

TEMANUMMER
Geologi i det sydlige Vestgrønland

-Tunulliarfik området og Gardar-provinsen

Tom Andersen
C.H. Emeleus
Karsten Secher
Henning Sørensen
B.G.J. Upton
Anker Weidick
Redigeret af
Henning Sørensen

*Den lange fjord Tunulliarfik * har i mere end 1000 år været en livsnerve for Sydvest Grønland.*

I år 986 bosatte Erik den Røde sig nær bunden af fjorden i Brattalhid, i dag Qassiarsuk. Gennem nogle hundrede år lå der et stort antal nordbogårde langs fjorden, dengang kaldt Eriks Fjord, og nærliggende fjorde. Nordboernes bispesæde Gardar blev bygget ved Igaliku Fjord umiddelbart sydøst for Tunulliarfik, stedet hedder i dag Igaliku.

I dag forbinder Tunulliarfik vigtige aktivitetcentre: Narsarsuaq lufthavn ligger nær bunden af fjorden, byen Narsaq ligger midtvejs mod havet, hvor fjorden skifter navn til Skovfjord, og Qaqortoq, Sydgrønlands vigtigste by, ligger umiddelbart syd for fjordens munding.

Fjorden er centrum for turismen i Sydgrønland med livet i byerne og de mindre pladser, ruiner af inuit- og nordboebygninger, bræer og Indlandsisen, vandreture, fiskeri og muligheden for at erhverve tugtupit og andre fascinerende mineraler som hovedattraktioner.

Fjorden giver også adgang til studiet af et meget interessant geologisk område,

* Stednavne: Stavningen af grønlandske ord blev reformeret i 1973, hvilket også har givet ændringer i stavningen af stednavne. De fleste geologiske lokaliteter blev navngivet før 1973 og navnene er blevet etableret i den internationale geologiske litteratur. Stavningen fra før 1973 af disse navne er derfor blevet bevaret, mens stavningen af de geografiske lokaliteter er ændret. Et eksempel er Igalikokomplekset navngivet efter bebyggelsen, som før hed Igaliko, men nu har navnet Igaliku.

som er opbygget af et 1700-1900 millioner år gammelt granitisk grundfjeld og af rødderne til et 1350-1140 millioner år gammelt vulkansk område, der er internationalt kendt under navnet Gardar-provinsen. I området findes også nogle spektakulære gletschere.

Istidens gletschere har afhøvet fjeldene; de smeltede væk fra området for omkring 9000 år siden. Klimaet har været forholdsvis køligt siden da. Dette betyder, at forvitringen har været svag. De iseroderede fjeldoverflader giver derfor exceptionelt gode muligheder for geologiske studier. Ydermere huser Gardar-provinsen nogle verdensberømte minerallokaliteter.

På de efterfølgende sider fortælles den geologiske historie af landet langs Tunulliarfik/Skovfjord med hovedvægt på Gardarperioden og det mineralrige Ilimaussaq-kompleks. De benyttede fagudtryk er forklaret bagest i hæftet.

Oversigt over geologien i Tunulliarfik-Skovfjord området

Bjergarterne i dette område kan inddeles i tre hovedgrupper, en ældre gruppe: Ketiliderne, som blev dannet for 1900-1700 millioner år siden, en yngre gruppe: Gardar-provinsen, som blev dannet for 1350-1140 millioner år siden, og en ung gruppe af landskaber og bjergarter dannet under og efter Istiden og frem til i dag. Ketiliderne er navngivet efter Ketils Fjord (i dag Tasermiut) i det sydligste Grønland, Gardar efter nordboernes bispesæde Gardar, i dag Igaliku.

Ketiliderne

Mellem Narsarsuaq og Qaqortoq opbygges Ketiliderne af granitiske og granodioritiske bjergarter og af mindre forekomster af basiske bjerg-

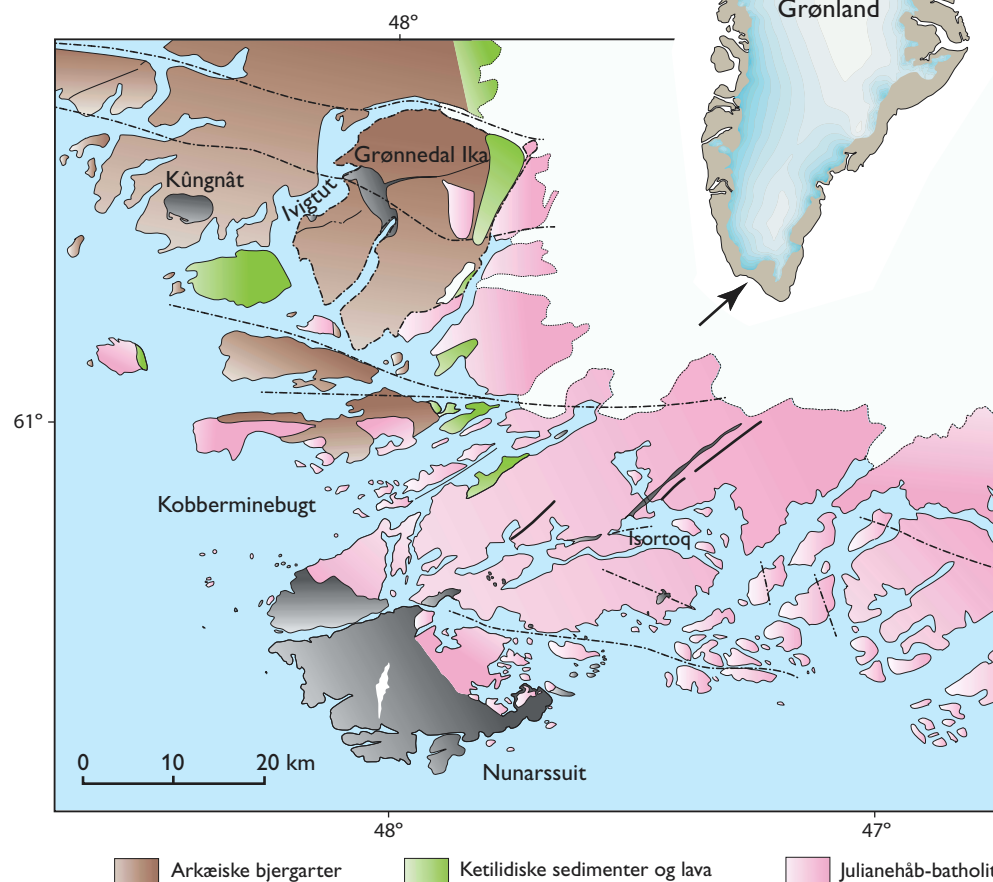


Fig. 1. Forenklet geologisk kort over Gardar-provinsen med angivelse af Juliane-håb-batholiten og de store Gardar intrusioner.

arter, bjergarter som under et kaldes for Julianehåb-batholithen. Den er opkaldt efter det tidligere navn for Qaqortoq. Disse bjergarter og de mod nordvest liggende meget gamle (arkæiske) bjergarter kan betegnes som områdets 'basement' eller grundfjeld. Granitten betegnes som Julianehåb-granit (Fig.1).

De ketilidiske bjergarter udgør de dybe dele af et vældigt bjergkædesystem, som blev dannet langs sydøstranden af et 3000 millioner år gammelt (arkæisk) kontinent i dettes grænse mod oceanet. Foldning, forkastninger og metamorfose blev efterfulgt af delvis opsmeltning af bjergarter i Jordens øvre kappe og af overliggende skorpebjergarter. En del af smelterne (det geologiske navn magmaerne) nåede sandsynligvis helt op til jordoverfladen, hvor der har været et bælte af voldsomme vulkaner af de typer, som i dag kan iagttages i Andesbjergene i Sydamerika. Men magmaer størknede også



Fig. 2. Sydcoften af Skovfjord med rundklippe af Julianehåb-granit som viser isafhøvet stødside mod venstre og stejl og ru læside mod højre.

i den øvre kontinentale skorpe som granit og granodiorit, hvorved Julianehåb-batholithen opstod. Ketiliderene er grundigt behandlet i GEOLOGI-Nyt fra GEUS nr. 3 fra 1999.

I de følgende femhundrede millioner år blev den ketilidisk-dannede jordskorpe hævet og nederoderet af overfladeprocesser, således at bjergarter dannet dybt nede i Jorden blev blotlagt ved jordoverfladen (Fig. 2).

Gardar-provinsen

For ca.1300 millioner år siden blev området gennemsat af store sprækkesystemer, langs hvilke jordskorpen åbnedes ledsaget af forkastningsprocesser og af udstrømning af lavaer, hovedsagelig af basalt, men også af trachyt og karbonatitiske vulkanske bjergarter. Der har været tale om det som i geologien kaldes en rift, dvs. et langstrakt nedsænket område begrænset af forkastninger og præget af kraftig vulkanisme. Man kan forestille sig, at der har været en overfladetopografi og vulkanisme, som det der i dag kan ses i de østafrikanske riftdale. I den

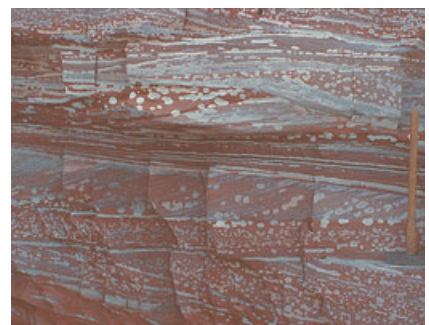
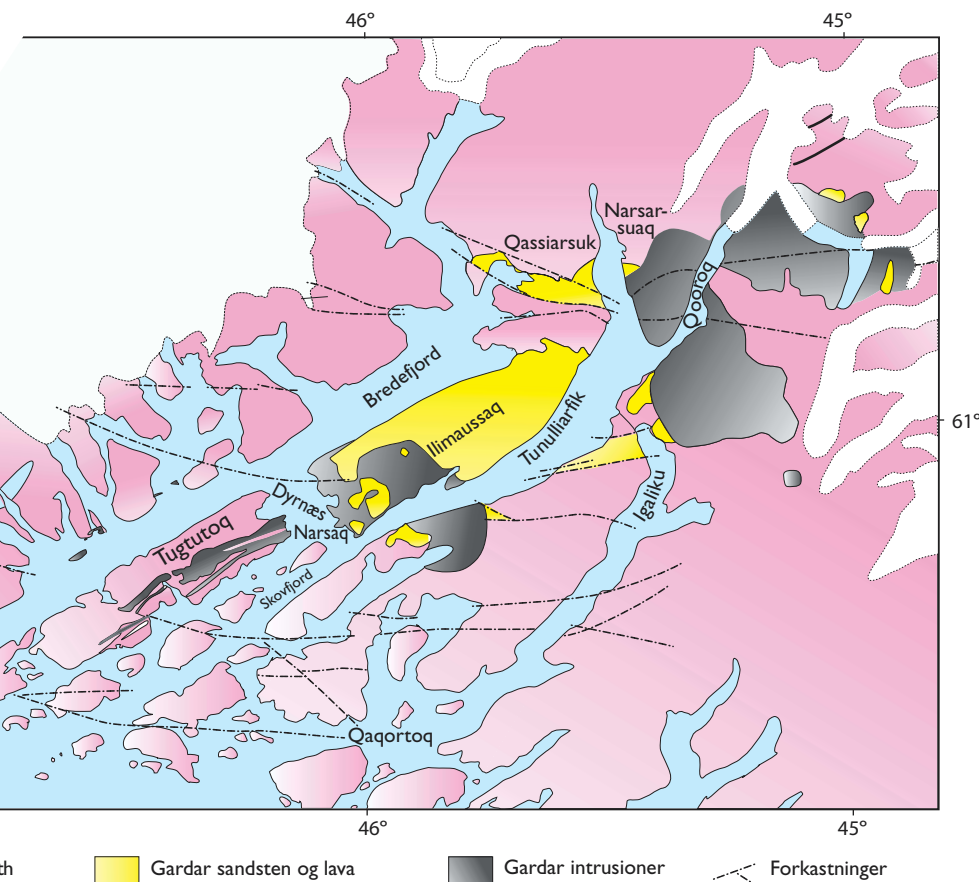


Fig. 3. Rød Igaliko-sandsten med krydslejrning og hvide prikker. Nordkysten af Tunulliarfik. (Upton).



