirkonalder på 1792 millioner år. Deformationen var altså i fuld gang allerede et par millioner år efter aflejringen af sedimenterne.

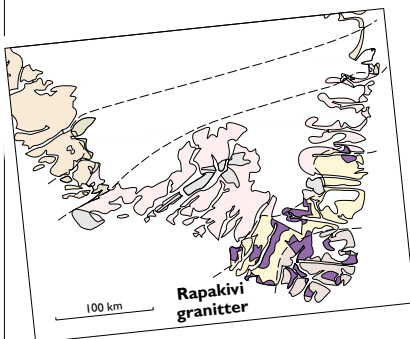
Under den 3. og 4. deformationsfase blev der dannet meget store folder med bølglængder på op til flere kilometer, først fladtliggende og siden stejltstående. Denne foldning blev ledsaget af delvis opsmeltning, hvorved den allerede dannede skifrihed

blev delvis udvisket (fig. 16). I de områder, hvor opsmeltningen var mest intens, går sedimenterne gradvist over i granatførende granitter af sedimentær oprindelse, der kan danne store, sammenhængende lag.

Tidspunktet for den intense opsmeltning kan også fastlægges, idet der under opsmeltningen af sediment til granit skete en nyvækst af zirkon - enten i form af helt nye krystaller eller ved, at et nyt lag voksede udenpå gamle zirkoner. Den nye zirkonvækst foregik i perioden for 1790–1785 millioner år siden. Det meste af aflejringen og den meget gennemgribende deformation og metamorfose foregik altså på mindre end 10 millioner år - et meget kort tidsrum set i lyset af hele orogenets levetid. Den 5. deformationsfase er kun udviklet lokalt, og resulterede ligesom den 4. fase i store åbne folder.

Under metamorfosen af silt- og lerholdige sedimenter dannedes mineralerne andalusit*, sillimanit*, granat* og cordierit*, mens kvarts, feldspat og biotit blev omkrystalliseret. Metamorfosen af sedimenterne, den delvise opsmeltning og den lokale granitdannelse må være sket ved høj temperatur og lavt tryk, fordi de nydannede mineraler kræver disse temperatur- og trykforhold for at kunne vokse. Disse processer foregik samtidig med sammenpresningen af aflejringsbassinene. I den indre del af Danell Fjord, tæt ved Julianehåb batholitten, nåede metamorfosen op på en temperatur omkring 580°C og 3 kilobar, svarende til trykket 10 km under jordoverfladen. I Skiferzonen omkring Prins Christian Sund blev det endnu varmere, omkring 800°C ved 5 kilobar (ca. 15 km nede). Disse tal viser, at den geothermale gradient har været ekstremt høj, omkring 60°C/km - især når det huskes, at der er tale om en situation, hvor en tyk sekvens af kolde, nyligt aflejrte sedimente skulle opvarmes. Varmen må være tilført nedefra ved intrusion af de allerede omtalte legemer af granit, granodiorit, diorit og gabbro, og muligvis også ved intrusion af store fladtliggende linser af basisk magma nær grænsen mellem skorpen og kappen. De mange basiske gange, som også findes i Sandstens- og Skiferzonerne, kan muligvis have været forbundet med sådanne magmaer.

Rapakivgranitter



Den sydlige og østlige del af det Ketilidiske orogen indeholder en række store intrusioner af rapakivigranit, der ofte fremstår som markante og spidse fjeldmassiver (fig. 17). Granitternes form skyldes, at de er meget

homogene og derfor har modstået den glaci-ale erosion under Grønlands nedisning bedre end de omgivende bjergarter. Rapakivigranitterne indeholder karakteristiske, op til 10 cm store, runde feldspatkrystaller med grålige kerner af kalifeldspat og hvide rande af plagioklas (fig. 18); navnet er finsk, da denne slags granitter først blev beskrevet fra det sydlige Finland.

De Ketilidiske rapakivigranitter blev intruderet som tykke, fladtliggende legemer højt oppe i skorpen i perioden for mellem 1755–1725 millioner år siden (skema fig. 2), længe efter den intense deformation og metamorfose af Sandstens- og Skiferzonerne.



