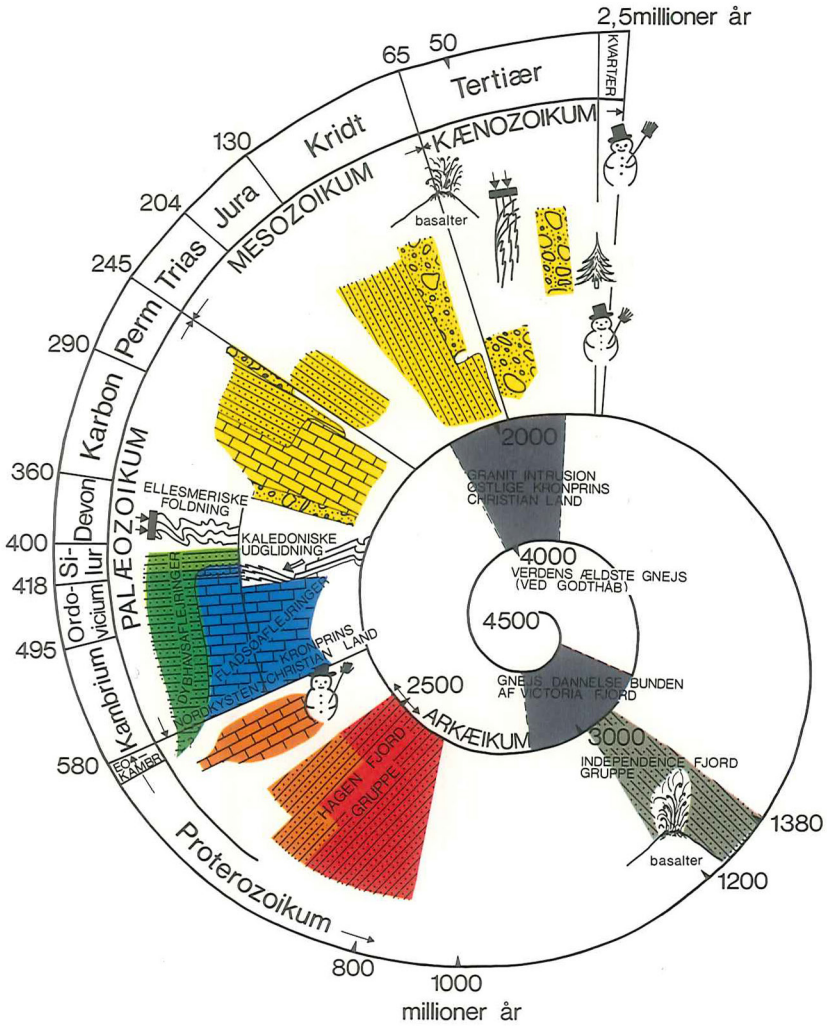


VARVs tidsspiral i en særlig Nordgrønlandsk udgave udarbejdet af GGU's geologer. Farverne i tidsspiralen er de samme, som er anvendt på det geologiske kort over Nordgrønland på siderne 24-25.

VARV

NR. 1 BLADET MED DE ÆLDSTE NYHEDER 1986

Temahæfte NORDGRØNLAND

ISSN 0105 - 6301

1986 - 02 - 20

Grønlands Geologiske Undersøgelse (GGU) har indenfor de sidste par år haft to store ekspeditioner til Nordgrønland. Resultaterne fra disse ekspeditioner har ført til en øget interesse for dette fjerntliggende område, og VARV vil i dette nummer gerne give et indtryk af nogle af disse geologiske aktiviteter, og af de resultater GGU har opnået. Artiklerne er alle stillet til rådighed af deltagende geologer og dækker et bredt spektrum af geologiske discipliner.
VARV's kontaktperson ved GGU, **Niels Henry Larsen**, takkes for det omfattende arbejde med at fravriste de travle geologer billeder og tekst. På grund af det gode billedmateriale har redaktionen besluttet også at udvide dette nummer til 48 sider. Læserne bedes bære over hermed.

VARV's redaktion er blevet udvidet med grundfjeldsgeologen **Svend Pedersen**, og vi håber, at hans store faglige indsigt vil komme til at præge de kommende numre i gunstig retning.

Forsidebilledet er fra Warming Land og er stillet til rådighed af GGU's fotograf **Jakob Lautrup**.

VARV

Adresse: Tidsskriftet VARV, Geologisk Centralinstitut, Øster Voldgade 10, 1350 København K. Telefon: 01 - 11 22 32

Kontor: Anita Ege, mandage kl. 9-16. Andre dage kan henvendelse ske til Steen Sjørring på samme telefon.

Redaktion: Valdemar Poulsen (ansvarshavende), Asger Berthelsen, Jens Konnerup-Madsen, Svend Pedersen, Steen Sjørring og Sven Laufeld (Sverige).

Renskrift: Gitte Sjørring
Montage: Jens Konnerup-Madsen, Svend Pedersen og Steen Sjørring
Repro & Tryk: Rosendahls Bogtrykkeri, Esbjerg

VARV udkommer fire gange årligt. Prisen er 60 kr. i abonnement i 1986.
Abonnement tegnes ved at indsende beløbet til VARV, Postgiro 9 06 88 80 eller 50 Skr. til VARVs svenske postgirokonto 4388 - 5.

Adresseændringer eller fejl ved bladets levering bedes meddelt postvæsenet.

© 1986 VARV. Eftertryk af tekst og billeder kun efter aftale.

Typisk plateau-dallandskab fra Nordgrønland. Ismasserne på plateauet flyder som gletschere ned i dalene, hvor de kan spærre for vandgennemløb og danne isdæmmede søer. Foto: J. Lautrup.

Typisk gletscherform i områder, hvor ismasserne har mulighed for at brede sig ud over et jævnt område. Gletschere med et sådant udseende er kendt under navnene 'Alaska'- eller 'Malaspina'-type. Foto: J. Lautrup.

vandspejl lå i 635 m højde over havet (fig. 5). Ved tapningen blev vandstanden sænket ca. 50 m (fig. 6), og mere end 100 millioner kubikmeter vand løb ud i løbet af få dage. Denne vandmængde svarer til ca. 1/10 af Danmarks samlede årlige vandforbrug.

Figur 7. Caldera-agtig indsynkning på gletcheren efter sammenstyrtning af det hulrum, der dannedes ved udspuling under tapningen. Gletcheren er ca. 2 km bred.

Samtidig med tapningen underminerede vandløbet gletscheren, så der dannedes et vældigt hulrum i isen. Dette styrtede herefter sammen, så der på overfladen dannedes en 600-800 m lang oval indsynkning på ca. 50 meters dybde (fig. 7). Ned gennem dalsystemet havde vandmasserne revet alt løst materiale med sig, ligesom store isblokke fra gletscheren var spulet ned med strømmen. De største isblokke, der blev transporteret helt ned til lejren ved fjorden - altså over 55 km - var ca. 8-10 m^3. Ved indsnævringer i dalsystemet blev vandet stuvet op indtil 10-15 m over normalt niveau, og netop fordi der mellem søen og baselejren var en række sådanne indsnævninger, blev vandflommen bremset meget op, og derved blev lejren formentligt skånet for at blive skyllet i fjorden.

Ved et besøg ved søen i sommeren 1985 - altså ca. 1 år efter tapningen - kunne det konstateres, at vandstanden var endnu lavere end sidst på sommeren i 1984, og deraf kan sluttes, at denne isdæmmede sø kun fyldes meget langsomt. Det er derfor sandsynligt, at der vil gå mange år, før der igen sker en tapning fra den isdæmmede sø i Warming Land.

GGU's ekspeditioner til Nordgrønland

af Niels Henriksen

På en globus kan man se, at Nordgrønland som et af de eneste landområder i verden findes nord for 81° N og altså ligger mindre end 1000 km fra Nordpolen (fig. 1). Ifølge almindelige forestillinger er her evig is og sne og meget ugæstfrit, og næppe mange ville tro, at det var særligt udbytterigt at skulle lave geologisk udforskning i dette område. Imidlertid er det langt fra rigtigt. Her er ganske vist megen is og sne det meste af året, men i løbet af sommermånederne juli og august stiger gennemsnitstemperaturen til ca. 5-6° varme, og sneen smelter og blotlægger en geologisk verden, hvis lige kun findes få andre steder. Ligesom i de fleste andre højarktiske områder er der næsten ingen vegetation, og på grund af isens nylige afhøvling af landskabet og den langsomme forvitring er mere end halvdelen af terrænet blottet ned til det rå fjeld, som altså ligger nøgent og bart og helt åbent for geologiske iagttagelser. For geologerne giver dette meget gunstige betingelser for at studere områdets geologiske opbygning og gennemføre en geologisk kortlægning, selv om feltarbejdet må begrænses til kun et par måneder midt på sommeren.

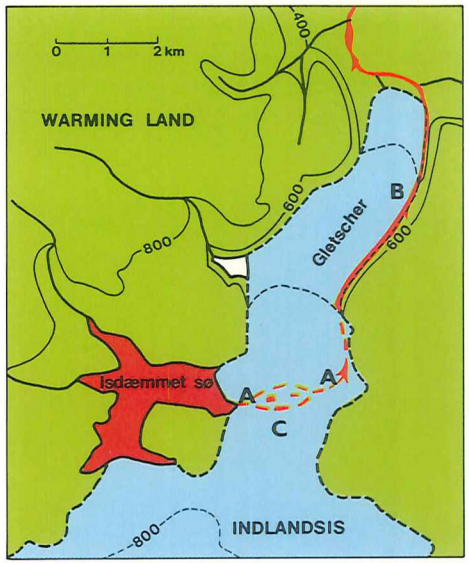
Grønlands Geologiske Undersøgelse (GGU) har nylig afsluttet feltarbejdet i sit hidtil største og mest ambitiøse projekt, der har omfattet en regional geologisk oversigtskortlægning og en generel geologisk undersøgelse af Nordgrønland.

Figur 1. GGUs feltarbejde i Nordgrønland omfatter dele af jordens nordligste landområder.

Figur 2. Alpint landskab med lokalgletschere i den norligste del af Peary Land området. Fjeldtoppene er mellem 1500 og 2000 m over havet. Foto: N. Henriksen.

Projektet har været opdelt i en første fase med feltarbejde i de østlige områder mellem Kronprins Christian Land og Peary Land fra 1978 til 1980 samt en anden fase med feltarbejde i 1984 og 1985 i den centrale del af Nordgrønland mellem J.P. Koch Fjord og Petermann Gletscher (se det geologiske kort side 24-25). I hver af de 5 feltsæsoner har der deltaget ca. 40 personer, hvoraf ca. 25 har været geologer med deres assistenter, og resten har omfattet hjælpemandskab, der har stået for materiel og transport. GGUs arbejdsområde i Nordgrønland omfatter mere end 100.000 km^2 isfrit landområde svarende til knap 2 1/2 gange Danmarks areal. Det strækker sig over ca. 800 km fra øst til vest og har en nord-sydlig udstrækning på nogle hundrede kilometer. I den nordligste dele findes et vildt bjergrigt landskab (fig. 2), medens man i den sydlige del finder et roligt plateau landskab gennemskåret af regelmæssige dale og fjorde (fig. 3). Nordgrønland er helt ubeboet, bortset fra 5 mand fra Forsvaret, der året rundt passer den tidligere vejrstation 'Station Nord'. Adgangen til Nordgrønland foregår i dag med fly - alle fjorde og Polarhavet nord for Grønland er året rundt dækket med et op til flere meter tykt lag af havis, og det er i praksis ikke muligt at sejle til og fra området selv med de isforstærkede specialskibe, der normalt benyttes til grønlandssejlads.