Fig. 4. Kik fra Igaliku tværs over Igaliku fjord mod Illerfissalik (1752 m). Den græsdækkede ryg foran de rødbrune nefelinsyenitter består af sandsten, som er blevet hård på grund af varmepåvirkning fra de størknende nefelinsyenitter. Bemærk at nogle af husene er beklædt med hvidprikket Igaliko-sandsten.

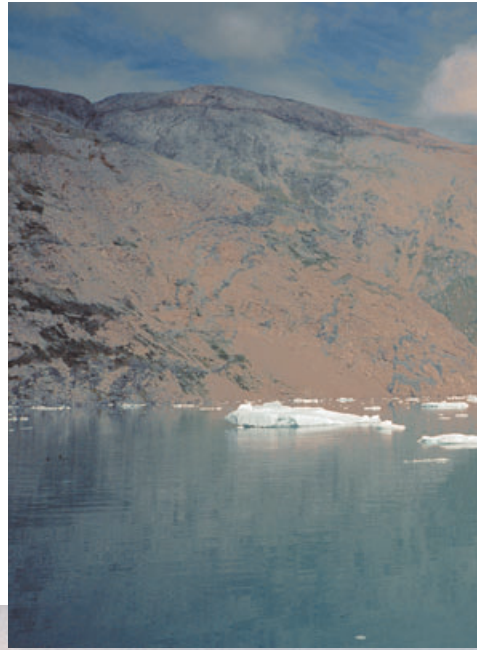


Fig. 5. Nordkysten af Tunulliarfik mellem Qassarsuk og Nunasarnaq består nederst af sandsten, øverst af basaltiske lavaer. Bemærk søjedannelsen i basalten.



Fig. 6. Kontakt mellem smuldrende nefelinsyenit fra Nord Qôroq Centret (til højre) og ispoleret Julianehåb-granit. Bemærk at gange(dykes) skærer både granit og nefelinsyenit. Granitten har et vegetationsdække, mens den smuldrende syenit er uden plantevækst. Nær tomten til det amerikanske hospitaal, Narsarsuaq. (Emeleus).



◀ Fig. 7. Nordkysten af Qooroq med nefelinsyenit fra Syd Qoroq Centret skåret af gange (dykes) af trachyt.

Fig. 9. Det høje fjeld Illerfissalik (1752 m) set ude fra Tunulliarfik med munden af Qooroq til venstre og bræmmen af strandede isfjelde foran fjeldmassivets nefelinsyenitter.



Fig. 10. Narsaq bræ i 1969 set fra Kvanefjeld, hvor en dybdeboring er i gang. Gletscheren ligger mellem fjeldene Illimmaasaq (1390 m, til venstre) og Nakkalaq (1440 m, til højre).

Fig. 8. En lav ryg dannet af en 15 m tyk basaltisk gang (dyke) 800 m SW for Igaliku. Gangen har store krystaller af plagioklas og brudstykker af bjergarten anorthosit. (Emeleus).

Fig. 11. Isfjelde strandet på en undersøisk endemoræne foran munden af Qooroq, (se også Fig. 13). (Emeleus).





Fig. 12. Qoorup Sermia gletscheren i bunden af Qooroq Isfjord fotograferet i juli 2003. Fjeldene på nordkysten af fjorden (til venstre) er lysere farvet over og foran gletscheren, hvilket markerer den tidligere større tykkelse og udstrækning af gletscheren. Nordkystens fjelde består inde ved isen af Julianehåb-granit, længere ude af rødbrune nefelinsyenitter fra Nord og Syd Qōroq Centrene. Fjeldene på sydkysten tilhører Motzfeldt Centret, se også Fig. 13.

ne periode blev nedbrydningsprodukter (sedimenter) af de ketilidiske granitter transporteret ned fra det omgivende højland og aflejret som sandsten i nedforkastede lavlandsbassiner. I tidens løb hærdenede sandstenen og blev til kvartsit. Nogle steder er sandstenen farvet rødbrun pga. udfældning af jernoxid-mineralet hæmatit mellem sandskornene (Fig. 3). Sådanne hæmatit-udfældninger er typiske for sandsten dannet i en oxiderende atmosfære i ørkener. Den røde sandsten er kendt under navnet Igalikosandsten og er meget benyttet som bygningssten i Sydgrønland (Fig. 4).

De her omtalte sedimentære og vulkanske bjergarter er kun bevaret i området mellem Sermilik (Bredefjord) og Igaliku Fjord (Fig. 1). Her findes en 3400 m tyk lagserie, som nederst domineres af sandsten og øverst af lavaer af basalt (forsidefoto og Fig. 5). Den har fået betegnelsen Eriksfjord Formationen, fordi hovedprofilen ses i Tunulliarfik, hvis navn i nordbotid var Eriksfjord. Eriksfjord Formationen antages at have haft en større geografisk udbredelse,

end det er tilfældet nu. Det meste af lagserien er imidlertid eroderet væk i løbet af de mere end 1100 millioner år, der er gået siden Gardar-aktiviteten ophørte.

Skønnene over tykkelsen af det borte-

roderede varierer fra to og helt op til fem km. Den tidligere større udbredelse af Eriksfjord Formationen fremgår af, at der i nogle af de på Fig. 1 viste intrusioner i den vestlige del af provinsen findes indeslutnin-

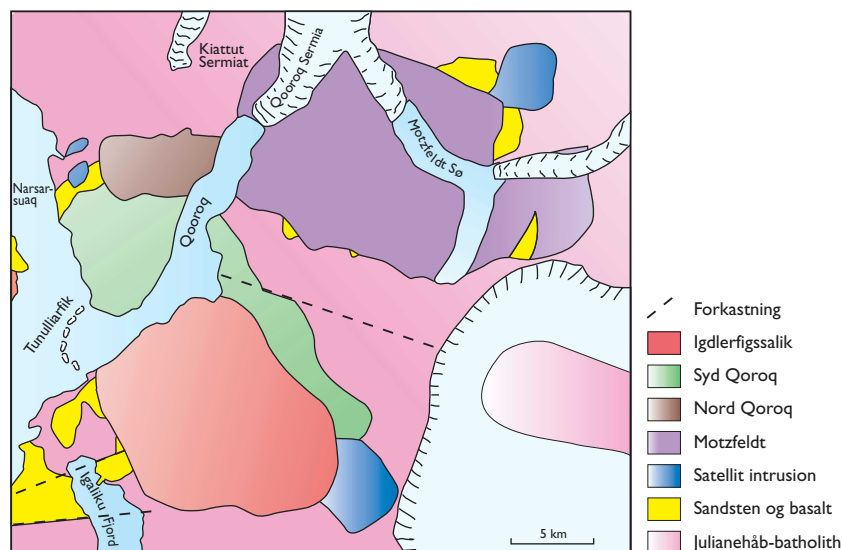


Fig. 13. Forenklet geologisk kort som viser Igaliko-kompleksets fire centre og gletscherne Qoorup Sermia og Kiattuut Sermiat. I munden af Qooroq er vist buen af strandede isfjelde.



Fig. 14. Fronten af Kiattuut Sermiat gletscheren set fra vest. At gletscheren er blevet tyndere ses af den vegetationsfrie zone på klipperne lige over isen. Gletscherens front består af død is, som er dækket af sort moræne. Foto: H. Röthlisberger, 1980. Se også Fig. 13.

ger af basalt, som antages at være faldet ned i de størknende magmakamre. De mange gange af basalt og gabbro i hele regionen, som kan have været tilførselskanaler til overfladevulkanisme, er yderligere vidnesbyrd om et tidligere mere udbredt dække af basaltlavaer. Erosionsprocesserne resulterede i, at magmabjergarter, som var størknet nede i Jorden, nu kan iagttages i jordoverfladen.

I løbet af Gardar-perioden blev der gentagne gange dannet basaltmagma ved delvis opsmeltning i Jordens kappe i dybder mellem 70 og 90 km. Disse magmaer bevægede sig opad og store magmamasser ansamledes ved grænsen mellem kappen og skorpen, sandsynligvis ca. 30 km nede, hvor de blev afkølet og begyndte at udkrystallisere mineraler med indhold af tunge grundstoffer. Derved blev de endnu ikke størknede dele af magmaerne lettere end deres sidebjergarter og bevægede sig opad mod lavere tryk. Nogle dele nåede helt op til jordoverfladen og dannede vulkaner. Andre dele størknede som pladeformede legemer,

betegnet (dykes) eller gange, i de spalter, gennem hvilke magma bevægede sig opad (Fig. 6, 7 og 8). Meget fine eksempler på gange findes i området, deriblandt nogle som er op til 3/4 km brede og kan følges over flere tital km i længden. Men magma kunne også trænge ind mellem eksisterende bjergarter i den øverste del af jordskorpen og størkne som intrusioner (Fig. 4 og 20B). De findes typisk som cylindriske legemer med diametre op til 30 kilometer og er spredt ud over Gardar-provinsen (Fig. 1).

Basaltmagmaer, hvis kemiske sammensætning kun var lidt ændret undervejs op fra kappen, størknede som gabbro, den plutoniske bjergart, som svarer til den vulkaniske bjergart basalt. Det skete især i gange og i mindre grad i intrusionerne. De nævnte krystallisationsprocesser kunne imidlertid føre til mere markante ændringer i magmaernes kemiske sammensætning. Indholdet af grundstoffer som silicium og alkalimetallerne natrium og kalium voksede, mens indholdet af grundstoffer som magnesium og calcium aftog. Disse processer

førte til dannelse af flere typer af alkalirige bjergarter: syenit, nefelinsyenit og granit.

I Gardar-provinsen findes nogle af Verdens største og bedst blottede intrusioner af syenit og nefelinsyenit. Bjergarterne i de fleste af intrusionerne er næsten identiske med bjergarter i tilsvarende magmaprovinser andre steder på Jorden, men to Gardar-intrusioner består af mineraler og bjergarter, som gør dem enestående: Ilímaussaqq-komplekset ved Narsaq og kryolitforekomsten i Ivittuut. Kryolitforekomsten ligger 120 km vestnordvest for Narsaq (Fig. 1) og langt uden for det område, som behandles her (se dog side 18). Kun de intrusioner, som ligger langs Tunulliarfik: Igaliko-, Ilímaussaqq- og Dyrnæs-Narsaq-komplekserne, vil blive beskrevet her.

Istidsdannelserne

Under den sidste nedisning nåede isdækket sandsynligvis ud til den ydre del af kontinentalsoklen, dvs. 60 km uden for den nuværende kystlinie. Man får en idé om is-



Fig. 16. Qassiarsuk. Husene er bygget på hvid sandsten fra Eriksfjord Formationen og på hævede kystterrasser. De rødbrune bjergarter er carbonatrige tuffer. De sorte rygge, som løber diagonalt ned over fjeldsiden, er basaltiske dykes. Længst til højre ses Leif stå på en lille vulkansk pipe. Den hvide sandsten midt i billedet er blevet løftet op af forkastningsbevægelse, som ledsagede den vulkanske eruption. (Tom Andersen).