Fig. 17. Rapakivigranit set fra helikopter: Kirkespiret (1590 m) nordøst for Nanortalik.



Fig. 18. Karakteristisk rapakivitekstur i rapakivigranit: den store runde feldspatkrystal har en grå kerne af kalifeldspat omgivet af en tynd hvid rand af plagioklas. Møntens diameter er 2,8 cm.

Tidligere og nuværende undersøgelser af Ketiliderne

Allerede under napoleonskrigene, 1806–13, foretog den tyske mineralog K. L. Giesecke geologiske undersøgelser og indsamlede mineraler i det sydlige Grønland. I 1938 adskilte den schweiziske geolog C. E. Wegmann Ketiliderne fra det Arkæiske grundfjeld og navngav dem efter Ketils Fjord (nu Tasermiut, se fig. 3). Senere fulgte Grønlands Geologiske Undersøgelser systematiske kortlægning i 1960'erne og geo-kemiske undersøgelser i Sydgrønland omkring 1980. GEUS' nuværende undersøgelser begyndte i 1992.

En af GEUS' væsentligste opgaver i Grønland er at tilvejebringe et overblik over mulighederne for at finde og udnytte mineraliske råstoffer. Det foregår både i form af regional geologisk og geofysisk kortlægning, laboratorieundersøgelser og detailstudier af mineraliserede områder. Flere af disse undersøgelser foregår i samarbejde med Grønlands Hjemmestyre, som i de se-

ner år også har ydet store økonomiske bidrag til især luftbårne geofysiske undersøgelser. Den direkte prospektering efter brydeværdige forekomster kræver store ressourcer og foretages normalt af private selskaber (fig. 19), men på baggrund af de regionale undersøgelser i offentligt regi.

I Grønlands Prækambriske* grundfjeld befinder de økonomisk interessante mineraliseringer af guld og andre metaller sig oftest i omdannede sedimentære og vulkanske bjergarter - altså i bjergarter, som oprindeligt er dannet oven på jordskorpen. GEUS' SUPRASYSYD projekt i det Ketilidiske orogen (med feltundersøgelser i perioden 1992–1996) havde netop til hensigt at tilvejebringe et moderne grundlag for en vurdering af de økonomisk-geologiske muligheder i de oprindelige overfladebjergarter (SUPRA: ovenpå, SYD: Sydgrønland). En stor del af disse områder blev lokaliseret og beskrevet af GGU under geologisk kort-

lægning og rekognoscering i 1960'erne, men da SUPRASYSYD projektet blev påbegyndt i sommeren 1992, viste det sig hurtigt, at nogle af de ældre kort var misvisende. Det blev klart, at der foruden den økonomisk-geologiske evaluering også var brug for en nytolkning af Ketiliderne set i lyset af teorien om pladetektonik, som i de mellemliggende år er blevet anerkendt som grundlæggende for Jordens geologiske udvikling (se boks om pladetektonik). Siden 1997 er de grundvidenskabelige undersøgelser i Ketiliderne fortsat med støtte fra Carlsbergfondet og Statens Naturvidenskabelige Forskningsråd til forfatteren, og fra det britiske forskningsråd NERC til hans samarbejdspartnere. Sideløbende hermed sammenstilles samtlige geologiske og geofysiske data fra Ketiliderne i elektronisk form af GEUS til støtte for vurderingen af de økonomisk-geologiske muligheder.



Fig. 19. Geologer fra Nunaoil AIS på arbejde under guldprospektering i den sydlige del af Julianehåb batholitten i sommeren 1993. Spaden bruges til prøvetagning af skredkegler med løse nedbrydningsprodukter, der samler sig under de stejle fjeldsider.

Pladetektonik, Guld og ...



SAMFUNDET

Eksistensgrundlaget for den grønlandske befolkning er først og fremmest en udnyttelse af de naturgivne ressourcer: fiskeri, eventuelle olie- og gasforekomster, mineralske råstoffer, samt turisme. Hertil kommer bloktilskuddet fra Danmark, men den grønlandske befolkning har et naturligt ønske om, så vidt muligt, at være økonomisk uafhængig af hjælp fra Danmark. I lange perioder har minedrift givet det grønlandske og danske samfund pæne indtægter, senest i 1973–1990 fra bly-zinkminen i Maarmorilik ved Uumannaq, men der er i øjeblikket ingen minedrift, og indvinding af olie eller gas ligger i bedste fald adskillige år ude i fremtiden.