På grund af Nordgrønlands isolerede beliggenhed og øde karakter må et geologisk feltarbejde organiseres som en ekspedition, således at den udsendte arbejds-



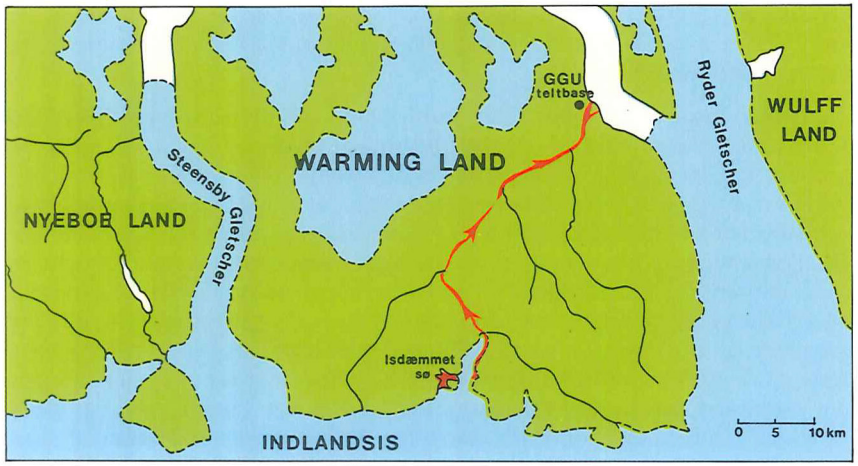
Figur 5. Kort visende placeringen af den isdæmmede sø, med gletcheren der havde spærret for afløbet. Vandet er tappet gennem en afstrømningskanal under isen (A) og ned i dalen langs gletcherens østside (B). Den caldera-agtige indsynkning er vist midt i gletcheren (C).

bunden af det dalsystem, som lejren lå i nede ved fjorden (fig. 4). En senere opmåling viste, at søen var på lidt over 3 km^2 , og at det oprindelige isdækkede

Figur 6. Østenden af den tappede isdæmmede sø. Bag den ses gletcheren, der opdæmmede søen. Det oprindelige vandspejl lå oppe ved fjeldplateauet 50 m over det vandspejlsniveau, der ses på billedet. Siderne af den tappede sø er draperet med is, der oprindeligt dækkede søens overflade.

Figur 3. Lejrelven med en normal bredde på 20-30 m midt på sommeren.

Den isdæmmede sø blev fundet ved en fly-rekognoscering samme eftermiddag, og senere på sæsonen blev den besøgt og fotograferet ved flere lejligheder og igen i sommeren 1985. Den tappede issø lå ca. 55 km sydvest for baselejren i



Figur 4. Det sydlige Warming Land med dalsystemet, der førte vandet fra den isdæmmede sø 55 km ned til fjorden.

Figur 3. Plateaulandskab i den sydlige del af det centrale Nordgrønland. Fjeldplateauerne ligger i 800-1000 m over havet. Foto: J. Lautrup.

gruppe på enhver vis var selvforsynende og kunne fungere uafhængigt af omverdenen. For at løse transportopgaverne i Grønland blev der hvert år chartret to små helikoptere og et lille to-motorers specialfly, der kunne lande og starte på de små primitive, ganske korte landingsbaner, der blev anlagt i forbindelse med arbejdet (fig. 4). De små helikoptere kunne transportere 4 personer eller 3-400 kg ad gangen, medens flyvemaskinen kunne laste op til 1200 kg. Transporten til og fra Grønland foregik med hjælp af forsvarets store Herkules transportfly, der landede på Station Nord og på den canadiske militære station Alert i det nordlige Ellesmere Island samt på den naturlige landingsbane Kap Moltke i Peary Land. Alt mandskab, ekspeditionsudrustning, proviant og andre forsyninger, helikoptere og brændstof blev indfløjet til en af stationerne med Herkules-flyene og derfra videretransporteret til arbejdsområderne med ekspeditionens egne chartrede fly og helikoptere. I hver af de 5 feltsæsoner blev der oprettet en teltbaselejr centralt i arbejdsområdet. Her etableredes ekspeditionens operationscenter, og fly- og hjælpemandskab var stationeret her sommeren igennem. Under arbejdet i Peary Land området i den østlige del af Nordgrønland lå teltbasen nær ved mundingen af Jørgen Brønlund Fjord, medens den under arbejdet i den centrale del af Nordgrønland fra 1984-1985 lå i det sydøstlige Warming Land (fig. 5).

Det egentlige geologiske feltarbejde blev foretaget af geologer, der arbejdede

Figur 4. Der ryddes sten og jævnes ud til landingsbane for ekspeditionerns Twin Otter fly. Foto: N. Henriksen.

sammen i to-mandshold. Hvert hold havde deres egen letvægtslejr med små telte, og som regel blev geologerne ude i deres arbejdsområde sommeren igennem. Med 4-6 dages mellemrum flyttedes alle holdene med helikopter til en ny lejrposition, og samtidig benyttedes helikopterne til rekognoscering. Herunder gennemfløj geologerne dele af deres arbejdsområde og observerede geologien fra luften og foretog en række landinger, så de kunne indsamle oplysninger og prøver fra lokaliteter, der ikke kunne nås til fods fra lejrene (fig. 6). Hovedparten af det geologiske feltarbejde foregik til fods. Fra hver lejr gik holdene alt efter de lokale terrænforhold ud i forskellige retninger - f.eks. en dag op i dalen og dagen efter ned gennem dalen. Herefter benyttedes en dag til at kravle op på fjeldet bag lejren for at arbejde på plateauet deroppe, og sidste dag før næste flytning benyttedes måske til at krydse elven og gå op på fjeldet på dalens modsatte side. På den måde blev hele området omkring lejren dækket, og det var ikke ualmindeligt, at et geologhold sommeren igennem måtte gå mellem 10 og 20 km i fjeldet hver dag på en 8-10 timers arbejdsdag. De feltgeologiske iagttagelser omfattede almindelig kortlægning, der består i en opmåling og registrering af forekomst og udbredelse af de forskellige bjergartstyper, samt i en lang række almene geologiske undersøgelser, der danner baggrund for en forståelse af den geologiske opbygning og udvikling. Der blev opmålt profiler, samlet prøver af bjergarter og forsteninger, målt lagstillinger og foretaget strukturgeologiske undersøgelser

Figur 2. Elven ved lejren fik mangedoblet sin bredde under tapningen. Foto: J. Lautrup.

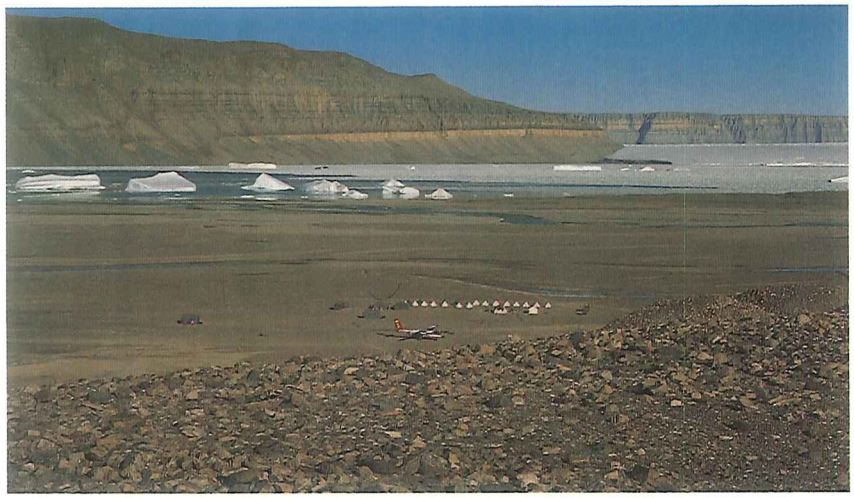
Ved GGUs teltbaselejr i det sydøstlige Warming Land i Nordgrønland oplevede man på nært hold effekten af en sådan tapning i sommeren 1984. Baselejren med 3 hytter og ca. 20 telte samt en lang række installationer til ekspeditionens fly var placeret på nordvestsiden af en stor flad flodterrasse, ca. 800 m fra en 20-30 m bred elv (fig. 1). Vandstanden i elven var midt på sommeren ca. 5-6 m under lejrens niveau.

Tapningen begyndte 17. juli 1984. Indtil kl. ca. 11.30 havde ingen bemærket noget usædvanligt, men kl. 11.50 observerede man fra lejren, at elven var svulmet vældigt op (fig. 2), og at der lød en vældig buldren og bragen fra den. To mand forsøgte straks at løbe ned mod elven for at redde lejrens vandpumpe, der stod tæt ved elvkanten 800 m fra lejren, men de måtte hurtigt vende om. På tilbagevejen var de ved at blive afskåret af vandmasserne, der stuvedes op i en sidegren til elven mellem dem og lejren, men heldigvis nåede de velbeholdne tilbage til lejren. I løbet af de næste to timer steg vandet ca. 3 m, og elven svulmede op til en bredde på ca. 1200 m i mundingen af dalen. Vandet nåede frem til ca. 100 m fra lejren og op til en højde der kun var et par meter under det terrasseniveau, hvorpå teltene lå. Selvfølgelig blev vandpumpen og 700 m vandslange spulet væk, og ingen har siden fundet de mindste rester af dem. Ved 15.30-tiden begyndte vandet at falde, og derefter faldt vandstanden jævnt over de næste par døgn, men først efter en halv snes dage var elven helt nede på normalt niveau (fig. 3).

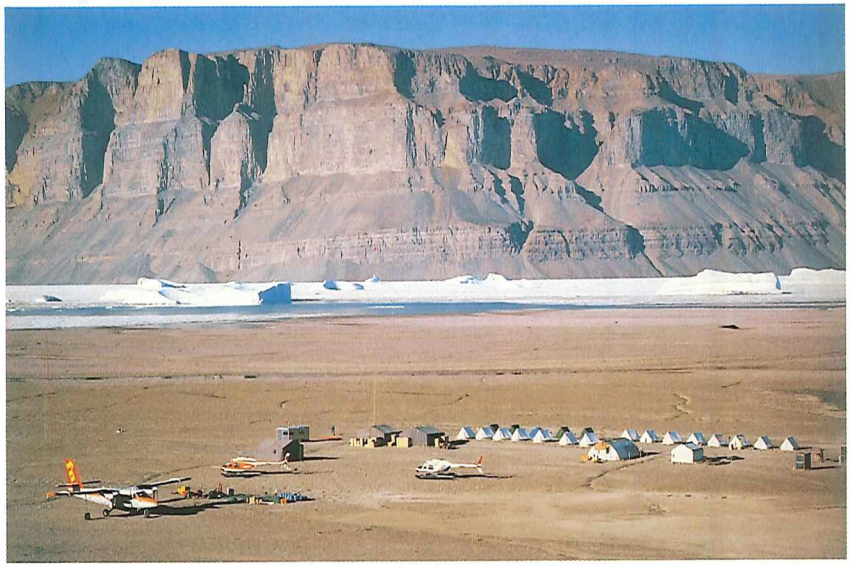
Tapning af en isdæmmet sø

af Niels Henriksen

Langs randen af indlandsisen findes mange steder i Grønland såkaldte isdæmmede søer, hvis afløb er blokeret af indlandsisen eller af gletschere. Tilførsel af vand til søerne sker langsomt fra nedbør og ved afsmeltning fra is og sne og når søerne er fyldt op til en bestemt kritisk højde, tappes de pludseligt og tømmes i løbet af få dage. Årsagen til tapningen er, at den omkringliggende is løftes lidt op fra underlaget på grund af opdriften, og derved dannes en første åbning, der hurtigt udvides på grund af erosionen fra det udstrømmende vand. Fra udløbet ved issøen fosser enorme vandmasser gennem floder og dale i løbet af kort tid, og herved stiger vandstanden voldsomt i elvløbene. Tapning af isdæmmede søer sker med mellemrum på fra få måneder og op til mange år afhængig af de lokale forhold.



Figur 1. GGU's teltbase i Warming Land på nordsiden af en stor elvterrasse, der omgiver elven ved dens udmunding i fjorden. Der er ca. 800 m fra teltene i forgrunden ned til elven, der ses i billedet lige foran isbjergene. Foto: J. Lautrup.



Figur 5. Teltbaselejren i Warming Land, der var udgangspunkt for ekspeditionen i 1984 og 1985. Foto: J. Lautrup.

af folder og forkastninger samt foretaget stratigrafiske og sedimentologiske observationer.

Ialt har der hver sommer deltaget ca. 12 geologiske to-mandshold i arbejdet i Nordgrønland. De fleste af disse har arbejdet med kortlægning og geologiske iagttagelser fordelt på en række faglige specialer. Herudover har 2-3 hold hver sæson gennemført særlige undersøgelser inden for geofysik, geokemi, kvartærgeologi og oliegeologi. De kortlæggende hold har hver for sig dækket et område på 2.000-3.000 km^2 per sæson. Den geologiske kortlægning blev foretaget på oprettede flyfotos (ortofotos) eller på kort i målestoksforhold 1:100.000. Senere sammentegnes og publiceres resultaterne af kortlægningen som to regional-geologiske oversigtskort i målestoksforhold 1:500.000 - 1 cm på dette kort svarer til 5 km i naturen.

Samtidig med GGUs feltarbejde i Peary Land området har Geodætisk Institut (GI) gennemført en luftfotografering og en moderne opmåling af hele Nordgrønland, således at der er skabt grundlag for udgivelse af en ny serie meget fine fotomosaikkort over området. GI har som led heri fremstillet en stor serie ortofotoluftbilleder, der har været benyttet under det geologiske feltarbejde. Ortofotoluftbilleder ligner ganske almindelige flyfotos, men ved hjælp af en

særlig edb-teknik er de blevet oprettet, så de geometriske fortegninger, der ellers altid forekommer i luftbilleder, er blevet fjernet.