Fig.15 Qassiarsuk I forgrunden ses nordboruiner, forrest gårdens langhus og bagved det kirken med kirkegårds muren omkring. Bagved ruinerne ses husene i Qassiarsuk. De græsklædte marker underlejres af sandsten og vulkanske bjergarter. Bjergryggen i baggrunden består af sandsten. Den stejle skrænt er en forkastning, langs hvilken de vulkanske bjergarter i forgrunden er nedforkastet i forhold til sandstenen i bjergryggen. På den modsatte side af Tunulliarfik ses Illerfissalik.

dækkets tykkelse ved at det høje fjeld Ilimmaasaq (1390 m) (Fig. 10) er iseroderet til en højde af 1200 m. De højeste dele af fjeldet har raget op over isen som nunatakker. Man ved ikke med sikkerhed, hvornår isdækket forsvandt. Det skønnes, at Narsaq blev isfri for 10200-10400 år siden, mens den indre del af fjorden ved Qassiarsuk og Narsarsuaq 50 km længere mod øst først blev isfri for 9500-9700 år siden.

For 4000 - 5000 år siden blev klimaet koldere, hvilket fik gletscherne til at avancere. Den maksimale udbredelse af gletscherne i egnen omkring Narsarsuaq, Qooroq fjord og Igaliku skønnes at være nået for mere end 2000 år siden. Dette var årsag til dannelse af udbredte moræner fra Indlandsisens rand nord for Narsarsuaq til Motzfeldt Sø øst for Igaliku (betegnet

'Narsarssuaq stadiet'). Meget markant er den bue af isfjelde, som er strandet på en undersøisk endemoræne i munden af Qooroq Isfjord (Fig. 9,11). Den markerer den maksimale udbredelse af gletscheren Qoorq Sermia, som nu ses i bunden af Qooroq fjord (Fig. 12,13).

Tilbagesmeltningen af isdækket fra den ydre del af Skovfjord og Bredefjord skete uden aflejring af endemoræner og andre israndsdannelse. Landskabet karakteriseres af iseroderede fjelde og i de lavereliggende dele af hævet havbund, strandvolde og deltaer.

I den indre del af Tunulliarfik domineres landskabet af sidemoræner og flodsletter dannet i løbet af de seneste 2000-3000 år. Lufthavnen er anlagt på en sådan flodslette.

Hævede kystterrasser findes fx i Igaliku og ved havnen i Narsarsuaq.

Kiattuut Sermiat gletscheren findes inde i dalen bag Narsarsuaq flyveplads (Fig. 13, 14). Fronten af gletscheren består af dødis, som er dækket af morænemateriale. To til tre km bag gletscherfronten ses den aktive hvide is. Den gradvise dannelse af dødis markeres af buede linier af morænemateriale, dannet ved at den aktive is har skubbet moræne ud over den foranliggende dødis.

Narsaq Elvddal nord for Narsaq ender oppe ved den lille Narsaq Bræ (Fig.10), som ligger mellem Ilimmaasaq fjeld (1390 m) og Nakkalaaq fjeld (1440 m). Det er den største af dette fjeldområdes fire små gletschere, der ligger i højder mellem 900 og 1300 m. Denne gletscher nåede sin maksimale udbredelse i slutningen af det nit-

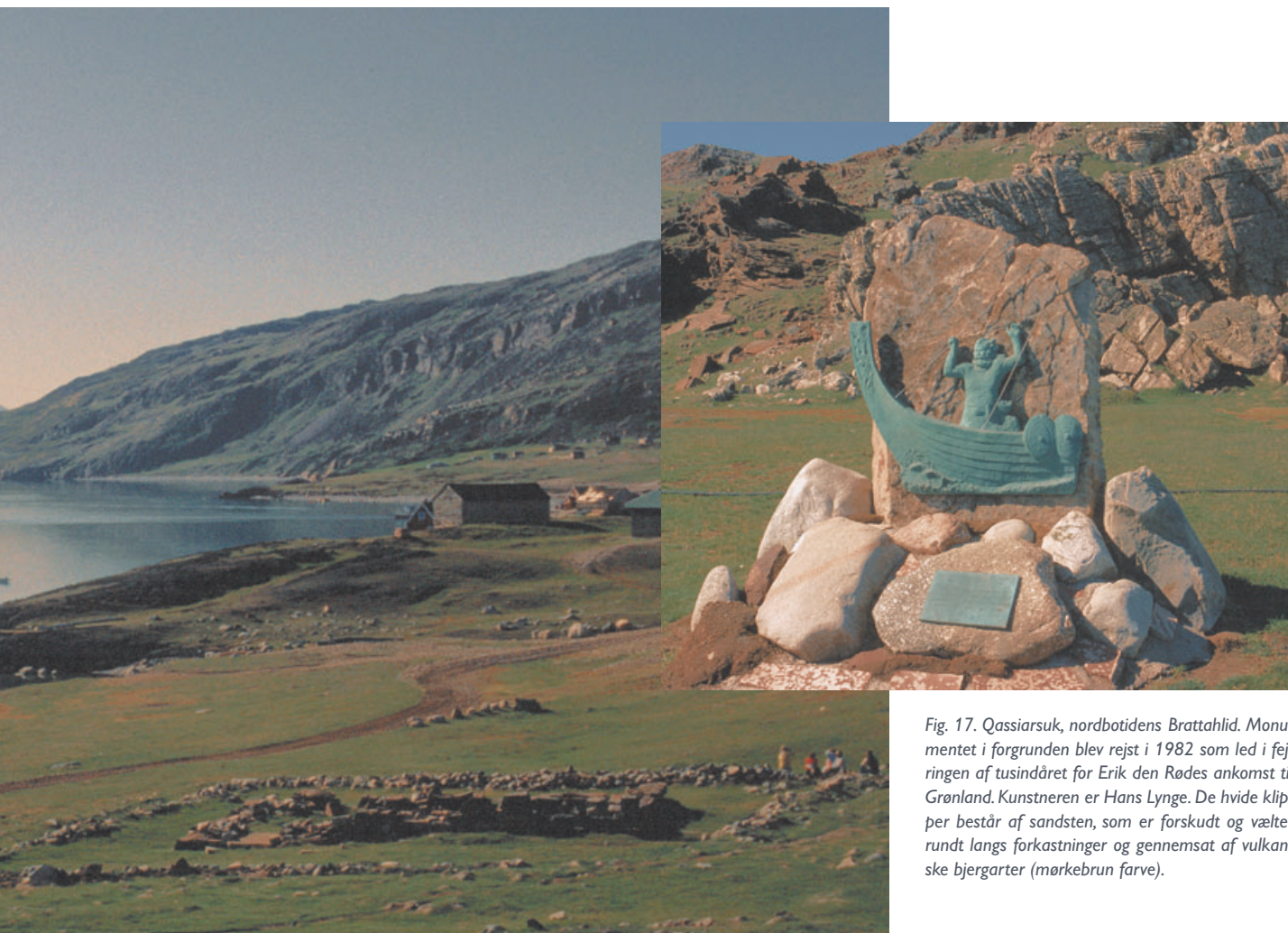


Fig. 17. Qassiarsuk, nordbotidens Brattahlid. Monumentet i forgrunden blev rejst i 1982 som led i fejringen af tusindåret for Erik den Rødes ankomst til Grønland. Kunstneren er Hans Lynge. De hvide klipper består af sandsten, som er forskudt og væltet rundt langs forkastninger og gennemsat af vulkanske bjergarter (mørkebrun farve).

tende århundrede, hvor gletscherfronten fandtes langt nede i dalen.

Karbonatitvulkanismen ved Qassiarsuk

De grønne dyrkede marker omkring bygningen Qassiarsuk, stedet hvor Erik den Røde boede, underlejres af lava og hærddet vulkansk aske (tuf), som består af karbonatit (Fig.15). Karbonatit er en sjælden magmabjergart, som er karakteriseret af et stort indhold af karbonatminerale, først og fremmest calcit. Karbonatit har de samme mineraler som almindelige kalksten, der er sedimentære bjergarter, og som marmor, der er en metamorfoseret kalksten, men karbonatit er altså dannet ved størkning af et magma.

I Qassiarsuk flød de karbonatitiske lavaer ud over aflejringer af løst sand og hærddede sandsten tilhørende Eriksfjord For-

mationen. Sandstenen intruderes af vulkanske "pipes", dvs. rør gennem hvilke magma er trængt op gennem lagserien. De består af karbonatrige vulkanske bjergarter. Statuen af Leif Eriksen er anbragt på et af disse rør (Fig.16). Der er mange forkastninger (Fig. 17). Langs nogle af disse er magma trængt op og har dannet gange (Fig. 16).

De karbonatrige lavaer danner tynde lavastrømme fyldt med blæreformede hulrum. De efterfølges af karbonatrige tuffer, som er de mest karakteristiske vulkanske bjergarter på dette sted. De er teglstensrøde og rige på det fosforholdige mineral apatit, som ved forvitring frigiver fosfor. Bjergarten fungerer dermed som en naturlig gødning. Dette er årsag til den kraftige vækst af græs, som er en fordel for fåreavlen på stedet.

Samtidig med karbonatitvulkanismen strømmede basaltisk lava og tuf ud gennem sprækker og kratere i det nærliggende ter-

ræn og flød ind i området med karbonatitvulkanismen. De oprindelige lavaoverflader med tovlava er bevaret.

De karbonatrige vulkanske bjergarter i Qassiarsuk tilhører en gruppe af magmabjergarter, som er knyttet til kontinentale riftzoner. I dag kendes aktiv vulkanisme af den type kun i vulkanen Oldoinyo Lengai i Tanzania i den østafrikanske Rift. De karbonatitiske lavaer og tuffer i Qassiarsuk er de ældste kendte eksempler på denne meget sjældne type af vulkanske bjergarter.



Fig. 18. Efterforskning af tantal og niob, oven for Motzfeldt sø. Klipperne omkring søen tilhører Motzfeldt centret i Igaliko-komplekset. Se også Fig. 13. Billedet er taget fra plateauet oven for søen fra nordøst mod sydvest og viser Motzfeldt sø med isskoster af kalvis fra de to gletschere der når ned til søen. Til højre ses nogle af de niob- og tantalholdige bjergarter. Billedet er taget fra omtrent 1000 meters højde og illustrerer også de logistiske vanskeligheder en evt. brydning af malmen vil medføre (Secher).

Igaliko-nefelinsyenitkomplekset

Dette kompleks findes i fjeldene øst og sydøst for Narsarsuaq og nordøst for Igaliku og gennemskæres af Qooroq Fjord og Motzfeldt Sø. Det består af ca. tredive intrusioner af nefelinsyenit og syenit, som grupperes i fire større centre (Fig. 13). Motzfeldt-centret, som er ældst, blev dannet for 1280 millioner år siden; Igdlerfigssalik-centret, som er yngst, for 1140 millioner år siden. Der er skarpe kontakter mellem de enkelte intrusioner. De yngste viser finkornede kontaktzoner mod de ældre, et tegn på at de er størknet hurtigt på grund af kraftig afkøling. Dette viser, at de ældre bjergarter var blevet kolde, inden de magmaer, som dannede de yngste, intruderede, hvilket er i overensstemmelse med, at den magmatiske aktivitet udspandt sig over hele 140 millioner år. Det er bemærkelses-

værdigt, at det er de samme typer af syenitter og nefelinsyenitter, som opbygger de fire centre, dvs. at betingelserne for dannelse og krystallisation af magma holdt sig stort set uforandret gennem hele dette tidsrum.

Intrusionerne skærer Julianehåb-batholithens granit (Fig. 6) og Eriksfjord Formationens sandsten og vulkanske bjergarter, som er blevet hærdnet på grund af varmpåvirkningen fra de størknende magmaer (Fig. 4).

De grå og rødbrune syenitter og nefelinsyenitter smuldrer og er næsten uden plantedække (Fig. 7, 9). Dette er i modsætning til de omgivende mørke, mere vegetationsdækkede fjelde opbygget af Julianehåbgranit, sandsten og basalt (Fig. 6).