Det er derfor vigtigt for Grønlands Hjemmestyre, at der til stadighed foretages både basisundersøgelser (fortrinsvis af GEUS i samarbejde med Hjemmestyret) og mineralefterforskning (af private selskaber) med henblik på at genetablere minedrift i Grønland. Guldforekomsten ved Kirkespirdalen i det Ketilidiske orogen må i øjeblikket bedømmes som det mest realistiske bud på en kommende minedrift - til trods for de stærkt svingende guldpriser gennem 1998 og 1999, som gør det vanskeligt at bedømme økonomien i projektet. GEUS' basisundersøgelser i Ketiliderne har placeret guldforekomsten i Kirkespirdalen i en regional geologisk sammenhæng, og de har vist, at der findes guldmineraliseringer af samme type i bestemte andre dele af orogenet.



MILJØET

En eventuel guldmine i Kirkespirdalen vil rejse en række principielle spørgsmål omkring optimal udnyttelse af ressourcen, bosættelse, lokal kontra importeret arbejdskraft, graden af lokal forarbejdning og monitorering af forureningen - som igen hænger sammen med forarbejdningsgraden. Rammerne for, hvordan mange af disse spørgsmål skal håndteres, er fastlagt i Lov om mineralske råstoffer m.v. i Grønland, som senest er justeret i 1998.

Minedrift er i princippet aldrig økologisk bæredygtig, idet den brudte malm ikke gendannes. Tværtimod frigøres store mængder løst affald ved forarbejdningen af malmen - i tilfældet guldmalm de 99.999% af råmalmen, som ikke er guld. Hvis malmen forarbejdes på stedet, skabes der lokal beskæftigelse men samtidig problemer med deponering af affaldet. Hvis råmalmen i stedet fragtes væk og forarbejdes et andet sted, er affaldet modtagernes problem, men lokalsamfundet taber arbejdspladser og indtjening.

Erfaringerne fra bly-zinkminen ved Maarmorilik viser, at det godt kan lade sig gøre at foretage rentabel minedrift i Grønland med behørigt hensyn til både lokalsamfundet og det sarte arktiske miljø. Hvad angår beskæftigelsen vokse andelen af lokal arbejdskraft væsentligt i løbet af minens levetid. På miljø-siden foregik der en konstant overvågning af forureningsgraden i fjordsystemet omkring minen, og der blev løbende henlagt midler til den totale afsluttende oprydning, som fandt sted i 1990.



FORSKNINGEN

Geologisk grundforskning og efterforskning af mineralske råstoffer går ofte hånd i hånd, som det ses i eksemplet fra Ketiliderne. Der er en gensidig afhængighed og interesse for samarbejde, ofte i samspil med universiteter og uddannelse af nye forskere. Rent bortset herfra er de naturgivne muligheder for geologisk forskning i Grønland i verdensklasse. Grønland er et selvstændigt mikrokontinent, som gennem sin 4 milliarder år lange udvikling kan illustrere omtrent alle former for geologiske processer. I de isfri regioner langs kysterne er det faste fjeld tilmed blotlagt i tre dimensioner og ikke som i de fleste andre dele af verden dækket af overjord eller tæt vegetation. GEUS har en lang tradition for internationalt samarbejde omkring den geologiske udforskning af Grønland, hvor både principielle problemstillinger og konkrete forhold af umiddelbar interesse for mine- og olieselskaber undersøges i fællesskab af danske og udenlandske forskere.

Selve det Ketilidiske orogen er relativt let at udforske, når man ser bort fra de besværlige adgangsforhold, den korte sommer og den barske natur. Orogenet har en simpel overordnet opbygning, og det er stort set upåvirket af senere geologiske hændelser. Det betyder for eksempel, at deformationsstrukturer er lette at tolke, og at aldersbestemmelserne bliver præcise, fordi de mineraler, som undersøges, ikke er blevet forstyrret af senere opvarmning.