Luftbilleder fra de fleste områder i Grønland indeholder en mængde geologiske informationer, men specielt fra Nordgrønland kan man få meget ud af at studere billederne, fordi området er velblottet, og fordi den geologiske opbygning er forholdsvis enkel. Den geologiske kortlægning af Nordgrønland er derfor baseret på en udtegning fra flyfotos koordineret med kortlægning og opmåling i felten. Ved GGUs flyfotolaboratorium er der gennemført en geologisk luftbilledtolkning, og resultaterne af denne er sammen med topografiske kort udtegnet før feltarbejdet, således at geologerne har kunnet benytte disse foreløbige geologiske kort som grundlag for deres feltarbejde. Arbejdet i flyfotolaboratoriet sker ved hjælp af et udtegningsinstrument (fig. 7), hvori der ses et rumligt billede af landskabet. I instrumentet kan man udmåle sine iagttagelser med en nøjagtighed svarende til få meter på jorden, og ved hjælp af en computer og et tilhørende automatisk tegnebord kan man få overført de geologiske observationer til et kort.

Ved denne flyfototolkning opnås en meget stor besparelse i feltarbejdet, samtidig med at nøjagtigheden i udtegningsarbejdet er meget større, end det er muligt at opnå ved feltarbejdet. Men det er vigtigt at erkende, at flyfotoarbejdet ikke kan stå alene - det skal underbygges med egentlige feltobservationer sim-

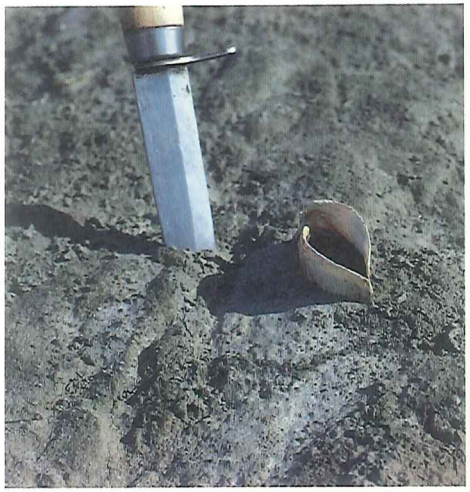
Figur 6. Helikopterstop i fjeldet under geologisk rekognoscering i den nordlige del af Peary Land regionen. Foto: N. Henriksen.

Figur 6. Nogle af de store gletschere, der kommer fra Indlandsisen har lange flydende tunger, der danner store flade isbjerge. Under sidste istid har flydende gletschere været vidt udbredte i regionen. Ryder Gletscher mellem Warming Land og Wulff Land.

Hvor de øvre jordlag tør op, og specielt i områder med lerede og siltede jordlag vil der på selv svage skråninger finde jordflydning sted, idet vandet ikke kan trænge ned i den underliggende frosne jord. Jordflydningen danner tungeformede legemer nedad skråningerne, og stedvis kan de skjule ismasser, der er opstået af det vand, der om sommeren var i de langsomt glidende jordlag.

En anden fremtrædende process er vinderosion, der er særlig virkningsfuld i i dalene nær Indlandsisen, hvor storme er hyppige. Det er ikke kun luftens indhold af støv- og sandkorn, der sliber, men også iskrystaller, der under vinterens lave temperaturer bliver ganske hårde.

Til slut skal det nævnes, at kalkstenshuler, dannet af underjordiske flodsystemer, er almindelige i nogle dele af Nordgrønland. De må være dannet i slutningen af Tertiærtiden, før de store gletschereroderede dale blev dannet og før grundvandet frøs til is. Hulerne indeholder ofte dyre- og planterester, især knogler. I de nordgrønlandske huler er der måske oplysninger at hente om den senere del af Tertiærtidens naturforhold, der ellers er næsten ukendte på Grønland.



Figur 5. Skal af but sandmusling (Mya truncata), *der sidder i livsstilling. Det omgivende sediment er eroderet bort efter at de skalførende lag er hævet op over havniveau. Nares Land.*

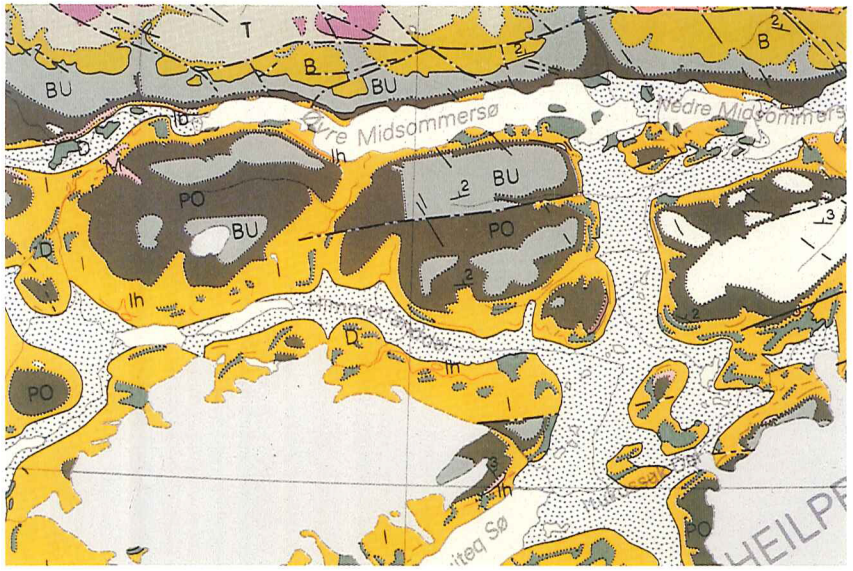
ne. Ved elvmundinger findes gamle deltaaflejringer, men mest udbredt er siltaflejringer med skaller af muslinger og snegle. De to mest almindelige arter er *Hiatella arctica* (tidligere *Saxicava*) og *Mya truncata* (but sandmusling). Disse to arter har en vid udbredelse og træffes hyppigt i de danske farvande i dag, mens andre arter som ishavsmuslingen *Portlandia arctica* (tidligere *Yoldia*) og grønlandskammuslingen *Pecten groenlandicus* er begrænset til Arktis, og kendes kun fra istidslag i Danmark.

Ligesom dyrene i havet hurtigt bredte sig efter sidste istid, bredte planter og dyr på land sig. Allerede i lag afsat lige efter istidens ophør findes mange forskellige plantearter. For ca. 8000 til ca. 4000 år før nu var klimaet lidt varmere end i dag. Gletscherne smeltede tilbage, og relativt varmekrævende plante- og dyrearter bredte sig mod nord. For ca. 4000 år siden indvandrede de første mennesker fra Canada, de såkaldte Independence I folk, der fortrinsvis jagede moskusokser og boede i skindtelte og måske i snehytter.

I Nordgrønland bevirker de lave temperaturer, at der overalt er permafrost - det vil sige, at jorden er frossen året rundt. Kun det øverste jordlag tør op om sommeren. Frosten danner en række forskellige strukturer i jordoverfladen, hvoraf de mest markante er iskiler, der findes på grusede flodsletter. De dannes om vinteren, hvor den frosne jord under lave kuldegrader slår revner, der ordnes i mere eller mindre regelmæssige polygonale mønstre med maskediametre på 40-80 m. Revnerne fyldes med vindblæst sand og sne og med smeltevand om foråret, hvorved der dannes sandkiler, iskiler eller kombinerede sand-/iskiler. På overfladen fremtræder den enkelte kile som en grøft flankeret af to parallelle volde, der kan blive mandshøje.

Figur 7. Udtegning af geologiske kort fra luftbilleder i GGU's flyfotolaboratorium. Foto: M. Sønderholm.

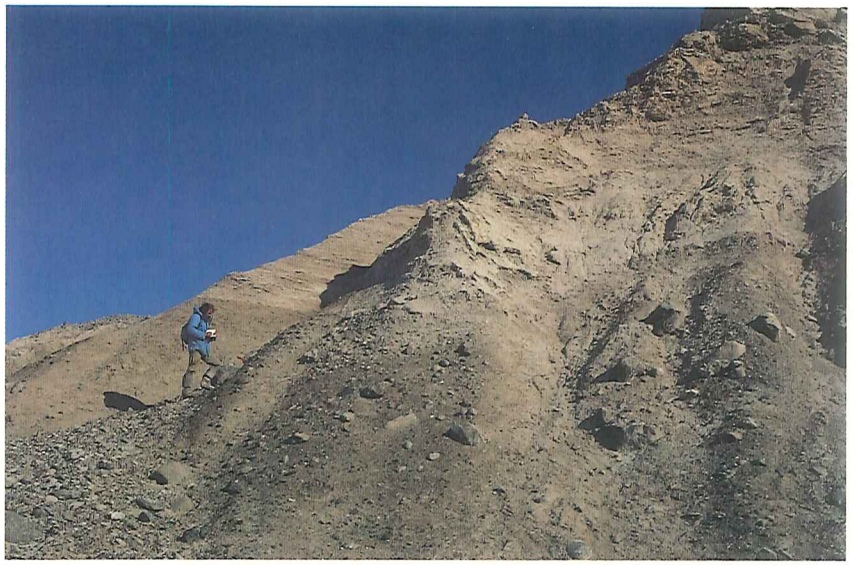
Figur 8. Ensom geologlejr i den storslåede natur. Foto: M. Sønderholm.



Figur 9. Udsnit af kortet: Peary Land 1:500 000, *billedbredden svarer til 60 km. Prikker: Kvartære dæklag, Violet: Ordoviciske kalksten, Grå-grønlige farver: Kambriske sandsten og kalksten, Rosa: Øvre Proterozoiske sandsten og tilliter, Gult: Mellem Proterozoiske sandsten, Mørk grå pletter i gult: Basaltiske intrusioner.*

pelt hen for at få afklaret på jorden, hvad det egentlig er, man ser på billederne. Erfaringerne fra arbejdet i Nordgrønland har helt klart vist, at samspillet mellem flyfototolkning og geologisk feltarbejde har været afgørende for, at dette gigantiske kortlægningsprojekt er gennemført med så stort et udbytte.

Når selve feltarbejdet er gennemført, forestår en vældig opgave med at få bearbejdet det meget store materiale, der er indsamlet. Alle feltkort skal rentegnes, og de forskellige observationer skal sammenstilles. Der skal gennemføres laboratorieundersøgelser af bjergarter, bestemmes fossiler, udføres sedimentologiske, stratigrafiske og strukturgeologiske analyser, og alle resultater skal sammenfattes og publiceres som videnskabelige afhandlinger. Hjemmearbejdets omfang er tidsmæssigt mange gange større end det korte og hektiske feltarbejde. Resultaterne fra arbejdet i Peary Land området, som blev undersøgt i 1978-1980, er nu næsten alle publicerede, og det færdige oversigtskort er ved at blive trykt som et flerfarvet geologisk kort (fig. 9). Bearbejdningen af materialet fra den centrale del af Nordgrønland vil vare nogle år endnu og vil også blive afsluttet med udgivelsen af regionale geologiske oversigtskort.



Figur 4. Moræneaflejring der overlejres af marint finsand og silt. Kulstof-14 dateringer af skaller i silten viser, at gletscherne var smeltet bort fra dette område for godt 9.000 år siden. Samtidig med gletschernes bortsmeltning trængte havet ind over området. Hall Land.

Når isdækket begynder at smelte efter nedisningsperioderne, stiger vandstanden i havene, fordi vandet ikke længere bindes i iskapperne. Samtidig aflastes landområderne fra det tyngende isskjold, og herved sker der en hævning af landet. Landet og havniveauet hæves altså samtidigt, men som regel er landhævningen større end havstigningen, således at landet hæver sig i forhold til vandet. Da havniveauet ofte afspejles i de geologiske aflejringer, som foreksempel strandlinier, benyttes dette som reference for den relative landhævning. I Nordgrønland kan man vise, at denne i begyndelsen var op mod 50 m pr 1000 år, men efterhånden klingede hævningen ud og hørte helt op for nogle tusinde år siden.

Sideløbende med at det varmere klima fik Indlandsisen til at smelte tilbage, bredte plante- og dyrelivet sig. Mange arter overlevede formodentlig selv under sidste istids maksimum i lokale områder, hvorfra de bredte sig, mens andre er indvandret langvejs fra.