Der er talrige skærende gange (Fig. 6, 7), færrest i Igdlerfigssalik-centret, som er det

yngste af de fire centre. En særlig type gange har krystaller af feldspatmineralet plagioklas og store brudstykker af bjergarten anorthosit (Fig. 8), et vidnesbyrd om, at der på dybet findes store legemer af sådanne bjergarter.

I fjeldene oven for Motzfeldt Sø i Motzfeldt-centret findes store forekomster af mineralet pyrochlor, et niob-tantal mineral (Fig. 18; se side 19). Den verdensberømte mineralforekomst, Narssârssuk, findes i linser og klumper af pegmatit i syenit nær Igdlerfigssalik-centrets vestlige kontakt mod sandsten. I denne arealmæssigt begrænsede forekomst er fundet mere end tres mineraler, hvoraf tretten blev navngivet og først beskrevet her og ét kun kendes fra denne forekomst.

Sejlturen fra Narsarsuaq til Narsaq

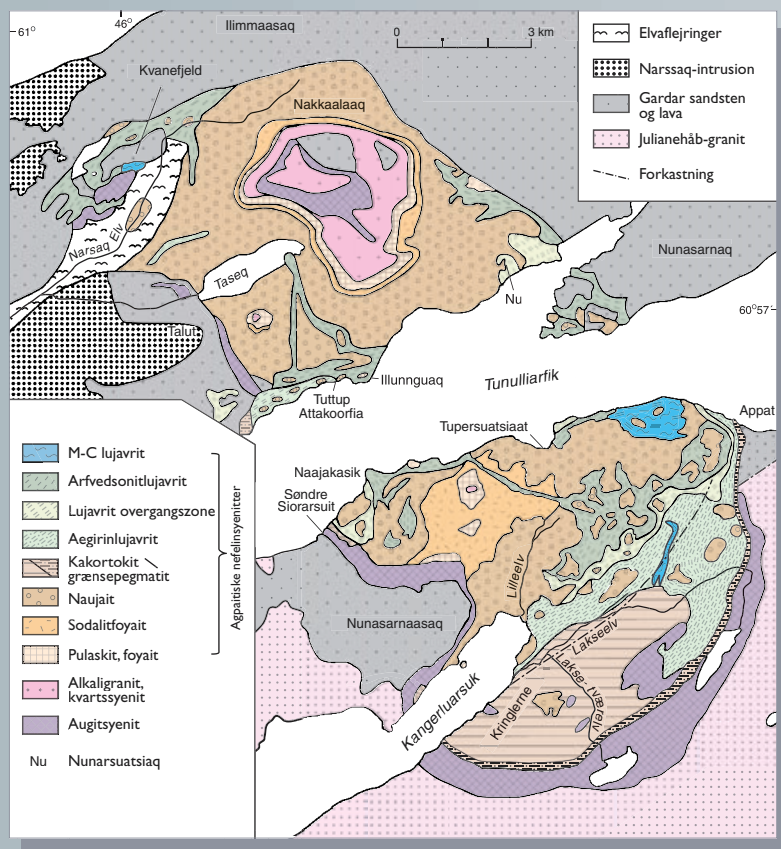


Fig. 19. Geologisk kort over Ilímaussaq-komplekset.

Sejlturen fra Narsarsuaq til Narsaq giver et fantastisk snit gennem hjertet af Gardarprovinsen, se det geologiske kort (Fig. 20). Snittet viser de ketilidiske 'basement' granitter (lyserøde på det geologiske kort) og de overlejrende sandsten (gule) og lavaer (grågrønne), et antal gange (blågrønne), samt tre af Gardar-provinsens store syenit-intrusioner: Igaliko og Ilímaussaq (stribet blå), samt Dyrnæs-Narsaq (rød og blågrøn på det geologiske kort).

Nordkysten af Tunulliarfik består ved Qassiarsuk af Julianehåb-granit med hvid sandsten i nedforkastede områder og karbonatiske lavaer og tuffer (Fig. 16 og 17). Sandstenen stopper syd for de nedforkastede områder. Fjordsiden består herefter af granit indtil Majut, hvor granitten overlejres af Eriksfjord Formationens sandsten med indlejrede basaltlavaer. Forskel i forvitring af bjergarterne er årsag til dannelsen af en topografi med vekslende stejle skrænter og terrænoverflader, som hælder svagt mod syd (Fig. 5 og 20A). Den-

ne karakteristiske topografi ses mange kilometer langs kysten til fjeldet Nunasarnaq (680 m, dets populære navn er Strygejerret) nås. Dette består nederst af sandsten, øverst af basaltlavaer (forsidefoto, Fig. 34).

Den sydlige væg af Nunasarnaq markerer den skarpe kontakt mellem sandsten/basalt og Ilímaussaq-komplekset (forsiden). Dette består af forskellige typer af syenit og nefelinsyenit (Fig. 20B). Der følger nu i fjordvæggen et meget instruktivt 10 km bredt tværsnit af Ilímaussaq-komplekset (se side 14). Mod vest er Ilímaussaq-komplekset i kontakt med Eriksfjord Formationens basaltlavaer (Fig. 20C). Disse og deres underlejrende sandsten ses i kystfjeldene indtil bjerget Qaqqarsuaq (685 m) nås. Det er den sydligste del af Dyrnæs-Narsaq-komplekset og opbygges af granit og syenit, som intruderer Eriksfjord Formationens bjergarter (Fig. 20D). Langs kysten af Narsaq Pynt ses bunden af Eriksfjord Formationens sandsten, som er aflejret på Julianehåb-granit. Sandstenen overlejres lidt oppe

i fjeldvæggen af vulkansk aske, som opad efterfølges af basaltlava.

Sydskysten af Tunulliarfik opbygges bag havnen i Narsarsuaq af basaltlava, men denne intruderer lige vest for havnen af Igaliko-kompleksets nefelinsyenitter. Disse bjergarter findes også i Qooroo Fjordens vægge og vest for denne fjords munding, hvor de opbygger det høje fjeld Illerfissalik (1752m) (Fig. 9). Mod vest intruderer disse bjergarter Julianehåb batholithen. Denne opbygger kysten mange km mod syd og overlejres hist og her af sandsten, som også nogle steder findes i nedforkastede områder.

Ved Appat ses kontakten mellem nedforkastet sandsten og Ilímaussaq-komplekset (Fig. 20E). Ligesom på nordkysten følger nu ud ad fjorden et instruktivt tværsnit gennem dette kompleks. Mod vest er Ilímaussaq's nefelinsyenitter i kontakt med Julianehåb-granit overlejret af sandsten, som øverst i fjeldet Nunasarnaasuaq (770 m) igen overlejres af basalt (Fig. 20F)



Fig. 20D. Fjeldet Qaqqarsuaq (685 m), som ligger lidt uden for Narsaq, består af rødfarvet syenit og granit. I baggrunden ses basaltlavaer, se også Fig. 20C.



Fig. 20C. Nordkysten af Tunulliarfik. Til højre ses Ilimaussaqa-kompleksets nefelinsyenitter (med mørktfarvet lujavrit nederst og lys naujait øverst). Midt i billedet ses kompleksets vestkontakt mod sorte basaltlavaer. Disse intruderer i det fjerne længst mod vest af rødlig granit i fjeldet Qaqqarsuaq i udkanten af Narsaq.

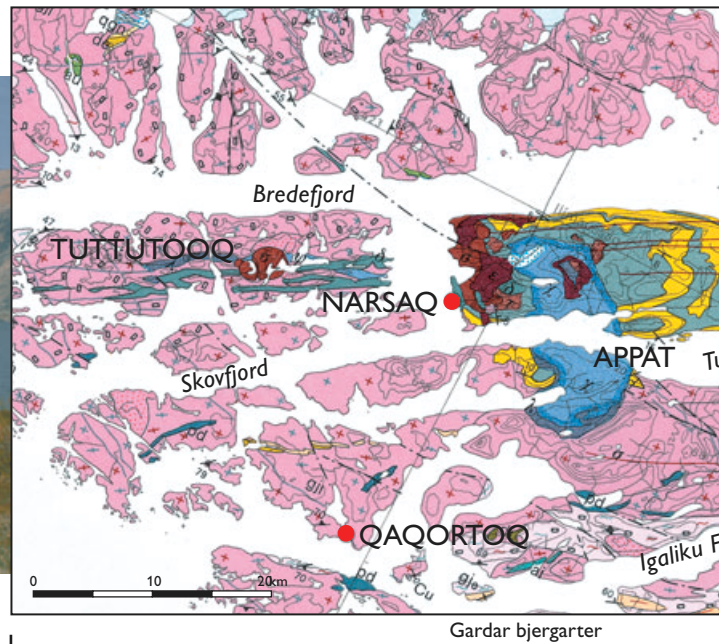


Fig. 20. Geologisk kort over Tunulliarfik-Skovfjord området. Udsnit af det geologiske kort. Der er i forhold til det originale kort sket en forenkling af signaturene og staving af stederne.



Fig. 20F. Sydkysten af Tunulliarfik med Ilimaussaqa-kompleksets lyse nefelinsyenitters vestkontakt mod Julianehåb-granit overlejret af sandsten og af basalt i den øverste del af fjeldet Nunasarnaasaq (765 m).

Fig. 20B. Nordkysten af Tunulliarfik med kontakten mellem Ilimaussaq-kompleksets nefelinsyenitter (til venstre) og Eriksfjord Formationens basaltlavaer (de sorte bjergarter til højre). Disse viser en svag hældning ind mod nefelinsyenitterne. Toppen af de højeste fjelde (ca. 1300 m) består af basalt og er rester af det tag, som i sin tid dækkede Ilimaussaqs magmakammer. Bemærk at nefelinsyenitterne er næsten uden plantedække.

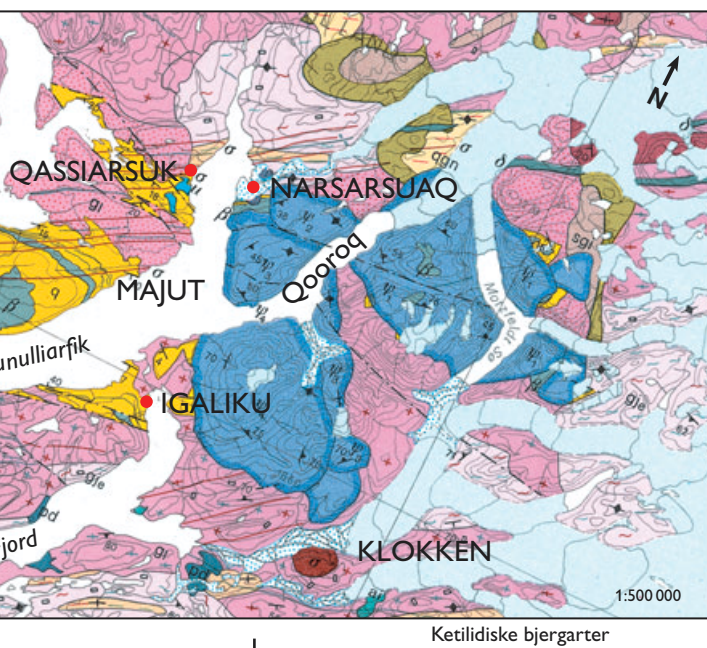


Fig. 20C. Geologisk kort i 1 : 500 000 over Sydgrønland publiceret af Grønlands Geologiske Undersøgelse i 1990. Navne er bragt i overensstemmelse med nugældende regler.