Ordliste

Andalusit og sillimanit: To aluminium-rige mineraler, som dannes ved metamorfose af lersten. Mineralerne har samme kemiske sammensætning. Andalusit dannes ved lavt tryk og forholdsvis lav temperatur, mens sillimanit dannes ved høj temperatur.

Agglomerat: Vulkansk aflejring bestående af lavafragmenter i forskellig størrelse.

Arkose: Sandsten med stort indhold af feldspat.

Arkæisk tid: Perioden for mellem 4000 og 2500 millioner år siden, hvor de første kontinenter opstod. Jordens alder er omkring 4600 millioner år.

Batholit: En batholit består af et stort antal massive granitlegemer, som er trængt op i en øbue og størknet i dybet; de udgør rødderne i øbuen.

Biotit: Mørk glimmer. Almindeligt mineral i bl. a. granit, gnejs og glimmerskifer.

Breccie: Knusningsbjergart, der hovedsageligt består af kantede brudstykker.

Boudinering: En struktur, som opstår under plastisk deformation, når et hårdt (kompetent) lag omgivet af en blød sidesten bliver strakt. Det kompetente lag bliver revet over i regelmæssige, tøndeformede stykker, mens sidestenen udfylder de huller, der opstår mellem brudstykkerne.

Cordierit: Aluminium-rigt mineral, der dannes ved metamorfose af lersten under høj temperatur og lavt tryk.

Deformation: En generel betegnelse for sammenpresning, strækning, foldning eller forskydning af bjergarter.

Diopsid: Grønt calcium- og magnesiumholdigt mineral, der ofte dannes ved metamorfose eller hydrothermale omdannelser.

Feldspat: Almindelig mineralgruppe (kalifeldspat og plagioklas), som udgør en stor del af mange almindelige bjergarter, blandt andet granit.

Forskydningszone (engelsk: shear zone): En bevægelseszone forholdsvis dybt i jordskorpen, hvor der er sket en langsom glidning og udvalsning af bjergarterne. Tæt ved jordens overflade sker tilsvarende bevægelser ved gentagne hurtige brud langs forkastninger, hvorved der opstår jordskælv.

Graderet lagdeling: Lagdeling i sedimentter, hvor de groveste korn ligger i bunden af laget, og de finere partikler opefter. Graderet lagdeling findes i sedimentter, der er afsat af slamstrømme.

Granat: Mineral, der blandt andet dannes ved metamorfose af lersten.

Hornblende: Almindeligt, jern- og magnesiumholdigt mineral i f. eks. granit og gabbro.

Hydrothermal omdannelse: Omdannelse af en bjergart ved hjælp af gennemstrømmende varmt vand, der har opløst og evt. gennufældet materiale.

Konglomerat: Sediment bestående af afrundede sammenblandede bjergartsfragmenter med meget forskellig kornstørrelse - og ofte med forskellig oprindelse.

Krydslejring: Sedimentstruktur med skrå lagdeling, som viser, at sedimentet er afsat af strømmende vand.

Lava: Vulkansk bjergart, der er størknet fra en smelte til en sammenhængende stenmasse på Jordens overflade eller på havbunden.

Magma (adjektiv: magmatisk): Stensmelte. Basiske magmaer er rige på jern og magnesium og forholdsvis varme. Sure eller granitiske magmaer er koldere og rige på silicium, natrium og kalium.

Magmatisk foliation: Pladeagtig bjergartsstruktur, der er dannet, medens bjergarten var helt eller delvist smeltet.

Metamorfose: Omkrystallisering af bjergarter i Jordens indre under varierende og ofte højt tryk og temperatur. Under metamorfosen dannes der som regel nye mine-

ralselskaber, og ved høj metamorfose kan en del af bjergarten begynde at smelte.

Orogen, orogenese: Bjergkæde, bjergkædedannelse. Betegnelsen refererer ikke til høje bjerge, men til de processer, der foregår under den geologiske opbygning af bjergkæden med aflejring af sedimentter, magmatisk aktivitet, metamorfose og deformation.

Proterozoisk tid: Perioden fra 2500-580 millioner år siden, inden der fandtes skalbærende dyr.

Prækambrium: Tiden før Kambrium (Arkæisk og Proterozoisk tid).

Pudebreccie: Vulkansk bjergart dannet af knust pudelava.