I de kystnære lavlandsområder findes mange tegn på, at disse egne har været dækket af havet. I de områder, hvor havisen bryder op om sommeren, findes hævede strandlinier og strandvolde, der er dannet ved bølgers angreb på kyster-

Figur 3. Lille gletscher med morænerygge der markerer, at gletscheren har været større. Sådanne friske rygge findes ved næsten alle gletschere, og de er dannet omkring århundredeskiftet. Warming Land.

På et sent tidspunkt i Kvartærtiden har Indlandsisen bredt sig mod nord og dækket størstedelen af de nuværende store isfrie landområder, der til trods for det kolde klima er kendetegnende for nutidens Nordgrønland. Mod nordvest viser gletscheraflejringernes indhold af fjerntransporterede sten og blokke, at Indlandsisen endog har bredt sig ud over det nordøstlige Canada. I de centrale og nordlige dele af Peary Land mangler fjerntransporterede sten helt - disse egne har aldrig været dækket af Indlandsisen, men har formentlig været dækket af en lokal iskappe under den maksimale nedisning.

Hvornår den maksimale nedisning i Nordgrønland fandt sted er usikkert. Ligesom det skandinaviske isskjold havde en begrænset udbredelse under sidste istid (Weichsel, fra omkring 100 000 år siden til for 10 000 år siden), ser det ud til, at den maksimale nedisning også i Nordgrønland fandt sted før den sidste istid. Under sidste istids maksimum lå Indlandsisens rand ved fjordmundingerne, svarende til 100 - 200 km længere fremme end den nuværende isrand, og strædet mellem Grønland og Canada var udfyldt af een stor gletscher. Det er usikkert, hvor langt nordpå Indlandsisen bredte sig mellem fjordene. I landområderne har isen været tynd, og i det kolde klima har den været frosset fast til underlaget. Derfor finder man, hverken glaciale erosions- eller aflejringsformer der kan fortælle, hvortil isen nåede.

Nordgrønlands geologiske opbygning

af Johan D. Friderichsen

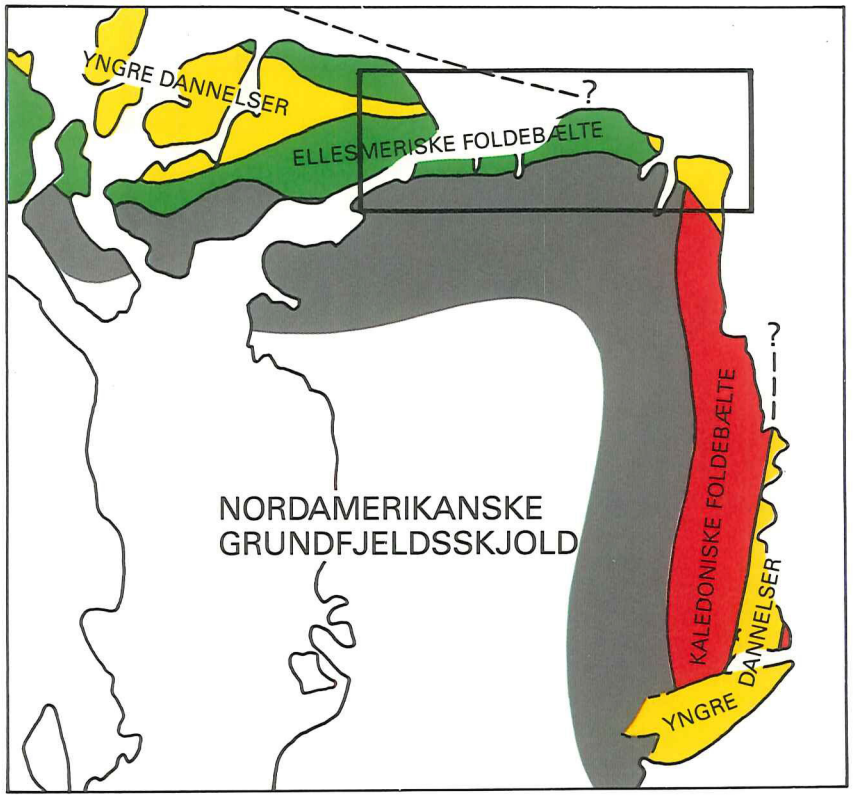
Grønland er en del af det nordamerikanske grundfjeldsskjold, og Nordgrønland udgør skjoldets nordøstlige hjørne. På figur 1 ser man, hvordan hjørnet er omgivet af foldebælter, det kaledoniske mod øst og det ellesmeriske mod nord. Man kan også se, at der helt mod nordøst er yngre dannelser ovenpå de foldede bjergarter.

Størstedelen af skjoldet består af gnejser, graniter og amfiboliter, som er velkendte fra vort hjemlige (skandinaviske) grundfjeld, men i Nordgrønland stikker kun ret små områder med grundfjeld frem. I næsten hele det store hjørne, som adskiller de 2 foldebælter, er skjoldets overflade dækket af flodaflejrede (kontinentale) sandsten fra den mellemproterozoiske Independence Fjord sedimentgruppe samt af en tyk serie af basalter fra samme periode. Proterozoikum er det vældige tidsrum, som forløb mellem Arkæikum og Kambrium. Se VARV's tidsspiral på bagsiden.

Der, hvor foldebælterne nu findes, var der før dannelsen af foldebælterne aflange havområder - trug - og grundfjeldsskjoldets rolle var at levere sedimenter til disse trug. Man siger, at grundfjeldsskjoldet har dannet forland for trugene. Man må forestille sig, at forlandet i starten var højtliggende i forhold til trugene, og at erosionen derfor kunne levere masser af mudder, sand og sten.

Det kaledoniske foldebælte

Langs Grønlands østkyst finder man en mangfoldighed af bjergarter, der som fællestræk har, at de blev deformeret og opvarmet sent i Silur-tiden for ca. 420 til 400 millioner år siden. Under den kaledoniske foldekædedannelse, som har navn efter Caledonia - alias Skotland. Der - og hele vejen op gennem den 'skandinaviske' fjeldryg i Østgrønland - finder vi resten af det samme foldebælte.



Figur 1. Oversigtskort over det nordlige Grønland. Det indrammede felt viser placeringen af det geologiske kort på side 24-25.

Det geologiske kort (side 24-25) viser, at bjergarterne i det kaledoniske foldebælte i Nordgrønland først og fremmest består af Hagen Fjord sedimenter. Kortets signaturforklaring viser, at den kan opdeles i en fladsø-del og i en dybhavsdel. Dette svarer til, at gruppens sedimenter aflejredes samtidigt i et kystnært, lavt havområde - måske op til nogle hundrede meter dybt - og i et dybt hav længere fra land. Man vil se på kortet, at et stort område mod øst er opbygget af dybhavsaflejringer, Rivieradal-sandstenen, og at fladsøaflejringer - muddersten, sandsten og dolomit - findes vest for Danmark Fjord, omend kun som spredte rester af et oprindeligt mere udbredt dække. Hagen Fjord Gruppen afspejler således trugets 'profil'. Nærmest forlandet var der et bredt fladsø-område, som længere ude mod øst afløstes af et dybhav. De fleste sedimenttrug har en veldefineret skråning mellem de to dele, og man kalder ofte fladsø-området for platformen eller soklen.

Lagfølgen ved Kap København består af ler, silt og sand. Den nederste del er aflejret i et højarktisk hav med isbjerge, så allerede på dette tidspunkt fandtes der altså gletschere i området. I den øvre del af lagfølgen findes spor af en vegetation på land med nåletræer og arktiske buske. Middeltemperaturen for årets varmeste måned var dengang 10-12° C mod nu 4° C. Den koldeste måned havde dengang en middeltemperatur på ned til −17° C mod nu ned til −31° C. Klimaet var altså betydeligt mildere dengang end nu.

Mens der herskede nordligt tempererede klimaforhold på land, viser skaller af marine muslinger, at forholdene i havet var arktiske. Man må altså forestille sig et forholdsvis varmt landområde omgivet af et koldt hav. Sådanne forhold svarer til situationen ved kysterne af Labrador i det østlige Canada i dag.

Fra aflejringerne blev afsat ved Kap København og indtil den sidste del af Kvartærperioden findes et tidsrum på et par millioner år. Fra dette tidsrum findes kun meget sparsomme oplysninger om de geologiske forhold, fordi der kun findes få bevarede aflejringer eller andre geologiske spor fra denne tid. Der er fundet spredte forekomster med muslingeskaller af arter, der også lever i området i dag, men deres alder er usikker.

Figur 2. Sand med mørke lag af tungsand i Kap København lagfølgen. På aflejringstidspunktet for ca. 2 millioner år siden var havet isfrit om sommeren. De små forkastninger er dannet ved Indlandsisens senere overskridelse af området.

Nordgrønlands kvartærgeologi

af Ole Bennike

Aflejringer fra Kvartærtiden er vidt udbredte i Nordgrønland, og på grund af den sparsomme plantevækst i området er aflejringerne bedre blottet end de fleste andre steder på Grønland. Kvartærtiden omfatter de sidste 2-3 millioner år af Jordens historie, og ved Kap København i det østlige Peary Land findes en aflejringsserie, der er afsat i den tidligste del af Kvartærperioden. Langt den overvejende del af istidsaflejringerne i Nordgrønland er dog afsat i den sidste del af Kvartærtiden, især inden for de sidste 10.000 år.

Figur 1. Dette skelet af en grønlandshval ligger 28 meter over nuværende havniveau. For ca. 7.000 år siden strandede hvalen for senere at blive hævet op til den nuværende højde sammen med den gamle strand. Findested: Station Nord.

De yngste lag i Hagen Fjord Gruppen er fra Eokambrium - altså fra overgangen mellem Proterozoikum og Kambrium. Man regner derfor med, at truget - og Hagen Fjord Gruppen - er øvre proterozoisk af alder.
Allerøverst i Hagen Fjord Gruppen findes tillit, forstenet moræne, et istidsfrisk pust fra Eokambrium. På den anden side af Atlanterhavet i Nordnorge findes udbredte aflejringer fra den såkaldte Varanger istid, som også var eokambrisk.

Imidlertid var det kaledoniske foldebælte endnu ikke klar til kulminationen i sin dannelse - foldningen og hævningen - da Hagen Fjord Gruppen var aflejret. Kambrium, Ordovicium og nedre Silur var et meget langt tidsrum, hvor fladsøområdet modtog sedimenter (i hvert fald i Ordovicium og nedre Silur). I dybhavet aflejredes kun lidt, og de nuværende blotninger er for små til at komme med på det geologiske kort på midtersiderne. Fladsøområdet derimod var i dette tidsrum et bredt bælte øst for den nuværende Danmark Fjord. Her aflejredes tykke lag af platformkalkbjergarter, der for en stor del er opbygget af kalkskallede organismers skalrester. Dem kommer vi tilbage til.

Det geologiske kort viser, at dybhavsaflejringerne (Rivieradal sandstenen) findes i det centrale Kronprins Christian Land, men her er de oprindeligt ikke aflejrede. De er gledet på plads som store fladtliggende skiver fra et sted længere mod øst. Udglidningerne skete i Øvre Silur samtidig med deformationen i resten af det kaledoniske foldebælte. De kan meget vel tænkes at have fundet sted langs svage vestvendte skråninger, dannet ved en lille hævning af trugets centrale del.

Der er mærkeligt nok ikke tegn på, at sedimenttruget har været stærkt sammenpresset - noget man ellers kender fra andre dele af kaledoniderne.
Udglidningerne bringer generelt gamle aflejringer op over yngre aflejringer. Helt mod øst i Kronpris Christian Land findes grundfjeld i den øverste skive. Dette er et vidnesbyrd om, at bunden af truget var grundfjeld.
Vi må nu tænke os eksistensen af en høj, ny bjergkæde i sidste del af Silur i Nordgrønland, og den vil vi forlade her. Men hen langs den nuværende nordkyst var der også sket ting og sager inden da.

Det ellesmeriske foldebælte

Til dannelsen af et foldebælte hører et sedimenttrug, og der fandtes da også et sådant trug fra nordøsthjørnet af Grønland og langt mod vest tværs over Ellesmere Island. Truget blev også her opdelt i et fladsøområde og i et dybhav.

Fladsøområdet var enormt stort. Det rakte helt fra Kronprins Christian Land og langt over på den canadiske side af Kennedy Channel. I det meste af Kambro-Siluret var fladsøområdet fælles for de to sedimenttrug i Nordgrønland og i Østgrønland, og helt op mod 3 km tykke aflejringer dannedes, langt overvejen-

Figur 2. Revdannelse i Silure kalksten. Højden over havet er ca. 800 meter. Kap Tyson i det nordvestlige Hall Land.