Fig. 20A. Nordkysten af Tunulliarfik fra syd for Qassarsuk til fjeldet Nunarsarnaq (680 m) i det fjerne. Fjordvæggen består af sandsten og basalt, som hælder svagt mod vest (mod venstre). I baggrunden til venstre ses forrest Ilimaussaq-kompleksets østkontakt ved Appat, bagest fjeldet Nunarsarnaq (765 m), der ligger lige vest for Ilimaussaq-komplekset, se også Fig. 20E og F.

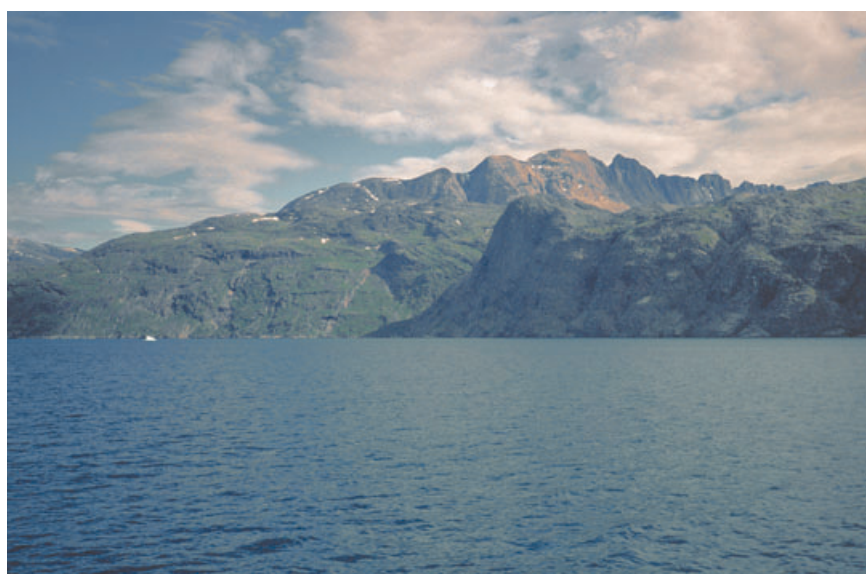


Fig. 20E. Sydcosten af Tunulliarfik. Ilimaussaq-kompleksets østlige kontakt ved Appat. De mørke fjelde forrest er nefelinsyenitter. Disse er i kontakt med nedforkastet sandsten bag den forreste pynt. I baggrunden fjeldkæden Redekammen, som består af Julianehåb-granit.

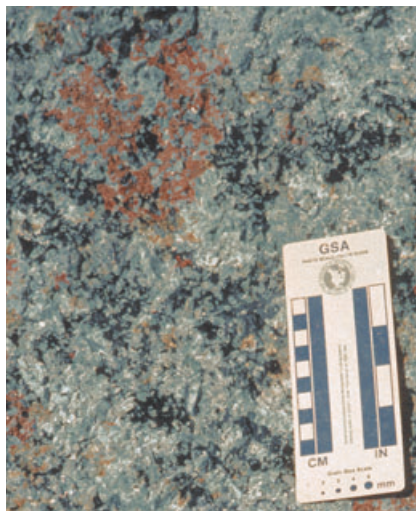


Fig. 21. Nærbillede af naujaite som viser små grå-grønne krystaller af sodalit indlejret i hvide krystaller af feldspat, sorte af arfvedsonit og ægirin og røde af eudialyt.



Fig. 22. Lagdelt lujaivrit med vekslende mørke og lyse lag. Lagene er foldet rundt om store brudstykker af naujaite. Tuttup Attakoorgia på nordkysten af Tunulliarfik.

Ilímaussa- og kompleksset

Ilímaussa- og kompleksset er en af Verdens mest fascinerende intrusioner på grund af dets ekstreme rigdom på sjældne grundstoffer og tilsvarende store antal sjældne mineraler. Der er fundet mere end 225 forskellige mineraler. Tredive af dem blev først fundet og beskrevet her, og tolv er ikke fundet andre steder på Jorden.

Komplekset opbygges af syenitiske bjergarter, som for 1160 millioner år siden intruderede granitten fra Julianehåb-batholithen og dennes dække af sandsten og basalt (Fig. 19). På nordkysten af Tunulliarfik

ses, at basaltlavaerne på begge sider af kompleksset hælder ind mod dette (Fig. 20B og 20F). Det skyldes, at lavadækket stødte op mod Ilímaussa- og komplekssets magmakammer, mens detes magma endnu ikke var størknet og derfor ikke kunne modstå vægten af lavaerne. De væltede derfor ind mod magmakammeret og stedvis faldt brudstykker af basalt ind i dette. De findes nu som indeslutninger i Ilímaussa- og komplekssets syenitter.

Ilímaussa- og kompleksset opbygges af en gruppe af syenitter, der betegnes som nefelinsyenitter, men Ilímaussa- og bjergarterne udgør en særlig undergruppe af disse. Den er karakteri-

seret af at have højere indhold af grundstoffer som natrium, fluor, klor, svovl, zirkonium, beryllium, niobium, uran og thorium end næsten alle andre kendte bjergarter. N.V. Ussing, som i 1912 beskrev og forklarede Ilímaussa- og bjergarter, gav navnet agpaitisk til denne undergruppe. Navnet er afledt af lokaliteten Appat (tidligere stavet Agpat) på sydkysten af Tunulliarfik (Fig. 20E).

Komplekset opbygges af adskillige typer af agpaitiske nefelinsyenitter. Vi skal her kun beskrive de tre mest udbredte, naujaite, lujaivrit og kakortokit.

G E O L O G I N Y T F R A G E U S 2 / 0 3

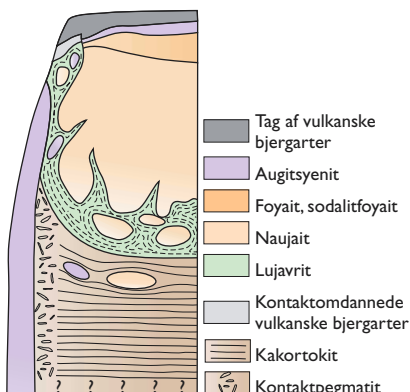


Fig. 24A. Skematisk tværprofil gennem Ilímaussa- og kompleksset, som viser komplekssets øvre del med hovedbjergarten naujaite, den nedre del opbygget af bjergarten kakortokit og den mellemste del af lujaivrit. Den skjulte del er vist med spørgsmålstegn.



Fig. 24B. Tværnit gennem Ilímaussa- og kompleksset set fra kompleksets allersydligste del syd for Kangerluarsuk. I forgrunden lagdelt kakortokit. De lyse bjergarter midt i billedet, som opbygger nordsiden af den inderste del af Kangerluarsuk, er domineret af naujaite. Foran disse, nede i elvdalen, ses den mørktfarvede sandwich-horisont af lujaivrit. Mellem naujaite og fjeldet Nunasarnaasaqs sandsten og basalt (yderst til venstre) findes en rustbrun zone af augitsyenit. De allerhøjeste toppe, som findes nord for Tunulliarfik, viser basalt i taget af kompleksset (se Fig. 20B).

Fig. 23. Sydkysten af Kangerluarsuk med bjergmassivet 'Kringlerne', som er opbygget af kakortokit med sorte, røde og hvide lag. I baggrunden ses de to fjelde Ivianguisaq, det til venstre er 903 m højt, (det yderst til højre 793 m højt). De består af Julianehåb-granit. Mellem granitten og kakortokitten ses augitsyenit (den brunfarvede bjergart), se også Fig. 26



Naujait er en lys, men ganske broget bjergart (Fig. 21). Grå til grønne op til 1 cm store krystaller er spredt ud over bjergarten. De består af mineralet sodalit (se skemaet med Ilimaussaqa mineraler på side 17). Sodalitkrystallerne er indesluttet i hvide krystaller af alkalifeldspat, mørkegrønne og sorte krystaller af mineralerne ægirin og arfvedsonit og røde krystaller af mineralet eudialyt, krystaller som kan nå kornstørrelser på mere end 10 cm.

Lujavrit er oftest finkornet og viser veludviklet lamination (betegnelse for skifrig-hed i magmabjergarter) og stedvis meget markant lagdeling (Fig. 22). Den nederste del af lujavritterne er grønne pga. et stort indhold af mineralet ægirin, de øverste dele er sorte pga. et stort indhold af mineralet arfvedsonit. Lujavritterne har store indhold af sjældne mineraler, som fx eudialyt i den nedre grønne del og steenstrupin, villiaumit, naujakasit, ussingit og mange andre i den øvre sorte del. Steenstrupin er et radioaktivt mineral og hovedmineralet i uranforekomsten på Kvanefjeld i den nordlige del af kompleksset (se side 19).



Fig. 25A. Linseformet pegmatitåre i naujait som er rig på eudialyt i den nederste del. Hulen blev udhugget i 1888 som led i forsøg på udvinding af zirconium og andre metaller af eudialyt. Den lille ø Qeqertaasaq nær bunden af Kangerluarsuk. Fotografiet blev taget i 1968. Øen er nu okkuperet af måger og dens klippeoverflade farvet hvid af mågernes afføring.

◀ Fig. 25B. Røde krystaller af eudialyt fra pegmatitlinse i indre del af Kangerluarsuk. (Foto: Ole Bang Berthelsen)



Fig. 26. Kontakten mellem Julianehåb-granit (den mørke bjergart i baggrunden i fjeldene Ivianguisaq) og kakortokit (den lyse bjergart til venstre i billedet). Mellem disse bjergarter findes rustbrun smuldrende augitsyenit. Denne indeslutter nede ved kysten store blokke af hvid sandsten. Kompleksets vestkontakt på sydkysten af Kangerluarsuk.

Tugtupit

Tugtupit er det mineral blandt de mere end 225 mineraler, der er fundet i Ilímaussaq, som har tiltrukket sig særlig interesse, fordi det er blevet en populær smykkesten. Det skyldes mineralets lyserøde til dybrøde farve (Fig. 27A og B). Men det røde mineral er sammenvokset med hvide, gule og sorte mineraler, hvilket giver polerede smykkesten, ofte i cabochon-form, et særpræget broget farvespil, som udnyttes til fremstilling af unikke smykker.

Tugtupit findes i årer i augitsyenit og naujait. Mineralet blev fundet i 1960 og beskrevet næsten samtidig fra Ilímaussaq og fra Kolahalvøen i Rusland. Det blev kaldt beryllium sodalit i Danmark og beryllsodalit i Rusland, navne som angiver, at mineralet er en berylliumholdig variant af sodalit. Da det stod klart, at det grønlandske mineral havde en fremtid som smykkesten, fik det navnet tugtupit efter en lokalitet på nordkysten af Tunulliarfik *Tugtup Agtakórfia* (nu stavet *Tuttup Attakoórfia*). *Tugto* (*tutto*) betyder rensdyr på grønlandsk.

Kakortokit er den tredje agpaitiske bjergart som skal omtales. Den findes i et område i den sydlige del af komplekset (Fig. 23). Det kaldes 'Kringlerne', fordi sorte bjergarter på dets overflade danner et mønster, der minder om sammenflettede kringler. Kakortokit opbygges af lagpakker af sorte, røde og hvide lag. De sorte lag er rige på arfvedsonit, de røde på eudialyt og de hvide lag, som er meget tykkere end de andre lag, er rige på alkalifeldspat.

Rester af taget af basalt over Ilímaussaq magmakammer er bevaret i de højeste toppe (ca. 1300 m) på Tunulliarfiks nordkyst (Fig. 20B). Under magmakammerets størkning opdelttes Ilímaussaq-komplekset i en øvre del med naujait som dominerende bjergart, en mellemste del domineret af lujavrit, en nedre del med kakortokit og en nederste skjult del (Fig. 24A og B).