Pudelava: Ved undersøiske vulkanudbrud størkner lavaen ofte meget hurtigt under dannelse af karakteristiske pudeformede legemer. De enkelte puder er op til et par meter store, og kan tilsammen danne tykke lag af pudelava.

Rapakivigranit: Grovkornet granit, der er karakteriseret af store runde feldspatkrystaller med kerner af grålig eller rødlig kalifeldspat og tynde hvide rande af plagioklas.

Sediment, sedimentære bjergarter: Løse aflejringer som sand, ler og kalkslam og tilsvarende faste bjergarter som sandsten, lersten og kalksten. De fleste sedimentter aflejres under vand som tykke lagpakker i indsynkende bassiner.

Sillimanit: se andalusit.

Slamstrøm: Slamstrømme opstår, når sedimentter, der midlertidigt er aflejret på en skrånende havbund som f. eks. ydersiden af et delta, sættes i skred af f. eks. et jordskælv. Slamstrømme består af sammenblandede fine og grove partikler, der er opslemmet i vand, og de kan bevæge sig meget hurtigt.

Tuf: Vulkansk aske.

Vulkansk bombe: En stenblok, som er fløjet gennem luften under et vulkanudbrud.

Her kan man læse videre

Dette temahæfte er den første samlede beskrivelse af det Ketilidiske orogen på dansk, og forfatteren ønsker at takke følgende kolleger på GEUS, der har bidraget på forskellig måde: Troels Nielsen, Thorkild M. Rasmussen, Agnete Steinfeldt, Henrik Stendal og Bjørn Thomasen. Forfatteren kan evt. være behjælpelig med at fremskaffe engelsksproget litteratur.

Allaart, J. H. 1976: Ketilidian mobile belt in South Greenland. In: Escher, A. & Watt, V. S. (ed.): *Geology of Greenland*, 121–151. Copenhagen: Geological Survey of Greenland.

Allaart, J., Andersen, S. & Weidick, A. 1975: Juli- anehåbsområdets geologiske historie. I: Madsen, V. E. (red.) *Qaqortoq/Julianehåb 1775–1975*, 17–25. Nuuk/Godthåb: Sydgrønlands Bogtrykkeri, 175 pp.

Chadwick, B. & Garde, A. A. 1996: Palaeo-pro- toerozoic oblique plate convergence in South Greenland: a re-appraisal of the Ketilidian orogen. In: Brewer, T. S. (ed.) *Precambrian crustal evolution in the North Atlantic region*. Special Publication of the Geological Society (London) **112**, 179–196.

Garde, A. A., Chadwick, B., Grocott, J., Hamilton, M. A., McCaffrey, K. J. W. & Swager, C. P. 1998: An overview of the Palaeoproterozoic Ketilidian orogen, South Greenland. In: Wardle, R. J. & Hall, J. (ed.) *Eastern Canadian Shield Onshore–Offshore Transect (ECSOOT)*,

Transect Meeting (May 4–5, 1998). University of British Columbia, LITHOPROBE Secretariat, Report **68**, 50–66.

Garde, A. A., Chadwick, B., McCaffrey, K. & Curtis, M. 1998: Reassessment of the north- western border zone of the Palaeoproterozoic Ketilidian orogen, South Greenland. *Geology of Greenland Survey Bulletin* **180**, 111–118.

Garde, A. A., Chadwick, B., Grocott, J. & Swager, C. P. (compilers) 1998: *Geological map of Greenland 1:100 000*. Lindenow Fjord 60 Ø. I Nord. København: Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse.

Garde, A. A., Grocott, J. & McCaffrey, K. J. W. *in press*: New insights on the north-eastern part of the Ketilidian orogen in South-East Greenland. *Geology of Greenland Survey Bulletin*.

Grocott, J., Garde, A. A., Chadwick, B., Cruden, A. R. & Swager, C. 1999: Emplacement of rapa-

kivi granite and syenite by floor depression and roof uplift in the Palaeoproterozoic Ketilidian orogen, South Greenland. *Journal of the Geological Society (London)* **156**, 15–24.

Laursen, S. 1998: Guldfund i Kirkespir- dalen. *Geologisk Nyt* **5198**.