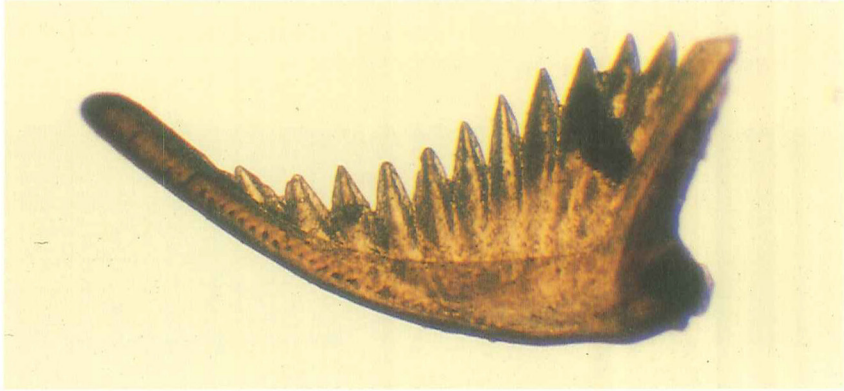
de som kalkbjergarter, såkaldte platform-karbonater. Nederst i Kambrium finder man dog en del kvartsrige, (klastiske) sedimenter, som et tegn på kraftig erosion af forlandet mod syd, men senere i Kambrium og op gennem Ordovicium og Silur var der fredelige tilstande for kalkskallede smådyr, hvis skaller udgør en stor del af platformens tykke lag. Øverst i Silur sluttede idyllen med dannelsen af store rev (fig. 2).

Dybhavet mod nord modtog i samme tidsrum sammenlagt nær ved 8 km sedimenter. Denne uhyre mængde må for en stor dels vedkommende være transporteret fra forlandet tværs over fladsø-området og ud i dybhavet. Faktisk er der en simpel forklaring: størstedelen stammer fra den periode i nedre Kambrium, hvor fladsø-aflejringerne var kvartsrige, klastiske sedimenter. Næsten 5 km mudder, sand og sten skylledes i dette 'korte' tidsrum ud i truget i form af turbiditer (om turbiditer handler en artikel i VARV nr. 2, 1984). Man må forestille sig, at kalkbjergarterne i randen af platformen stedvis var gennemskåret af canyons, og at erosionsmaterialet fra forlandet blev skyllet ud gennem dem af store floder. På dybhavets skråninger er det samlet i store bunker, hvorfra det i form af en endeløs række 'katastrofer' er rutschet hundredevis af kilometer ud i truget, når det fik 'overbalance'. Det skal dog anføres, at en del af de 5 km kan være kommet fra nord eller øst.

Store samlinger af graptoliter fra Nordgrønland er nu ved at blive bearbejdet, og resultaterne vil give en velfunderet biostratigrafisk inddeling af dybsøaflejringerne fra det tidligste Ordovicium til det seneste Silur.

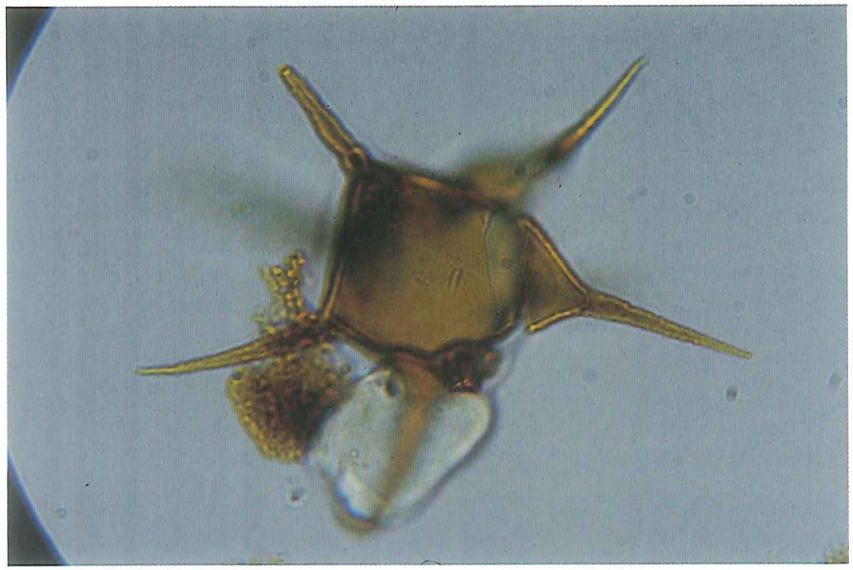
Den store anvendelse af conodonter i biostratigrafiske undersøgelser er af nyere dato, men det er en hastigt ekspanderende metode. Skemaer over conodontzoneringer er ikke så raffinerede som de tilsvarende baseret på graptoliter, men det er dog muligt på grundlag af conodonter at opstille en særdeles god biostratigrafisk inddeling af fladsø-kalkstenene fra Ordovicium/Silur, hvor netop graptoliterne mangler.

Hverken graptoliter eller conodonter kan dog bruges til biostratigrafi i kambriske aflejringer, hvor man traditionelt bruger triboliter. Nordgrønlandsprojektet har fremdraget store kambriske faunaer fra både fladsø- og dybvands-aflejringerne. Navnlig danner omfattende samlinger af agnostide trilobiter grundlag for en korrelation over store dele af verden.



Figur 6. Den ca. 2 mm store conodont Belodina *fra Ordovicium.*

Tusindvis af forsteninger er blevet bragt hjem til GGU under Nordgrønlandsprojektets forløb. Så store indsamlinger fra et så isoleret område som Nordgrønland vil uvægerligt indeholde mange nye og ubeskrevne former. Af særlig interessante nyheder kan nævnes en tyk øvre-kambrisk lagserie med et stort indhold af fossiler, nedre-kambriske trilobiter, archaeocyather, foruden en række velbevarede små fossiler, som er meget karakteristiske, men hvis placering i det biologiske system er ukendt. Endvidere er der fundet både planter og fisk i silure aflejringer. Såvel bestemmelsesarbejdet som beskrivelsen af dette store og ofte fremragende materiale vil utvivlsomt strække sig et godt stykke ind i fremtiden, selvom specialister fra mange lande er aktive deltagere i arbejdet.

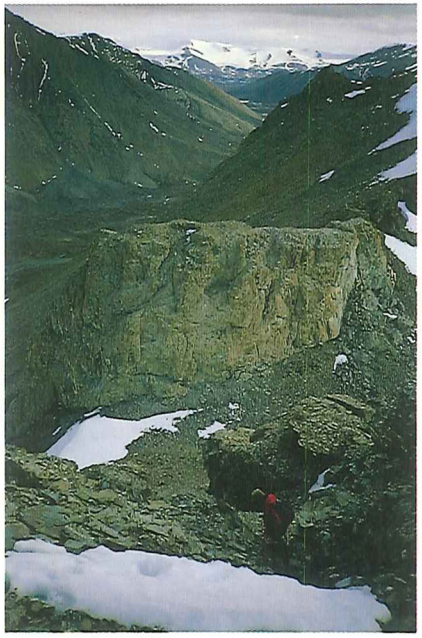


Figur 5. En Achritarch. Denne slags mikrofossiler er vidt udbredte, ofte meget hyppigt forekommende og derfor meget anvendelige til korrelationer over store afstande. Deres placering i det biologiske system er uvis, men muligvis er det en slags hvilespore fra en alge. Den her afbildede Achritarch er ca. 0.05 mm og er fra den sen-Ordoviciske Aleqatsiaq Fjord Formation i Washington Land. Foto: H. Nøhr-Hansen.

Mikrofossiler som achritarcher og conodonter anvendes udover i biostratigrafien også til at udrede et sedimentært områdes termale historie. Ændringer i tryk og temperatur i bjergarterne bevirker, at mikrofossilerne bliver mørk-farvede. Disse farveændringer er et meget vigtigt hjælpemiddel for oliegeologerne i studiet af mulige oliebjergarter.

Biostratigrafi

Fossilernes værdi i Nordgrønlandsprojektet er først og fremmest indenfor biostratigrafien. Navnlig to fossilgrupper, graptoliter og conodonter, er meget værdifulde i denne forbindelse. Graptoliter har gennem de sidste 100 år været anset for de bedste biostratigrafiske indikatorfossiler i nedre Palæozoikum. De er desværre sjældne eller mangler helt i fladsø-kalkstenene i Nordgrønland, men til gengæld er de vidt udbredte i sandstens- og skiferaflejringerne, der stammer fra større vanddybde.



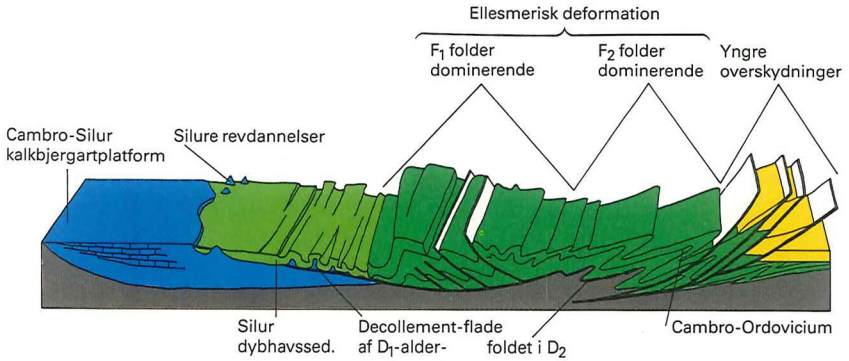
'Katastrofer' er et stærkt ord, men også nutidige eksempler viser, at turbiditer kan være 'stærke sager'. I Nordgrønland finder man i visse horisonter kæmpestore blokke af kalksten midt blandt mudder- og sandlagene (fig. 3). De måler op til flere hundrede meter på hver led og vidner om, at canyon siderne lejlighedsvis er brudt sammen og skyllet 50-80 km ud i dybhavet.

Figur 3. En næsten 100 meter høj kalkstensblok, der er transporteret omkring 50 km mod nord af en turbidit i Kambrium.

Men allerede fra midten af Kambrium og i hele Ordovicium blev der stille i dybhavet. Udviklingen er muligvis fortsat - det gjorde den jo i fladsø-området - men kun nogle få hundrede meter kvartsrige og ret finkornede aflejringer blev dannet i dette lange tidsrum. Mon ikke forlandet er blevet så nedslidt, at næsten ingen erosion fandt sted ?

Lidt ind i Silur-tid tog tingene en dramatisk vending. Vi efterlod jo det kaledoniske foldebælte i Nordgrønland som en ung, høj bjergkæde i Silur, og dette gav ny, kraftig erosion og en højdeforskel nedad mod vest, men samtidig sænkedes den nordlige del af fladsø-området kraftigt langs nordkysten. Det ser man på profilet (fig. 4), idet et stort stykke af platform-kalkstenene er overdækket af silure dybhavsaflejringer. Man finder således op mod 5 km tykke, sandede lag, men de tynder ud mod vest, og i foldebæltets nordlige dele er de blevet eroderet væk.

I Amundsen Land er der fundet en mængde tynde skiver skudt op over hinanden med vestlig retning. De tænkes gledet ud ved hjælp af tyngdekraften sidst i Silur eller først i Devon. Også dette synes at være et resultat af bjergkædedannelser mod øst.
Fra Devon tiden findes næsten ingen 'sikre' aflejringer i Nordgrønland, men fra Ellesmere Island kender vi en næsten komplet Devon sedimentserie i fortsæt-



Figur 4. Skematisk profil gennem den centrale del af Nordgrønland fra syd mod nord. Den viste model bygger på en første sammenpresning D_1/F_1 og dannelse af en stor bevægelseszone mellem grundfjeldet og dybhavsaflejringerne. Bevægelseszonen blev selv underkastet foldning i de følgende ellesmeriske foldefaser D_2/F_2. Overskydningerne helt imod nord (til højre i profilet) skyldes Tertiær deformation. Signaturer som på det geologiske kort side 24 - 25.

telse af siluret, og derfor må kulminationen i det ellesmeriske foldebælte - sammenpresningen og hævningen - være sket sidst i Devon eller tidligt i Karbon. Og det er altså ca. 50 millioner år senere end i kaledoniderne.

Der er tale om en anden type deformation end i kaledoniderne. Sammenpresningen var stor. Trugets bredde blev formindsket til ca. 2/3, og folder spiller en hovedrolle, mens overskudte skiver var mindre væsentlige. Profilet (fig. 4) skulle gerne give et indtryk af dette. Magnetiske målinger tyder på eksistensen af kontinent-materiale under foldebæltet, så på dette punkt ligner de to foldebælter hinanden. I Canada har man et forland også nord for foldebæltet, og noget tyder på, at vi har haft samme i Grønland. Dets forsvinden hænger sammen med dannelsen af det arktiske ocean mod nord og er en helt anden historie.