Den øverste del består af lyse bjergarter, som krystalliserede ovenfra nedad. Sodalit, som er et meget let mineral med lave massefylde end magmaet, krystallise-

rede først ud af magmaet. Krystallerne svævede i magmaet og blev, efterhånden som magmaet størknede, omvokset af og indesluttet i de andre mineraler under dannelse af naujait (Fig. 21). Nogle steder har naujaiten lag eller linser af grovkornede bjergarter: pegmatitter. En sådan linse på øen Qeqertaasaq i fjorden Kangerluarsuk syd for Tunulliarfik er så rig på eudialyt, at der allerede i 1880'erne blev udspærngt et større parti i et forsøg på at udvinde metallet zirkonium og andre sjældne metaller af mineralet (Fig. 25A).

Den mellemste del kan beskrives som en 'sandwich horison' mellem den overliggende naujait og den underliggende kakortokit (Fig. 24A og B). Den består af lujavrit dannet ved krystallisation af magma, som var blevet til rest, efter at de øvre og nedre dele af komplekset var størknet. Dette restmagma havde store koncentrationer af sjældne og flygtige grundstoffer, hvilket er årsagen til lujavrits mineralrigdom.

Kakortokitten i den nedre del består af

lagpakker, hvor hver pakke nederst har et sort lag rigt på arfvedsonit. De sorte lag overlejres med gradvis overgang af røde lag rige på eudialyt og de igen overlejres med gradvis overgang af hvide lag rige på alkalifeldspat. De hvide lag har skarp grænse til de overlejrende sorte lag, hvorefter historien gentager sig. Arfvedsonit har større massefylde end eudialyt som igen er tungere end feldspat. Man kan derfor forestille sig, at lagpakkerne af sorte, røde og hvide lag er opstået ved sortering efter massefylde og sedimentation af mineraler, som er udkrystalliseret i magmakammerets nederste del. De røde lag indeholder en stor ressource af zirkonium i mineralet eudialyt (Fig. 25B; se side 19).

Den nederste skjulte del må bestå af de bjergarter, som blev aflejret på bunden af magmakammeret, samtidig med at bjergarterne i den øvre del blev dannet.

En del steder langs Ilímaussaq-kompleksets kontakter findes en smuldrende brun bjergart imellem nefelinsyenitterne og de omgivende bjergarter (Fig. 26). Denne bjergart betegnes augitsyenit. Den findes også som indeslutninger i Ilímaussaq's agpaitiske bjergarter. Det antages, at der på stedet, hvor Ilímaussaq-komplekset findes, først fandtes en intrusion af augitsyenit. Den blev intruderet og delvis opslugt af de nefelinsyenitiske magmaer, således at der nu kun er bevaret spredte rester af denne ældre intrusion. I den vestlige kontakt på sydkysten af Kangerluarsuk indeholder augitsyenitten store blokke af hvid sandsten (Fig. 26). Der findes ingen sandstensforekomst på denne side af fjorden. Den højeste af de to spidse granitoppe Ivianguisaq (det grønlandske ord for bryster) lige uden for komplekset er 903 m høj. Sandstenen må have ligget

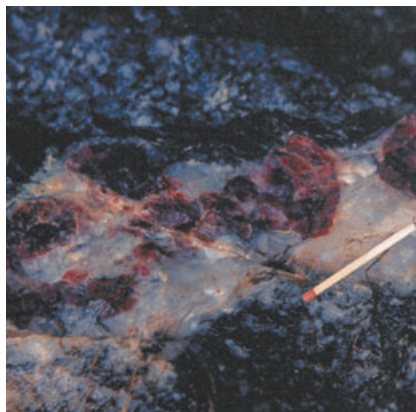


Fig. 27A. Karminrøde krystaller af tugtupit i åre i augitsyenit. Kvanefjeld.



Fig. 27B. Smykke af tugtupit. (Geologisk Institut)

oven på granitten. Dette betyder, at sandstensblokkene er faldet mindst 900 m ned i augitsyenitmagmaet. På den modsatte kyst findes sandsten over granit i ca. 300 m højde. Heraf kan sluttet, at den nordlige side af fjorden er nedforkastet i forhold til den sydlige del.

Ilímaussaqs mineralrigdom, og unikke bjergarter og de fantastiske strukturer som fx lagdelingen i lujavrit og kakortokit, gør komplekset til et mål for mineralogiske og geologiske studier, som tiltrækker fagfolk og amatører fra mange lande. Der er en rig holdig litteratur om komplekset på mere end 900 titler.

Dyrnæs-Narsaq-komplekset

Bjergarten gabbro er udbredt i Gardar-provinsens gange, men er en underordnet bestanddel af intrusionerne. Gabbro er imidlertid en vigtig del af Dyrnæs-Narsaq-komplekset, idet fjeldgrunden under Narsaq og halvøen, der strækker sig 2 km mod nordvest for byen, består af gabbro (Fig. 28). Gabbroen opfattes som den østligste del af en næsten én km bred gabbrogang på øen Tuttutooq, som ligger lige vest for Narsaq. Gabbroen viser mange steder magmatisk lagdeling og også parallel orientering af store hvide krystaller af feldspat-mineralet plagioklas.

I gabbroen findes mange indeslutninger (xenolither) af lyse bjergarter, som måler fra 20-30 cm op til adskillige meter i tværmål. De består af bjergarten anorthosit, der er sammensat af store krystaller, op til 20 cm, af feldspatmineralet plagioklas. Disse indeslutninger er af gabbromagmaet bragt op fra dybet, hvor anorthositten sandsynligvis er blevet dannet ved at plagioklaskrystaller er steget til vejrs og har samlet sig til større legemer i toppen af et basaltisk/gabbroisk magmakammer (se Fig. 8). Indeslutningerne er vidnesbyrd om, at der i dette magmakammer er foregået mineralfraktionering. Derved forstås, at plagioklaskrystallerne er blevet adskilt fra magmaet, som derved har fået ændret sin kemiske sammensætning. Gardar-provinsens store syenitforekomster antages at være dannet ved sådanne mineralfraktioneringsprocesser i basaltmagmaer opsmeltet i Jordens kappe.



Fig. 28. Kontakt mellem Julianehåb-granit (til højre) og gabbro (til venstre), øen mellem gamle og nye havn, Narsaq. (Upton).



Fig. 29. Diatrem med indeslutninger af kvartsit (hvid) og basalt (sort). Nye havn Narsaq. (Upton).

Langs vestkysten af halvøen nordvest for Narsaq indeholder gabbroen fem små legemer af meget finkornede sorte bjergarter, som er tunge og magnetiske. De mangler feldspat og andre lyse mineraler og betegnes derfor som ultramafiske. Mens gabbroen har en enkel mineralogisk sammensætning, er den ultramafiske bjergarts mineralogiske sammensætning meget kompliceret. Hovedmineralerne er olivin, augit, biotit og magnetit, hvortil kommer omkring tredive andre mineraler. Der er muligvis tale om små intrusioner dannet ved størkning af magma, som er opsmeltet dybt nede i Jordens kappe.

Gabbroen skæres af næsten cirkulære

vulkanrør, diatremer, som har diametre mellem 50 og 100 m (Fig. 29). De har i en finkornet mellemmasse mange indeslutninger af kvartsit og af finkornede sorte bjergarter, der tolkes som omkrystalliserede brudstykker af Eriksfjord Formationens sandsten og basalt. Mellemmassen indeholder krystaller af violet flusspat. Diatremerne er sandsynligvis blevet dannet ved at gasser afgivet af størknende magma på dybet med stor hastighed har boret sig op gennem jordskorpen. Da trykket tog af, faldt brudstykker af rørens sidesten ned i rørene og lukkede dem til.

Gabbroen er intruderet af syenitintrusioner, som sammen med en endnu senere

De i teksten nævnte mineraler fra Ilímaussaqs

	Kemisk formel	Farve i håndstykke	Hårdhed	Massefylde g/cm ³
Alkalifeldspat	(Na,K)AlSi ₃ O ₈	Hvid	6	2,6
Arvedsonit	Na ₃ (Fe ²⁺ ,Mg) ₄ Fe ³⁺ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	Blågrøn til sort	5-6	3,4
Augit	(Ca,Mg,Fe) ₂ (Si,Al) ₂ O ₆	Brunsort	5,5	3,4
Eudialyt	Na ₁₅ Ca ₆ Fe ₂ Zr ₃ Si ₂₆ O ₇₃ (O,OH,H ₂ O) ₃ (Cl,OH) ₂	Rød	5,5	3,0
Naujakasit	Na ₆ (Fe,Mn)Al ₄ Si ₈ O ₂₆	Sølvhvid til blå	2,5	2,7
Nefelin	(Na,K)AlSiO ₄	Hvid til grå	5,5	2,6
Pyrochlor	(Na,Ca) ₂ Nb ₂ (O,OH,F) ₇	Gul	5,5	5,5
Sodalit	Na ₄ Si ₃ Al ₃ O ₁₂ Cl	Grøn, grå, blå	5-6	2,3
Steenstrupin	Na ₁₄ (Ce,Th,U) ₆ Mn ₂ Fe ₂ Zr(PO ₄) ₇ Si ₁₂ O ₃₆ (OH) ₂ 3H ₂ O	Brun til sort	4	3,5
Tugtupit	Na ₄ BeAlSi ₄ O ₁₂ Cl	Hvid til karminrød	5	2,4
Ussingit	NaAlSi ₃ O ₈ NaOH	Hvid til violet	5	2,5
Villiaumit	NaF	Dybbrød	2	2,8
Ægirin	NaFe Si ₂ O ₆	Grøn til sort	6-6,5	3,5

Oplysningerne om farve er mineralernes farve i Ilímaussaqs, som godt kan være forskellig fra samme mineralers farve andre steder. Fede typer angiver, at mineralet blev fundet første gang og beskrevet i Ilímaussaqs, fede typer og kursiv angiver, at mineralet kun kendes fra Ilímaussaqs.



Fig. 30. Narsaq Fjeld set fra Narsaq. Det ligger bag Dyrnæs Bugten lidt nord for Narsaq og består hovedsagelig af granit og syenit. Til venstre i billedet ses skærende dykes af basalt, lidt til højre for midten ses kontakten til Eriksfjord Formationens basaltlavaer. Allertil højre ses den vestligste del af Kvane-fjeld.

Gardar granit opbygger fjeldet Qaqqarsuaq (685 m), der rejser sig stejlt øst for byen (Fig. 20D), og Narsaq Fjeld (705 m) ved Dyrnæs Bugt nord for Narsaq (Fig. 30).

Gabbroen, syenitten og granitten udgør Dyrnæs-Narsaq-komplekset. Syenitten skæres af kvartsårer, som umiddelbart nord for Narsaq indholder farveløse krystaller af flusspat.

Gardar – en enestående geologisk provins – nogle afsluttende kommentarer

På verdensplan er Gardar-provinsen enestående. Den rummer et bredt spektrum af magmabjergarter, vulkanske som plutoniske, og deriblandt sjældne typer som karbonatit, kryolit og agpaitiske nefelinsyenitter. Der findes tilsvarende magmaprovinsler knyttet til kontinental riftdannelse andre steder på Jorden, som fx i det franske Centralmassiv, Böhmen, de østafrikanske riftdale og Ross Sea i Antarktis. Her kan man studere de fænomener, som er foregået på eller nær jordoverfladen, men man må gætte sig til, hvordan de dybtliggende bjergarter og strukturer ser ud. I andre egne af Jorden findes ældre dybt eroderede rift-relaterede magmaprovinsler, som fx Quebec og Transvaal, hvor man kan studere, hvad der er foregået dybt nede, men hvor de samtidige vulkanske bjergarter er eroderet væk.