Petersen, J. S., Kaltoft, K. & Schlatter, D. 1997: The Nanortalik gold district in South Greenland. In: Papunen, H. (ed.) *Mineral deposits: research and exploration. Where do they meet?* 285–288. Rotterdam: Balkema.

Stendal, H. 1995: Guld i Grønland. *Varv* **1995/2**, 35–46

Stendal, H. 1997: The Kangerluluk gold prospect. Shear zone hosted gold mineralisation in the Kangerluluk area, South-East Greenland. *Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport* **1997/53**, 18 pp.

Forsidebillede: "Udsyn - indsigt", udsnit af relief i Julianehåb granit på en fjeldskråning i Qaqortoq (Julianehåb) udført af den grønlandske kunstner Aka Høegh.



Dr. scient. Adam A. Garde

er seniorforsker i GEUS ved Afdeling for Geologisk Kortlægning, med arbejdsområde i Grønlands Prækambrium. Inden han i 1980 blev ansat ved det daværende Grønlands Geologiske Undersøgelse, tilbragte han 2 1/2 år i det sydlige Afrika, hvor han underviste i geologi på University of Zambia. Han kender store dele af Grønland fra 20 somre med geologiske undersøgelser. Sammen med danske og udenlandske forskere har han skrevet en lang række artikler om Grønlands geologi med emner, der spænder fra pladetektonik til facadesten, og han har kompileret fem geologiske kortblade.



GEUS' årsberetning for 1998

Årsberetningen for 1998 kom midt på sommeren 1999.

Beretningen skildrer institutionens arbejde på programområderne : Databanker , informationsteknologi og generel formidling; Vandressourcer; Energiråstoffer; Mineralske råstoffer og Grønlandskortlægning samt Natur og miljø.

Endvidere følgende 6 geologisk faglige artikler:

- Geologien der blev væk
- Ny fokus på jordens ældste bjergarter
- Sø og land
- Kystovervågningen og kystmorfologi i Øresundsområdet
- Forskningsdrevet olieeftersforskning i Vestgrønland i 1990'erne
- Geofysisk kortlægning af Grønland fra luften

Årsberetningen kan fåes så længe oplaget rækker ved henvendelse til GEUS, og kan også ses på institutionens hjemmeside www.geus.dk

Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS) er en forsknings- og rådgivningsinstitution i Miljø- og Energinisteriet.

Institutionens hovedformål er at udføre videnskabelige og praktiske undersøgelser på miljø- og energiområdet samt at foretage geologisk kortlægning af Danmark, Grønland og Færøerne.

GEUS udfører tillige rekvirerede opgaver på forretningsmæssige vilkår.

Interesserede kan bestille et gratis abonnement på **GEOLOGI - NYT FRA GEUS**. Bladet udkommer 4 gange om året. Henvendelser bedes rettet til: Knud Binzer.

GEUS giver i øvrigt gerne yderligere oplysninger om de behandlede emner eller andre emner af geologisk karakter.

Eftertryk er tilladt med kildeangivelse.

GEOLOGI - NYT FRA GEUS er redigeret af geolog Knud Binzer (ansvarshavende) i samarbejde med en redaktionsgruppe på institutionen.

Konsulenter: Marianne Vasard Nielsen og Steen Laursen.

Skriv, ring eller e-mail:

GEUS

Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse
Thoravej 8, 2400 København NV.

Tlf.: 38 14 20 00

Fax.: 38 14 20 50

E-post: geus@geus.dk

Hjemmeside: www.geus.dk

GEUS publikationer:

Hos Geografforlaget kan alle GEUS' udgivelser købes.

Henvendelse kan ske enten på tlf.:

63 44 16 83 eller telefax: 63 44 16 97

E-post: go@geografforlaget.dk

Hjemmeside: www.geografforlaget.dk



Adressen er:

GEOGRAFFORLAGET 5464 Brenderup

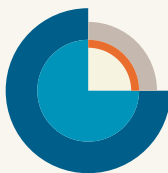
ISSN 1396-2353

Produktion: Gitte Nicolaisen, GEUS

Tryk: From & Co.

Fotos: Adam A. Garde.

Illustrationer: Adam A. Garde og Gitte Nicolaisen.



GEUS