Efter de store foldebælters dannelse

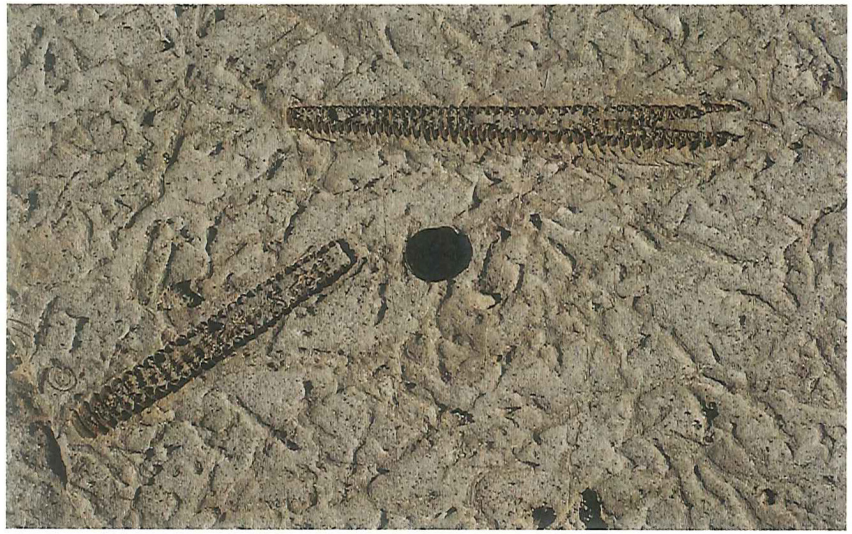
I Kronprins Christian Land og i det østlige Peary Land finder man sedimenter fra samtlige følgende tidsperioder. Det begyndte med en fladsø kalkstensdannelse fra Karbon, som kendes helt fra Nordøstgrønland/Svalbard og tværs over det nordlige Canada til Alaska. Ovenpå får man klastiske aflejringer fra Perm og Trias. Fra Jura og Kridt er der marine, såvel som kontinentale aflejringer, og det samme gælder Tertiær. Desværre findes alle disse bjergarter kun som spredte forekomster, men det har været muligt at rekonstruere en samlet mægtighed på 2-3 km. Undervejs er der flere mindre deformationsperioder, svarende til forstyrrelser i lagserierne, og også flere sedimentationsafbrydelser.

Mikropalæontologi er navnlig værdifuld i forbindelse med et projekt som det nordgrønlandske, hvor man ret hurtigt og let kan indsamle prøver systematisk gennem den geologiske lagfølge i et stort område. Al form for præparation og videre bearbejdning af prøverne finder sted, når prøverne er kommet hjem til laboratoriet efter den korte grønlandske feltsæson.

En meget stor del af den palæozoiske lagserie af fladsøsedimenter består af kalksten, der for det meste er let opløselig i svage syrer. Adskillige tusinde prøver fra disse lag er således blevet behandlet med eddikesyre for at konstatere indholdet af fosfatiske mikrofossiker, specielt de såkaldte conodonter. De små (0.1-2 mm) klo-lignende conodonter består som nævnt af fosfat og er dele af et uddødt og dårligt kendt dyr uden andre faste bestanddele. Conodonter er særlig nyttige til biostratigrafi i lagfølger af kalksten fra Ordovicium og Silur. De kan også findes i skifre og sandsten af samme alder, men i disse tilfælde er det meget vanskeligt at fjerne selve sedimentet uden samtidig også at ødelægge conodonterne.

Achritarcher og flere andre typer mikrofossiler er meget modstandsdygtige over for aggressive syrer som f.eks. saltsyre og flussyre. Den slags mikrofossiler kan derfor præpareres ud af et næsten hvilket som helst sediment.

Figur 4. Catenipora, *en tabulat koral, der hyppigt findes i de store rev i sen Ordovicium til Silur. Koralrev dannes kun i varme havområder, så blandt andet derfor er der grund til at antage, at der herskede et langt mildere klima i Nordgrønland for ca. 440 millioner år siden.*



Figur 3. Kæmpeblæksprutter, Actinoceras, *på en lagflade med gravegange.*

Indholdet af fossiler giver tre typer information til geologerne' biologisk, stratigrafisk og miljømæssig. Studiet af de fossile dyrs og planters bygning er grundlaget for alt arbejde med fossiler, og herigennem opnås der samtidig en øget forståelse for livets udvikling.

Undersøgelser af rækkefølgen, hvori fossilerne optræder i de forskellige lag, er grundlaget for biostratigrafi, som angiver de indbyrdes aldersforhold for aflejringsenheder på såvel lokalt som regionalt plan. Mange af de nordgrønlandske fossiler kendes også fra andre dele af Jorden, hvilke giver mulighed for sammenligning med geologiske 'standard-lagfølger' i andre lande.

Forsteningerne giver også et fingerpeg om forholdene i det hav, hvor de nu fossile organismer levede. De mange koraller og store bløddyr fra Ordovicium og Silur antyder, at Nordgrønland for 400-500 millioner år siden havde et subtropisk klima, hvilket står i skarp kontrast til nutidens højarktiske forhold.

Mikropalæontologi

Traditionel fossilindsamling i felten med hammer og mejsel er en tidsrøvende metode. Man samler derfor også bjergartsprøver til videre behandling i laboratoriet, og navnlig med henblik på studiet af de mikroskopiske fossiler. Behandlingen af prøverne består ofte i en syrebehandling, som dog kun er en succes, hvis selve bjergarten kan opløses i syre, medens fossilerne ikke kan.

Aktiviteterne i det tidlige Tertiær fortsatte med en vis nord-sydlig sammenpresning, som satte sig spor i form af talrige, store forsætninger i den nordøstlige del af området. Samtidig dannedes de store overskydninger, som påvirkede de ellesmerisk foldede dybhavssedimenter samt vulkaniterne ved Kap Washington, se figur 4. Der er med andre ord tale om endnu en 'foldebælte-dannelse' ovenpå rødderne af den ellesmeriske, og den er interessant, fordi den til forskel fra de ældre har en tilknyttet vulkansk aktivitet.

Det er dog først ved Kridt/Tertiær grænsen, at der sker noget større. Forvarslet er en livlig vulkansk aktivitet, som viser sig som basaltgange i det nordlige Peary Land. Helt oppe ved nordkysten kan tætheden være overvældende. 50 % af overfladen består ofte af basalt. På kortet findes et lille område med yngre dannelser ved Kap Washington. Disse består af en kilometertyk, blandet serie af vulkanske bjergarter, hvor smeltet basalt-lavaer altså er nået helt frem i overfladen. Deres sammensætning tyder på, at de er dannet under et kontinent, der begyndte at sprække op, hvilket passer med, at man ad anden vej har vidnesbyrd om, at den tilstødende del af det arktiske ocean dannedes lidt senere.

Desværre findes ingen yngre sedimenter på land fra Tertiær, så der er ringe viden om denne periode. En forøget varmetilførsel nedefra i forhold til det normale, og en lokal hævning ved samme lejlighed, er formentlig sket i sammenhæng med oceandannelsen mod nord, men ellers er det først kvartærtidens nedisning, som igen sætter sig spor.

Figur 5. Silure sandsten foldet omtrent som et sammenkrøllet gulvtæppe. Foto fra Castle Ø mellem Wulf Land og Nyeboe Land.

Malm i Nordgrønland

af Agnete Steenfelt og Ulla Hjort Jakobsen

At finde mineralforekomster i så stort og helt ukendt område som Nordgrønland er en omfattende opgave, der kræver en stor mængde prøvetagning, boringer, analyser og beregninger. GGU har da heller ikke haft mulighed for, eller haft til hensigt at finde forekomster, men har derimod forsøgt at bedømme, hvilke typer af mineralforekomster, der kunne være mulighed for at finde.

Til denne vurdering har vi anvendt en metode, der betegnes geokemisk rekognoscering og kortlægning. Baggrunden for metoden er at forvitrede mineralforekomster transporteres i vandløb bort fra forekomsten. En mineralforekomst vil derfor være omgivet af et område, hvori elvene er beriget på de mineraler eller metaller, som forekomsten indeholder. Ved at samle prøver fra bunden af et antal elve i et område, og analysere dem for deres metalindhold kan man finde ud af, om nogle af elvene har passeret en mineralforekomst.

Inden man begynder at samle prøver, kan man dog prøve at se på de geologiske forhold i området og undersøge, om der er fundet mineralforekomster i tilsvarende geologiske miljøer andre steder i verden. Og man skal ikke gå så langt - det nordligste Canada har haft en lignende geologisk udviklingshistorie som Nordgrønland, og her findes betydelige bly-zink forekomster, hvoraf en brydes i en mine, der hedder Polaris. Der er ikke fundet andre typer af forekomster, og med det nuværende kendskab til området er der ikke store chancer for, at der kan findes andre.

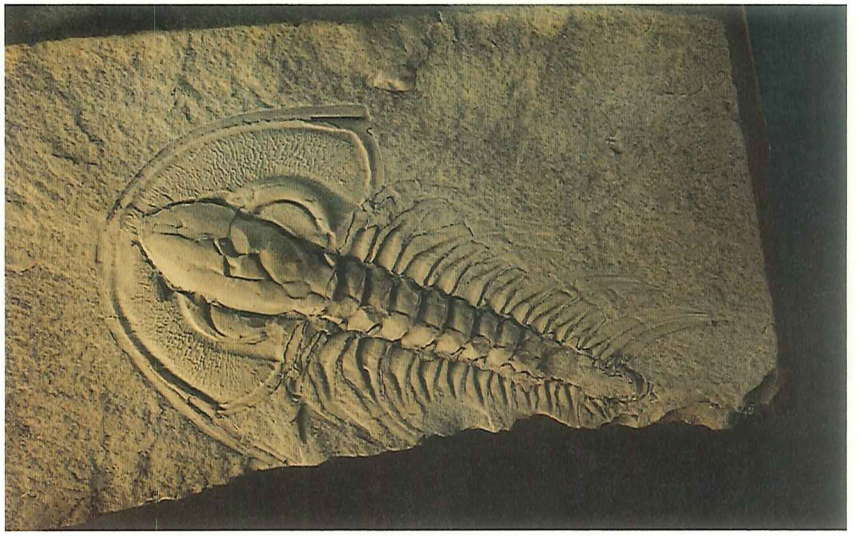
I perioden 1978-1980 blev der i Peary Land regionen udført en geokemisk rekognoscering, dvs der blev indsamlet prøver på lokaliteter, hvor det geologiske kortlægningsarbejde iøvrigt foregik. Rekognosceringen gav en utilstrækkelig dækning, men alligevel fik vi et godt indtryk af variationen i den kemiske sammensætning af elvsand fra forskellige geologiske aflejringer i området.

Siden Koch's tid er det nordgrønlandske område kun blevet sparsomt besøgt, men alligevel er værdifulde samlinger bragt hjem af J. C. Troelsen i 1940'erne og senere af P. R. Dawes i 1960'erne. Siden 1974 har det, takket være fly-støttet feltarbejde, været muligt for GGU's geologer systematisk at indsamle fossiler i hele regionen. Særligt store indsamlinger er foretaget i forbindelse med Nordgrønlandsprojektet i årene 1978-80 og 1984-1985.

Næsten alle blottede lag i Nordgrønland består af havaflejringer, og de fleste indeholder forsteninger. Navnlig er lagfølgen af lavtvandssedimenter i den sydlige del af området rig på fossiler, og i det vegetationsfrie klippelandskab er det ofte muligt at samle mange fossiler i løbet af kort tid, hvilket er en stor fordel, hvis man kun har få øjeblikke til rådighed, som tilfældet er på en helikopter-rekognosceringstur.

I det vestlige Europa har man samlet fossiler i nedre palæozoiske lag gennem århundreder, så her har man efterhånden et detaljeret kendskab til lagenes indhold af de forskellige fossiler. De nordgrønlandske fossillokaliteter er derimod ofte kun blevet undersøgt i nogle få timer og vil sandsynligvis ikke blive besøgt igen af geologer i dette århundede.

Langt de fleste fossilførende lag i Nordgrønland er af nedre palæozoisk alder, d.v.s. fra perioderne Kambrium, Ordovicium og Silur. Lag af tilsvarende alder i for eksempel Skåne og på Bornholm indeholder også hyppigt fossiler.