I Gardar-provinsen kan de samhørende vulkanske og plutoniske bjergarterne stu-

deres i op til næsten 2000 m høje fjelde. Ydermere er bjergarterne i en usædvanlig god, nærmest jomfruelig bevaringstilstand. De har ikke været udsat for senere metamorfe omdannelser eller kraftig forvitring. I årmillionernes løb er de blevet hævet og nogle kilometer jordskorpe er blevet fjernet af erosionen, således at de bjergarter, som størknede i dybtliggende magmakamre, nu ses ved jordoverfladen. Kvartærtidens nedisning har afhøvet og poleret fjeldene.

Gletschere har udformet dybe fjorde og dale og dermed instruktive tværsnit gennem de geologiske dannelser. Disse forhold gør Gardar-provinsen til et unikt geologisk område.

Gardar-provinsens mineraler og bjergarter er blevet udforsket gennem mere end to hundrede år, og en uhyre mængde data er blevet tilvejebragt og dokumenteret i et stort antal videnskabelige afhandlinger. Pionererne i undersøgelse skabte grundlaget, især skal nævnes Niels Viggo Ussing (1864-1911; Fig. 31), som foretog banebrydende undersøgelser af Ilímaussaqq- og Igaliko-komplekserne samt af Ivgitut kryolitforekomsten. Dette er i de seneste halvtreds år blevet fulgt op af en detaljeret geologisk kortlægning af området udført af Grønlands Geologiske Undersøgelse og af et stort antal undersøgelser udført af geoforskere fra mange lande af de forskellige intrusioner og af lavbjergarterne med anvendelse af de mest avancerede metoder. Resultatet er, at Gardar-provinsen er en af

de bedst undersøgte magmaprovinsler. Undersøgelserne har frembragt ny viden om især syenittiske bjergarters forekomstmåde og oprindelse og er genstand for stor international opmærksomhed.

Provinsen rummer tre verdensberømte minerallokaliteter, Ilímaussaqq-komplekset, Narssârssuqq-forekomsten i den vestligste del af Igaliko-komplekset og Ivgitut kryolitforekomsten. I Ilímaussaqq er fundet mere end 225 forskellige mineraler, heraf er tredive først fundet og beskrevet her og tolv kendes kun fra dette kompleks. For Narssârssuqq er de samme tre tal tres, tretten og et, og for Ivgitut mere end hundrede, sytten og seks. Det er derfor ikke underligt, at området er et Mekka for mineraloger, mineralsamlere og gemmologer.

Kryolitforekomsten ligger i en lille intrusion af Gardar-granit. Kryolit blev fra 1858 til 1987 brudt i Ivgitut-minen, som i mange år var den eneste aktive mine i Grønland.

Provinsen rummer mineralforekomster af potentiel økonomisk betydning, først og fremmest niob-tantal-forekomsterne i Motzfeldt-delen af Igaliko-komplekset og forekomster af zirconium, yttrium, beryllium, niob, uran, thorium, fluor og mange andre grundstoffer i Ilímaussaqq-komplekset. Flere mineselskaber har fået tilladelse til at efterforske disse mineralforekomster. Om brydning kan blive lønsom bestemmes af bl.a. verdensmarkedsforholdene og af efterspørgsel af nogle af de sjældne grundstoffer der kan anvendes til særlige formål.



Fig. 31. N.V. Ussing (1864-1911) til venstre og hans assistent (og efterfølger som professor) O.B. Bøggild (1872-1956) sammen med deres grønlandske hjælpere i Ivigtut (nu Ivittuut) i 1900.

Gardar-provinsens unikke placering blandt Verdens magmaprovinser betyder at brydning af mineraler bør ske med størst mulig hensyntagen til områdets landskabelige skønhed, videnskabelige betydning og sårbare naturmiljø.

Økonomisk geologi

Der er fundet økonomisk interessante indhold af metaller i Gardar-intrusionerne langs Tunulliarfik. Disse forekomster af uran og andre metaller er karakteriseret af at indeholde store tonnager men i malm af lav lødighed.

Niob og tantal

Motzfheldt-centret er en af de fire store enheder af Igaliko-komplekset. Dets nefelinsyenitter har forekomster af mineralet pyrochlor med betydelige koncentrationer af tantal og niob (Fig. 18). Forekomsten ved Motzfheldt sø er en typisk 'low-grade - large

tonnage' malm. 600 millioner tons malm med indhold på ca. 120 g/ton tantal er beregnet på grundlag af omfattende undersøgelser udført af GEUS. Rige dele af malmen har op til 426 g/ton tantal. Mineselskaber fortsætter undersøgelserne af denne forekomst, som anses for at være en af Verdens største tantalforekomster. Niobressourcerne er bedømt til mindst 130 millioner tons malm med et gennemsnitsindhold på 1400 g/ton niob.

Ilimaussaq-kompleksets økonomiske muligheder

Den agpaitiske nefelinsyenit lujavrit er slutproduktet af den magmatiske differentiation af de agpaitiske magmaer. Disse bjergarter har derfor store indhold af sjældne og flygtige grundstoffer (se side 14) og er rigere på grundstoffer som beryllium, lithium, niob, zirkonium, sjældne jordarters metaller, yttrium, uran og thorium end de fleste andre kendte bjergarter. Eudialyt-rig

lujavrit ved Appat i den sydøstlige del af komplekset er blevet undersøgt for dens indhold af zirkonium, yttrium og sjældne jordarter. Eudialyt findes desuden i store mængder i bjergarten kakortokit i den sydligste del af komplekset (se side 16). Forsøg på udvinding af eudialyts indhold af zirkonium og andre metaller begyndte i 1880'erne og foregår stadig fra tid til anden. Nogle røde eudialyttrige lag, der er op til 1 m tykke, er hovedmål for de seneste undersøgelser, som dog indtil nu ikke har resulteret i igangsætning af minedrift.

Uran - Kvanefjeld

Efterforskningen af forekomster af uran og thorium i lujavrit er foregået flere steder i Ilimaussaq. De største og rigeste forekomster blev fundet i 1956 på Kvanefjeldplateauet i den nordlige del af komplekset og er blevet undersøgt i boreprogrammer i 1958, 1962, 1969 og 1977 med en samlet længde borekerne på 12 km.



Fig. 32. Kvanefjeld set fra Narsaq Elvdal. Kvanefjeld (690 m, øverst til højre) består af vulkanske bjergarter fra taget af Ilímaussaq-komplekset. De underlejres og intruderes af lujavrit, under hvilken der findes augitsyenit og naujait. Den snoede vej fører op til indgangen til den 970 m lange vandrette skakt, som gennemskærer Kvanefjeldets uranførende lujavritter. En del af det bjergartsmateriale, som blev taget ud af skakten, er placeret i bunker i dalen lige til venstre for det skarpe knæk på vejen.

Uranmalmen på Kvanefjeld kan ikke arbejdes med de konventionelle metoder til udvinding af uran. Nye metoder måtte derfor udvikles, hvilket skete på Forskningscenter Risø ved Roskilde. Den knuste malm blev behandlet med en opløsning af natriumkarbonat ved 280°C og et tryk på 120 atm. Ved disse betingelser kunne mere end 80 % af malmens uranindhold blive udvundet. Med henblik på at teste metoden i større skala blev der udtaget repræsentative malmprøver i en 970 m lang vandret skakt gennem den centrale del af Kvanefjeld-forekomsten. Skaktens åbning ligger 100-150 m under plateauets overflade i nordvæggen af Narsaq Elv Dal (Fig. 32). 4700 tons malm blev udtaget og sendt til Risø til brug for testning af den nye metode. Der blev yderligere udtaget ca. 15.000 tons malm, som dels blev tippet ud over

skrænten, dels anbragt i bunker i dalen ved foden af Kvanefjeld (Fig. 32), hvor de stadig er et eldorado for mineralsamlere.

Årsagen til dannelsen af uranforekomsterne på Kvanefjeld er, at lujavritmagmaet her nåede de højeste niveauer i hele komplekset og størknede lige under kompleksets tag af basalt. Det sædvanlige er, at lujavrit ligger mellem naujait og kakortokit (se Fig. 24A,B). I dette høje niveau ansamledes magmaets indhold af flygtige stoffer og en del af de sjældne metaller. Dette gjorde, at mineralet steenstrupin, som er hovedmineralet for uran i Ilímaussaq, kunne krystallisere i stor mængde. Flygtige stoffer afgivet fra lujavritmagmaet trængte op i de overliggende basalter og mineraliserede disse, bl.a. med steenstrupin. Kvanefjeld uranforekomsten består således af steenstrupinrige lujavritter og af mineraliseret basalt.

I 1982 kunne det konkluderes, at den undersøgte del af Kvanefjeld-forekomsten indeholder 20.400 tons uran i 136 millioner tons malm med et gennemsnitsindhold på 365 g/ton uran. Der er udarbejdet detaljerede planer for udvinding af uran på Kvanefjeld, planer der også ser på de sociale og miljømæssige forhold omkring minedrift på Kvanefjeld, som ligger kun 10 km fra Narsaq by (Fig. 33). De politiske og også markedsmæssige forhold er imidlertid ikke gunstige for uranudvinding inden for en nærmere fremtid. Kvanefjeld-forekomsten kan karakteriseres som en fremtidig ressource af uran og de andre grundstoffer, som findes i lujavritterne.



Fig. 33. Narsaq elvdal set fra Narsaq. I baggrunden Ilímaussaq fjeld (det højeste fjeld til højre i billedet), vest (til venstre) for det Steenstrups Fjeld og lige til venstre for det ses Kvanefjeld. Fjeldene yderst til venstre består af basalt.

Forklaring af fagudtryk

De i teksten omtalte llimaussa mineraler er vist i skemaet på side 17.

Agpaitisk: Nefelinsyenit der er karakteriseret af høje indhold af natrium, fluor, klor og af mineraler som eudialyt.

Alkalifeldspat: Feldspatmineral som er en blanding af natrium- og kalium-feldspat.

Amfibol: Gruppe af grønne, blågrønne, brune og sorte mineraler, der oftest findes som prismatiske krystaller. De er mht. kemisk sammensætning beslægtede med pyroxenerne, men adskiller sig fra disse ved at indeholde vand og/eller fluor. Arfvedsonit er et eksempel på en amfibol.

Anorthosit: Plutonisk magmabjergart domineret af feldspatmineralet plagioklas.

Apait: Grønt, brunt eller blåt mineral, der ofte dannet prismatiske krystaller og har sammensætningen $Ca_5(PO_4)_3(F,Cl)$.

Arkaisk: Bjergarter der er ældre end 2500 millioner år.

Basalt: Sort vulkansk bjergart sammensat af nogenlunde lige store indhold af mineralerne plagioklas og pyroxen, ofte med indhold af olivin.

Basisk: En betegnelse for bjergarter, som er relativt fattige på silicium og rige på calcium, magnesium og jern.

Batholith: Et legeme af plutoniske magmabjergarter, oftest af granit, med et areal >100 km².

Biotit: Mørk glimmer, brunt til sort mineral med perfekt spaltelighed langs én retning, langs hvilken mineralet spalter i tynde blade. Sammensætningen er $K_2(Mg,Fe)_6(Si_3AlO_{10})_2(OH,F)_2$.

Dyke: Se Gang

Forkastning: Forskydning af bjergarter i forhold til hinanden på de to sider af en sprækkezone.

Feldspat: Mineralgruppe som har to hovedafdelinger: alkalifeldspat og plagioklas. Førstnævnte er blanding mellem kalium- og natrium-feldspatter, sidstnævnte blandinger af natrium- og calcium-feldspat er.

Gabbro: Plutonisk magmabjergart med samme kemiske og mineralogiske sammensætning som den vulkanske bjergart basalt, men mere grovkornet end denne.

Gang: Pladeformet, sædvanligvis lodret magmalegme som er dannet ved størkning af magma i en sprække. Betegnes også som en dyke.

Graben: Et aflangt område, som er nedsænket langs forkastninger i forhold til dets sidebjergarter.