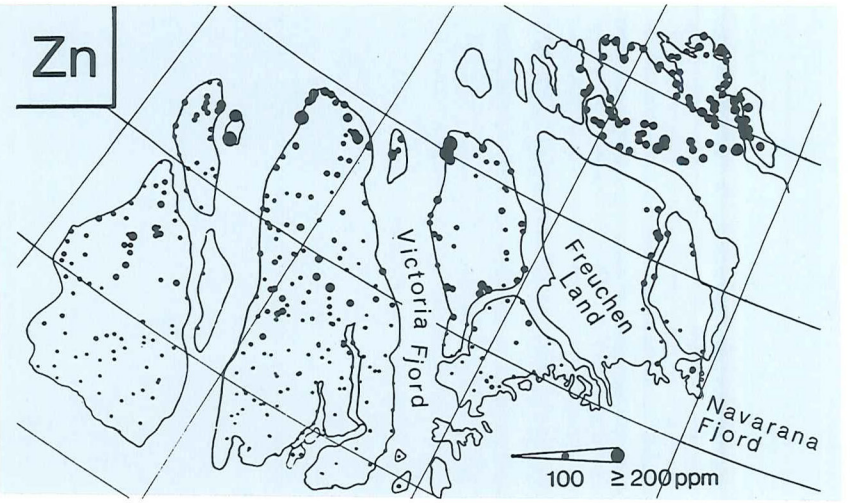
Figur 2. Trilobiten Olenellus *fra Nedre Kambrium. Buen Formationen i Peary Land. Trilobiten er ca. 6 cm lang.*

Palæontologi i Nordgrønland

af
John S. Peel og
Niels H. Larsen

Forsteninger fra nedre palæozoiske aflejringer i Nordgrønland har spillet en fremtrædende rolle i arktisk palæontologi siden begyndelsen af dette århundrede. Lauge Koch foretog indsamlinger af fossiler under sine ekspeditioner med hundeslæde i 1920'erne, og dette materiale blev beskrevet i en række afhandlinger i 'Meddelelser om Grønland' fra 1926 til 1943 af Christian Poulsen og Gustaf T. Troedsson. I betragtning af de meget barske vilkår for Lauge Koch's feltarbejde er fossilsamlingerne ofte forbavsende omfattende. Slædeekspeditionerne rejste langs kysterne, så indsamlingslokaliteterne er spredte og ikke jævnt fordelt ud over landet.

Figur 1. Nedre kambrisk sandsten med hoved- og haleskjolde af trilobiten Bonnia, *brachiopoderne* Kutorgina *(med koncentrisk stribning) og* Nisusia *(med radiær stribning).*



Figur 1. Koncentrationen af Zn i prøver indsamlet i 1984 i det i artklen omtalte område.

I 1984-1985 blev der så systematisk indsamlet prøver i det område, som er vist på kortet, side 24-25, og prøverne er analyseret for en række metaller. Analyseresultaterne kan dernæst bruges til at fremstille geokemiske kort, der viser hvordan mængden af et grundstof (ofte et metal) varierer igennem området. Det er almindeligt, at store geologiske enheder har hver sin karakteristiske kemiske sammensætning, og det er i princippet de kemiske forskelle mellem enhederne, der kortlægges. Sammenligner man det geokemiske kort med det geologiske, vil man opdage, at der er steder, hvor indholdet af et eller flere grundstoffer er usædvanligt høje. Sådanne steder betegnes anomalier, og det er sådanne steder, der er chance for at finde en mineralforekomst.

Figur 1 viser som eksempel udbredelsen af zink (kemisk betegnelse: Zn) i det område, hvori der blev samlet prøver i 1984. På hver prøvelokalitet findes et cirkelsymbol, hvis diameter er proportional med indholdet af Zn i prøven. Den største diameter svarer til et indhold på 200 ppm Zn (forkortelse for parts per million), hvilket også kan udtrykkes som 200 gram Zn per ton prøve. Det lyder ikke af meget, men det er 4-5 gange over det normale, og derfor skal man lægge mærke til, hvor de største cirkler findes. Hvis man sammenligner med det geologiske kort side 24-25 vil man se, at lokaliseringen af de fleste af de zink-rige prøver svarer til placeringen af kontinentalsoklens skrænt mod dybhavsbunden i Ordovicium. En sådan skrænt er gunstig for dannelsen af zinkmalme, og resultatet af den geokemiske undersøgelse er altså, at der bør være mulighed for at finde zinkforekomster langs denne zone.

Figur 2. Navarana Fjord set mod nord fra det mineraliserede område.

Zinkfordelingen i området, som vist på fig. 1, er tegn på, at der burde være mulighed for at finde zinkforekomster. Er der ikke andre tegn ? Jo, faktisk stødte vi på en lille zinkforekomst under arbejdet med indsamling af prøver. På lokaliteten, som ligger ved Navarana Fjord (se fig. 2 og 3) findes nogle meget rustfarvede sandsten (rustfarvningen tyder på et indhold af metalholdige sulfidmineraler, der kan være økonomisk interessante) og nogle imponerende svovl- og sulfatudfældninger langs en sprækkezone.

Da vi undersøgte stedet nærmere, viste det sig, at der fandtes en stor hvid åre af kalkspat ($CaCO_3$), som udfylder en lodret sprække i klippen ud mod fjorden, se fig. 4). Åren er blottet over ca. 60 m, fra toppen af urskråningen til toppen af klippen. Inde i åren ses et brunt bånd, ca. 1 m bredt, med et næsten lodret, lidt slynget forløb. Båndets farve skyldes store mængder af mineralet zinkblende (ZnS). Sammen med zinkblenden findes kvarts, tungspat ($BaSO_4$) og mindre mængder blyglans (PbS). Fordelt i kalkspaten findes desuden kobbermineralerne kobberglans (Cu_2S), kobberkis ($CuFeS_2$) og malakit (Cu_2CO_3).

Sprækken er opstået i forbindelse med en forkastning. Man kan se på sidevæggenes strukturer, at de er forskudt i forhold til hinanden. Langs kanten og inde i kalkspatåren er der knusningszoner, som viser, at forkastningen har været aktiv flere gange. Det brune bånd med zinkblende er netop en sådan knusnings-

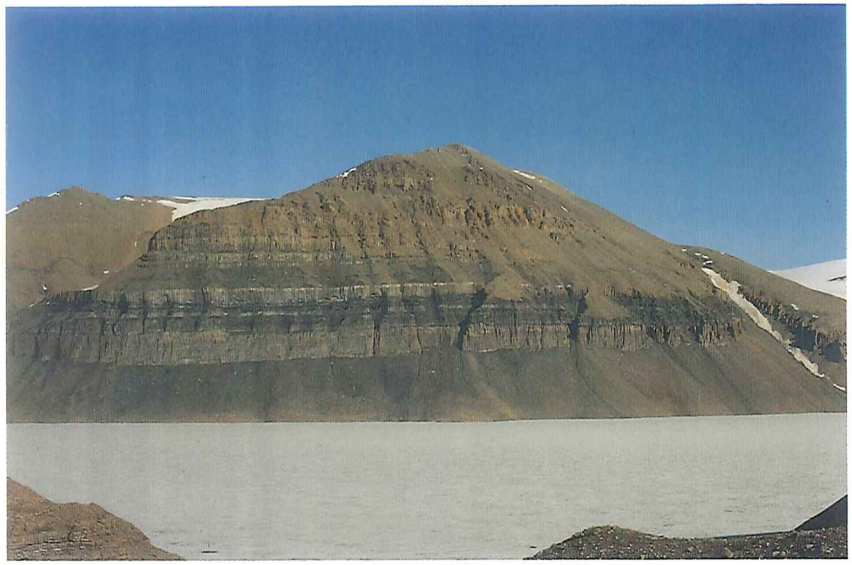
Figur 4. Udsivning af asfalt fra sprække i Portfjeld Formation breccien i det sydlige Wullf Land.

i midten en lys sandsten og øverst en mørk grovkornet kalksten. Den nedre kalksten er en god moderbjergart, mens de porøse sandsten og øvre mørke kalksten, som ofte stinker af olie og indeholder bitumenfyldte hulrum (fig. 4), er mulige reservoirbjergarter. Disse bjergarter er også mulige migrationsveje, så dannet olie kan være sivet igennem til eventuelle andre reservoirer.

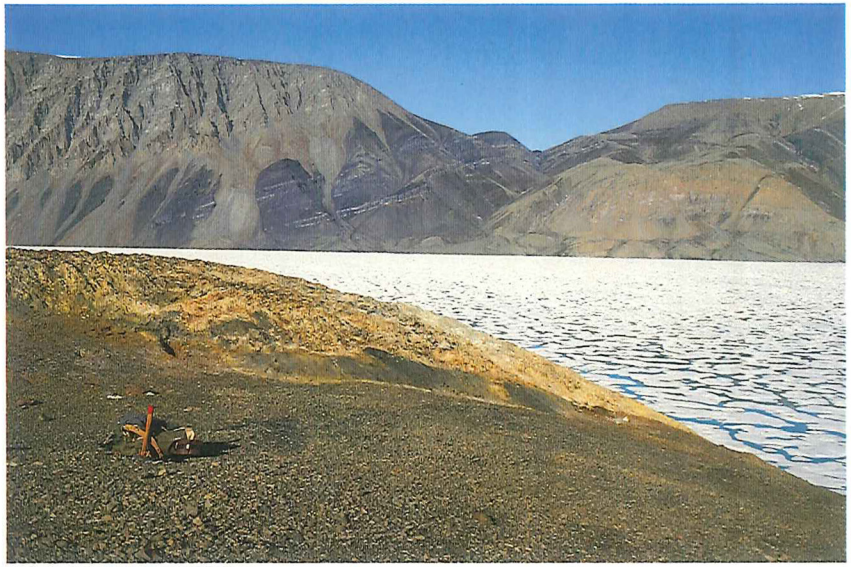
Bitumen-udfyldninger og udsivning af asfalt er også observeret i områder uden kendte moderbjergarter, især i det sydlige Wulff Land (fig. 1). Specielt interessant er den bløde asfalt, som flyder ud af en sprække i en Kambrisk dolomit breccie (fig. 4). Asfalten indeholder lette kulbrinter og er formodentlig kun omdannet ved fordampning og bakteriel aktivitet, hvorimod der ikke er sket en termal nedbrydning. Meget tyder på, at migration af olie har fundet sted over en afstand på mindst 50 til 100 km. Mest spændende er det så, om asfalten udgør resterne af et nu borteroderet reservoir, eller om det er udslip fra et stadig eksisterende reservoir beliggende på nogle få hundrede meters dybde.

Der har altså været olie i Nordgrønland ! Men er der det også i dag ? Fremtidige analyser og teoretiske modelberegninger vil sikkert bringe os tættere på et rigtigt svar. En hundrede meter dyb boring i området tæt ved asfaltudsivningen vil måske kunne afklare det definitivt! Er der oliefelter i området, er der dog kun spinkle håb om, at de vil være økonomisk rentable at udnytte.

Figur 2. Boring med GGU's kerneboringsudstyr.



Figur 3. Typisk blotning af Henson Gletcher Formationen (det mørke bånd midt på fjeldvæggen) i Peary Land.



Figur 3. Navarana Fjord. I forgrunden ses tykke afsætninger af gul svovl over en sprække med svovlkis.

zone, hvor de knuste kalkspatstykker sidder i en fyldmasse af zinkblende og kvarts, Fig. 5. Zinkblenden er altså afsat i knusningszonen på et sent tidspunkt i kalkspatårens historie. Fig. 6 viser, hvordan åren og zinkblenden tænkes at være dannet.

Spørgsmålet er nu, hvor de zinkholdige (og bariumholdige) opløsninger der har dannet årens mineraler, er kommet fra, og det er det endnu ikke muligt at sige noget om med

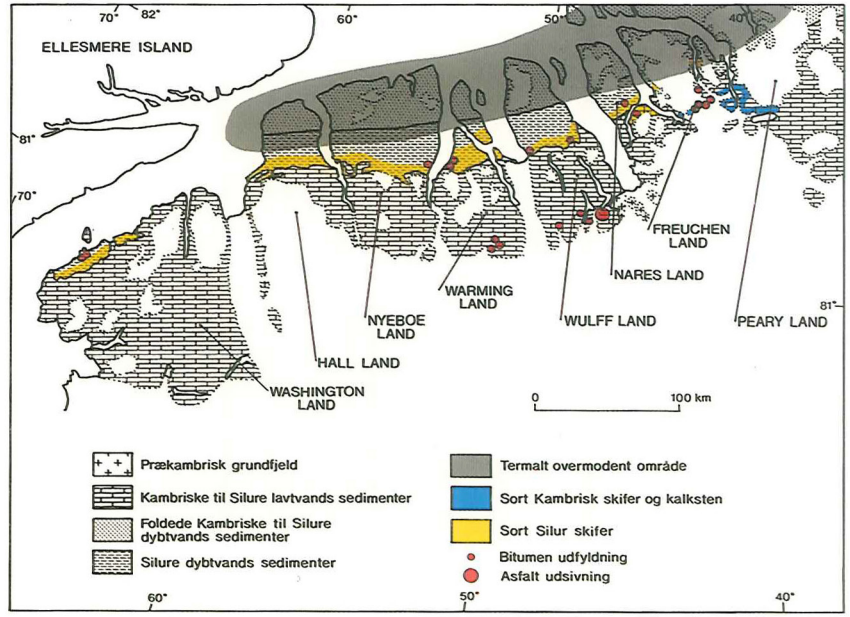
Figur 4. Kalkspatåre med en central brun breccie-zone indeholdende zinkblende.

Figur 5. Nærbillede af den centrale del af åren og visende knusningszonen imprægneret med zinkblende.

sikkerhed. Et muligt kildeområde for metallerne synes at være en sort organiskholdig skiferlagserie, der er særlig rig på både Zn og Ba. Disse metaller kunne tænkes at være opløst af en klor-rig vandig opløsningsfase og derefter transporteret til sprækkezonen. Her har metallerne mødt noget svovl og er så blevet udfældet som forskellige metalsulfider. Svovlet kunne tænkes at komme fra olie, som også ses afsat i sprækkezonen. En anden mulighed for metallernes oprindelse kunne være fra vulkaner, men da vulkaner helt mangler i området, er denne muligt kilde mere usandsynlig.

I øjeblikket undersøges zinkblendezonen mikroskopisk, og zinkblenden bliver også analyseret kemisk. Dels vil man bestemme dannelsestemperaturen og dels karakteren af den opløsning, som zinken blev afsat fra.

Sammenfattende kan vi altså konstatere, at der er tegn på, at der var zinkforekomster i det område, som blev undersøgt i 1984. Dels har den geokemiske kortlægning vist, at der findes steder, hvor sandet i elvene er beriget på zink, dels har vi fundet en forekomst, som viser, hvordan zinken kan koncentreres som zinkblendeafsætninger i forkastningssprækker. Men det kan på dette tidspunkt ikke afgøres, om eventuelle andre forekomster vil være tilstrækkelige store til at kunne blive udnyttet.



Figur 1. Kort over det centrale og vestlige Nordgrønland, visende udbredelsen af mulige moderbjergarter, bitumen udfyldninger og asfalt udsivning.

Et felthold studerede udbredelsen, tykkelsen og aflejringsmiljøet af de to mest lovende moderbjergartsniveauer, nemlig de Kambriske kalksten fra Henson Gletscher Formationen og de Silure skifre fra Lafayette Bugt Formationen og fra Wulff Land Formationen. Desuden blev der udført 13 kerneboringer med en samlet længde på 345 m. Boringerne blev foretaget med GGUs specialudviklede helikoptertransportable udstyr (fig. 2). Kernerne skal sammen med de indsamlede overfladeprøver danne basis for en vurdering af oliemulighederne.

De sorte Silure skifre, som ofte er rige på graptoliter, kan følges over en strækning på mere end 500 km fra Washington Land i sydvest til Freuchen Land i nordøst (fig. 1). Tykkelsen varierer meget, men er typisk nogle få hundrede meter. I skifrene ses ofte konglomerater af kalksten. Tilstedeværelsen af bitumen (olierester) i koraller, i hulrum og sprækker i konglomeratet tyder på, at der har været dannet nogen olie.

Henson Gletscher Formationen optræder kun i det sydlige Freuchen Land og i det sydøstlige Peary Land (fig. 1). Tykkelsen varierer mellem 40 m og 150 m, og lagfølgen kan typisk tredeles (fig. 3). Nederst ses en finkornet sort kalksten,

Olie i Nordgrønland?

Flemming Getreuer Christiansen
og Henrik Nøhr-Hansen

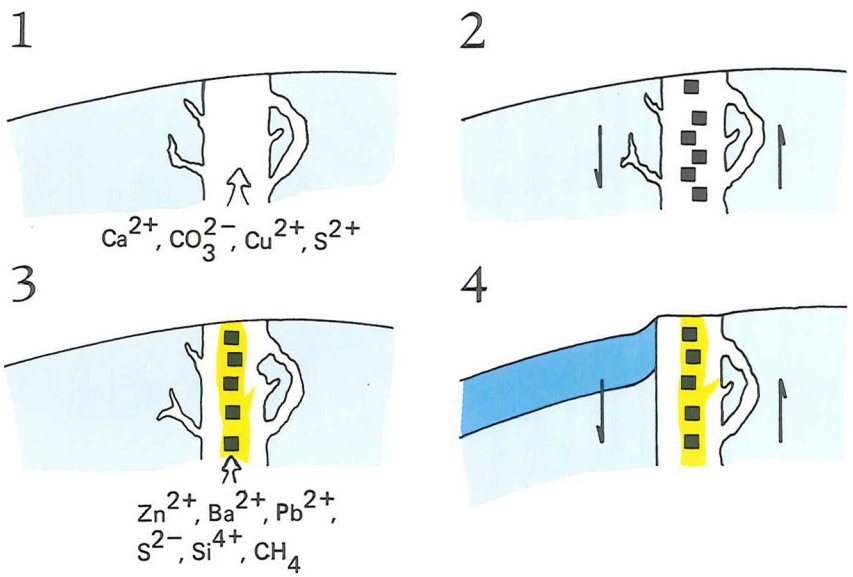
Er der olie i Nordgrønland, eller har der været i tidligere geologisk tid ? Det var to af de vigtigste spørgsmål man stillede, før Grønlands Geologiske Undersøgelse gik i gang med Nordolie-projektet (støttet af Energiministeriet). Nu er det jo sin sag at finde ud af, om et område større end Danmark, og i oliegeologisk henseende næsten ukendt, indeholder olie-forekomster. Derfor blev det besluttet at koncentrere hovedindsatsen på to fronter: er der blevet aflejret organisk rige skifre eller kalksten (moderbjergarter), og har disse været opvarmet så tilpas, at der er dannet olie ?

I første feltsæson i sommeren 1984 rekognoscerede to geologhold i den centrale og vestlige del af Nordgrønland (se fig. 1), og der blev yderligere indsamlet prøver til organisk geokemiske analyser og mikroskopering af de forskellige Palæozoiske sedimenter.

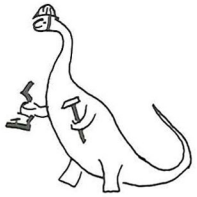
De foreløbige analyser, som blev udført i vinteren 1984-1985, viste at en del niveauer i både de Kambriske kalksten og i de Silure skifre indeholder så meget organisk materiale, at de kan betegnes som mulige moderbjergarter. Sådanne moderbjergarter er aflejret i et miljø, hvor der har været en stor organisk produktion (f.eks. af alger) og en langsom aflejring af sedimenter, hovedsageligt ler. Samtidig var miljøet iltfattigt, således at det organiske materiale blev bevaret. Sådanne aflejringsbetingelser har der været i Nordgrønland på kontinentalsoklen og kontinentalskrænten ('shelf' og 'slope') i Kambrium og ligeledes i Silur på kontinentalskrænten, i laguner omkring revene og måske også på dybere vand.

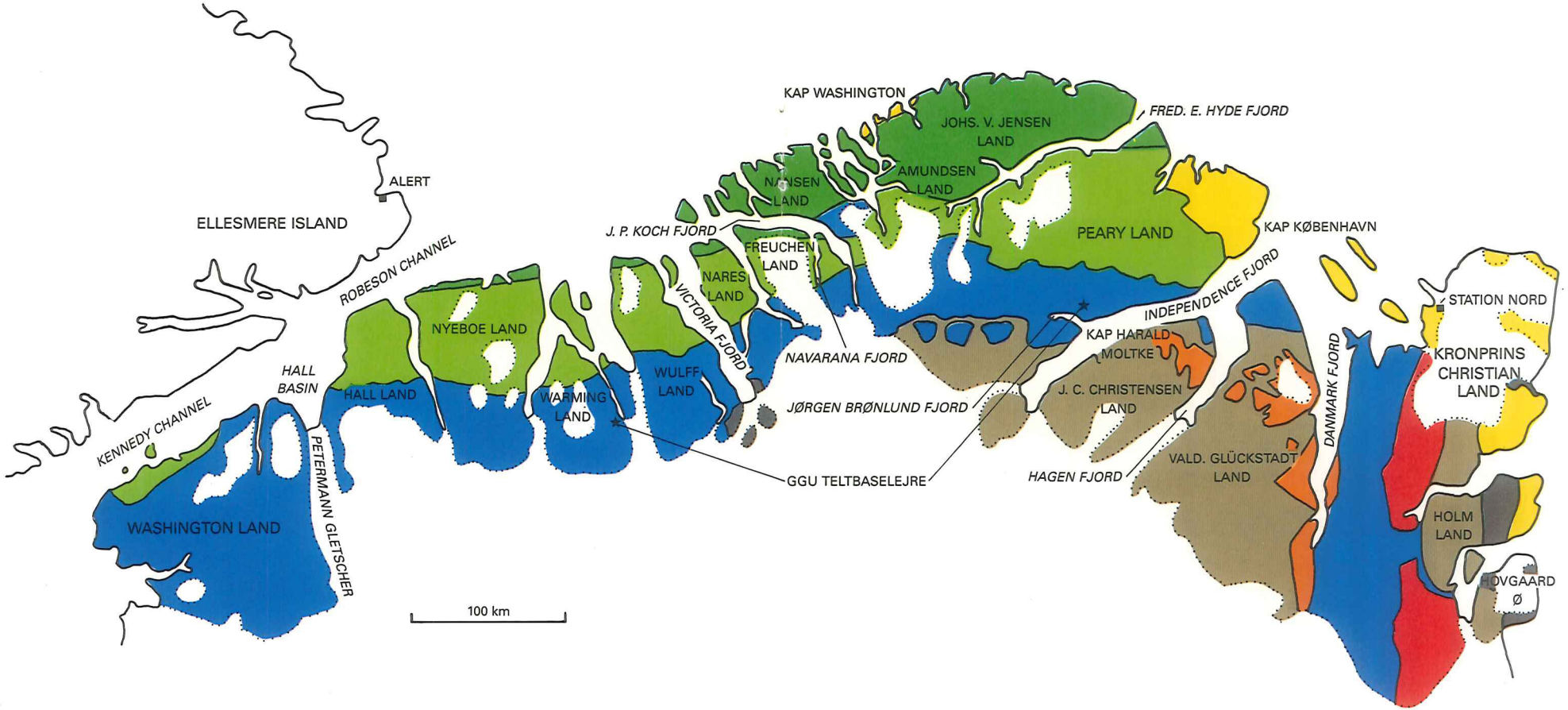
I forbindelse med indsynkning og senere foldning før eller under den Devone periode blev hele den nordligere del af regionen (fig. 1) udsat for kraftig opvarmning (til mere end 300° C). Derved er der fra det organiske materiale blevet dannet olie, men den blev nedbrudt til kulstof og til gas, som er dampet bort ved overfladen. I den centrale og sydlige del af området har varmepåvirkningen ikke været helt så kraftig og mulighederne for bevaring af olien derfor bedre, og feltaktiviteterne i 1985 koncentrerede sig derfor om disse områder.

Elvsandprøverne er blevet analyseret for ialt 30 grundstoffer, og mineraleftersøgningsprogrammet har dermed givet oplysning om de kemiske forhold i de forskellige aflejringsmiljøer. Sådanne oplysninger kan være en hjælp i den geologiske tolkning af området, uanset om der findes mineralforekomster eller ej.



Figur 6. Forenklet fremstilling af dannelseshistorien (fra 1 til 4) for den undersøgte kalkspatåre. 1: Varme opløsninger indeholdende de viste stoffer (blandt andet kobber) afsætter kalkspat (vist med hvid) i en grå dolomit (lys blå). 2: En forkastning sker langs kalkspatåren og skaber en brecciering, knusning, (vist med sorte firkanter), af den centrale del af åren. 3: Senere opløsninger indeholdende andre stoffer afsætter zinkblende (vist med gul) i den centrale del af åren og langs små sprækker. 4: Kalkspatåren som den ser ud i dag. Vist med mørk blå ses en nedforkastet, oprindeligt højere liggende mørk dolomit.





Forenklet geologisk kort over Nordgrønland. Alderen på de forskellige formationer på kortet er vist med de samme farver på VARV's tidsspiral på bagsiden.