Granit: Plutonisk magmabjergart domineret af alkalifeldspat og kvarts og med indhold af biotit og andre mineraler.

Granodiorit: Beslægtet med granit, men med et væsentligt indhold af plagioklas.

Hæmatit: Sort til rødt jernmineral med sammensætningen Fe_2O_3 .

Intrusion: Et legeme af magmabjergarter dannet ved størkning af magma, som er trængt ind i allerede eksisterende bjergarter.

Kakortokit: En agpaitisk nefelinsyenit, som findes i den sydlige del af llimaussa-komplekset og som opbygges af enheder, der hver har sorte, røde og hvide lag.

Karbonatit: Magmabjergart med stort indhold af karbonatmineraler som fx calcit, $CaCO_3$.

Kappen: Den del af Jordkloden, som ligger mellem jordskorpen og Jordens kerne.

Kompleks: I geologien et legeme sammensat af to eller flere intrusioner.

Kvarts: Et af de mest almindelige mineraler, en hovedbestanddel af sandsten, kvartsit og granit. Sammensætningen er SiO_2 .

Kvartsit: Kompakt og hård bjergart dannet ved omkrystallisation af sandsten.

Lava: Vulkansk bjergart dannet ved udstrømning af flydende magma på jordoverfladen.

Lujavrit: En agpaitisk nefelinsyenit med store indhold af ægirin og/eller arfvedsonit. Er en vigtig bjergart i llimaussa-komplekset.

Magma, magmatisk: Det geologiske navn for smeltede bjergartsmasser, der størkner som vulkanske bjergarter på jordoverfladen og som plutoniske bjergarter nede i jordskorpen eller i den øvre kappe.

Magnetit: Sort, magnetisk mineral med sammensætningen Fe_3O_4 .

Mineral: Uorganisk kemisk forbindelse, der findes i naturen, og som er dannet ved geologiske processer. Næsten alle mineraler har en krystalstruktur.

Moræne: En vold eller ryg af usorteret materiale, som er aflejret ved smeltning af gletscheris og som kan være skubbet op foran gletscheren: endemoræne, eller langs dens sider: sidemoræne.

Naujait: En agpaitisk nefelinsyenit som består af små krystaller af sodalit indlejret i store krystaller af feldspat, ægirin, arfvedsonit og eudialyt. Er en vigtig bjergart i llimaussa-komplekset.

Nefelinsyenit: Plutonisk syenitisk bjergart domineret af alkalifeldspat og nefelin.

Olivin: Grønt til brunsort mineral, som er vidt udbredt i magmabjergarter, og som er en hovedbestanddel af den øvre del af Jordens kappe. Sammensætningen er $(Mg,Fe)_2SiO_4$.

Pegmatit: En meget grovkornet magmabjergart, der findes som lommer, dykes og linser i plutoniske magmabjergarter og i disses sidesten.

Plagioklas: Feldspatmineral som er en blanding mellem natrium- og calcium-feldspat.

Plutonisk: Magmabjergart dannet ved langsom størkning af magma nede i Jorden, hvilket resulterer i dannelsen af relativt grovkornede bjergarter.

Pyrochlor: Økonomisk vigtigt niob- og tantalmineral. Farven er sædvanligvis brun til sort, i llimaussa gul.

Pyroxen: Gruppe af grønne, brune og sorte silikatmineraler med store indhold af magnesium, jern og i mange pyroxener også calcium eller natrium. Er vigtige bestanddele af mange magmabjergarter, eksempler er augit og ægirin.

Rift, riftdal: Langstrakt område nedsænket mellem forkastninger (graben) og oftest ledsaget af vulkanisme.

Sandsten: Sedimentbjergart hvis hovedbestanddel oftest er afrundede korn af kvarts.

Skorpen: Den øverste del af Jordkloden, den er fra 5 til 70 km tyk.

Syenit: Plutonisk magmabjergart domineret af alkalifeldspat.

Trachyt: Vulkansk bjergart med samme kemi og mineralogi som syenit, men mere finkornet end denne.

Tuf: Den generelle betegnelse for vulkansk aske.

Ultramafisk: Magmabjergart domineret af mørke mineraler som olivin, pyroxen og magnetit.

Vulkansk bjergart: Dannet ved hurtig størkning af magma på eller nær jordoverfladen og derfor meget finkornet.

Zircon: Et oftest rødfarvet mineral som er en vigtig underordnet bestanddel af mange magmabjergarter: Sammensætningen er $ZrSiO_4$.

Forslag til supplerende læsning

Allaart, J.H. 1973: Geological map of Greenland 1:100 000, Julianehåb 60 V.2 Nord. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.

Allaart, J.H. 1976: Ketilidian mobile belt in South Greenland. I: Escher, A. & Watt, W.S. (red.): Geology of Greenland. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.

Allaart, J.H. 1983: Geological map of Greenland 1:100 000, Narssarsuaq 61 V.3 Syd. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.

Allaart, J.H., Andersen, S. & Weidick, A. 1975: Julianehåbsområdet geologiske historie. I: Madsen, V.E. (red.): Qaqortoq/Julianehåb 1775-1975. Nuuk/Godthåb: Sydgrønlands Bogtrykkeri.

Emeleus, C.H. & Upton, B.G.J. 1976: The Gardar period in southern Greenland. I: Escher, A. & Watt, W.S. (red.): Geology of Greenland. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.

Fisker, J. (red.) 1981: Narssak. Umánaq/København: Nordiske Landes Bogforlag.

Garde, A. 1999: Guldfund og pladetektonik – den ketilidiske bjergkædedannelse i Sydgrønland. GEOLOGI – Nyt fra GEUS nr.3, 1999.

Hansen, J. 1967: Sjældne stoffer. Varv nr.2, 1967.

Kalsbeek, F., Larsen, L.M. & Bondam, J. 1990: Geological map of Greenland 1:500 000. Sheet 1, Sydgrønland. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.

Petersen, O.V. & Secher, K. 1993: The minerals of Greenland. Mineralogical Record vol. 24,2, Marts-April 1993.

Sørensen, H. (red.) 2001: The Ilímaussaq alkaline complex, South Greenland: status of mineralogical research with new results. Geology of Greenland Survey Bulletin 190. København: Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse.

Tidsskriftet Grønland 1966. Syv artikler om Gardar riftsystemet og Ilímaussaq-komplekset og dets mineralforekomster. Nummer 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 1966.

Upton, B.G.J. m.fl. 2003: Magmatism of the Mid-Proterozoic Gardar Province, South Greenland: chronology, petrogenesis and geological setting. Lithos 68, 43–65.

Ussing, N.V. 1912: Geology of the country around Julianehaab, Greenland. Meddelelser om Grønland 38, 1–376.

Weidick, A. 1988: Gletschere i Sydgrønland. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.

Weidick, A., Kelly, M. & Funder, S. 1987: Quaternary map of Greenland 1:500 000. Sheet 1 South Greenland. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.

Flere referencer på
GEUS' hjemmeside; www.geus.dk



Forsidefoto: Fig. 34 Nunarsarnaq fjeld ("Strygejernet") til højre i billedet opbygges nederst af sandsten, øverst af basaltiske lavaer. Fjeldets stejle væg mod vest (mod venstre) markerer kontakten til nefelinsyenitene i Ilímaussaq-komplekset. Den lave vestlige pynt af Nunarsarnaq består af mørktfarvet nefelinsyenit (lujavrit). Den indeslutter blokke af hvid nefelinsyenit (naujait), som fra overliggende allerede størknede dele af komplekset (som for længst er fjernet af erosionsprocesser) sank ned

Forfatterne



Professor Tom Andersen
 Institutt for geofag,
 Universitetet i Oslo,
 Norge

Karbonatitvulkanismen ved Qassiarsuk



Professor emeritus Henning Sørensen
 Geologisk Institut
 Københavns Universitet

*Sejlturen fra Narsarsuaq til Narsaq,
 Ilimaussaq-komplekset, Tugtupit, Uran-Kvanefjeld,
 Forklaring af fagudtryk,
 Oversættelser fra engelsk samt redigering af teksten*



Dr. C.H. Emeleus
 Department of Geology
 University of Durham
 UK

Igaliko-nefelinsyenit-komplekset



Professor emeritus B.G.J. Upton
 Department of Geology and Geophysics
 University of Edinburgh
 UK

*Ketiliderne,
 Gardar-provinsen,
 Dyrnæs-Narsaq-komplekset,
 Gardar-provinsen - afsluttende kommentar*



Seniorgeolog Karsten Secher
 GEUS, København

Økonomisk geologi



Dr. Seniorgeolog Anker Weidick
 GEUS, København

Istidsdannelserne

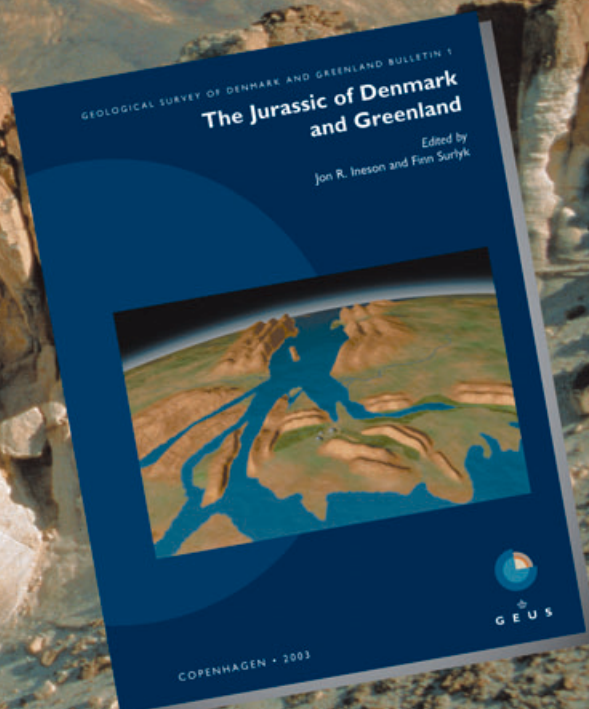


i dele af komplekset, hvor magmaet endnu ikke var størknet. De sorte fjelde i baggrunden består af basaltlavaer, som hælder mod venstre, dvs. ind mod Ilimaussaq-komplekset. (Se Fig 20B) (H. Micheelsen).

Gigantisk bogudgivelse

GEUS udsender det første nummer i en ny videnskabelig publikationsserie, der sammensmelter de to videnskabelige serier for Danmark (Geology of Denmark Survey Bulletin) og Grønland (Geology of Greenland Survey Bulletin) til en serie: Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin. Nr. 1-2003 i serien har titlen: **The Jurassic of Denmark and Greenland.**

Bogen handler om juraperiodens geologi i Danmark og Grønland og er skrevet af specialister, der har arbejdet både i Danmark og Grønland. Bogen er dedikeret til GEUS' første direktør, Ole Winther Christensen. Bogen på 948 sider er rigt illustreret og koster 500,- kr.



Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS) er en forsknings- og rådgivningsinstitution i Miljøministeriet. Institutionens hovedformål er at udføre videnskabelige og praktiske undersøgelser på naturressourcer- og miljøområdet samt at foretage geologisk kortlægning af Danmark og Grønland.

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.

Skriv, ring eller mail:

GEUS

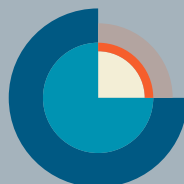
Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse
Øster Voldgade 10, 1350 København K.

Tlf.: 38 14 20 00

Fax.: 38 14 20 50

E-post: geus@geus.dk

Internetside: www.geus.dk



GEUS

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: Eva Melskens

Tryk: Schultz Grafisk A/S.

Foto: Henning Sørensen hvor ikke andet er angivet

Illustrationer: Britta Munch, KU.
Eva Melskens, Benny Scharck