

# Geologisk kortlægning i Grønland – forudsætninger, metoder og resultater

NIELS HENRIKSEN



Henriksen, Niels 2002–01–31: Geologisk kortlægning i Grønland – forudsætninger, metoder og resultater. *Geologisk Tidsskrift*, hæfte 1, pp. 1–48, København.

Den geologiske kortlægning af Grønland omfatter udarbejdelse af oversigtskort i skala 1:500 000 og kortblade i 1:100 000. Oversigtskortlægningen er nu afsluttet og udgøres af en serie på i alt 14 kort, hvoraf de 13 er publiceret, og det sidste bliver udgivet inden for det næste års tid. Af kortbladene i 1:100 000 er der på baggrund af ca. 50 års arbejde indtil nu publiceret 56, men da hele Grønland kan inddeles i over 200 kort i denne skala, vil det tage mange år endnu, før hele Grønland er dækket med kort i denne målestok.

Grønlands geologiske opbygning afspejler en geologisk udviklingshistorie spændende fra Arkæikum til Kvartær. Det prækambriske grundfjeldsskjold med krystallinske bjergarter blev dannet ved en række arkæiske og palæoproterozoiske bjergkædefoldninger (orogener). Den følgende geologiske udvikling fandt sted langs randene af grundfjeldsskjoldet, med dannelse af meso- og neoproterozoiske samt palæozoiske sedimentære bassiner, der i Nord- og Nordøstgrønland blev påvirket af palæozoiske orogener. Den senere udvikling karakteriseres af devone – palæogene bassindannelser, der var nært tilknyttet kontinentopbrydningen mellem Europa, Grønland og Nordamerika. Specielt i den nordlige del af Østgrønland udvikledes en serie riftsystemer med tilhørende sedimentbassiner. Oceandannelsen mellem kontinenterne blev ledsaget af ekstrusion af palæogene plateaubasalter, der forekommer i grænseregionen mellem kontinent og oceanskorpe i både Øst- og Vestgrønland.

Den geologiske kortlægning er fra første færd blevet gennemført i et nært samspil med den geovidskabelige udforskning af Grønland, og gennem årene har hundredvis af danske og udenlandske geologer deltaget i arbejdet. Resultaterne af mere end et halvt hundrede års indsats fra Grønlands Geologiske Undersøgelse (GGU) / Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS) er blevet publiceret i op mod 1500 geovidskabelige afhandlinger, hvoraf knapt halvdelen er optaget i internationale publikationsserier.

I artiklen gives en oversigt over kortlægningsarbejdets forløb og udvikling samt en omtale af nogle af de videnskabelige resultater. De valgte eksempler belyser dele af arbejdet i de orogene komplekser i grundfjeldet i Vestgrønland, og beskriver to palæozoiske foldebælter og deres forland i henholdsvis Nord- og Nordøstgrønland. Endvidere omtales udviklingen i en region med ufoldede Kridt – Palæogene sedimenter og plateaubasalter i Vestgrønland.

*Niels Henriksen, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS), Thoravej 8, 2400 København NV. Forfatterens nuværende adresse: Birkevej 9, 3460, Birkerød. 1. december 2001.*

Den geologiske oversigtskortlægning af Grønlands isfri landområder blev afsluttet med felt sæsonen i 1999, hvor en kortlægningsekspedition udsendt af Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS) besøgte områderne Inglefield Land og Washington Land i Grønlands nordvestligste del ved Nares Stræde (Fig.1). Arbejdet var sidste fase af den systematiske oversigtskortlægning, der har som mål at dække hele Grønlands isfri landområde på ca. 410 000 km<sup>2</sup> med geologiske kort i målestoksforhold 1:500 000. Dette giver selvfølgelig en forholdsvis grov oversigt, men skalaen blev valgt, da kortlægningsprogrammet skulle iværksættes i 1964, for at få dækket hele landet inden for en overskuelig årrække. Resultatet af denne meget store kortlægningsindsats fore-

ligger nu i form af 14 fuldfarvede geologiske kort, hvoraf de 13 er publiceret. Endvidere er der i tilknytning til kortlægningen udarbejdet et meget stort antal engelsksprogede videnskabelige afhandlinger, hvoraf knapt halvdelen er publiceret i internationale tidsskrifter m.v. Den opsamlede viden om Grønlands geologiske opbygning er nu så omfattende, at den tåler sammenligning med den viden, man har om andre områder i den vestlige verden, og geovidskabelige data fra Grønland indgår i rigt mål i moderne tolkningsmodeller for den globale geologiske udvikling.

Når Grønland er blevet internationalt velkendt i

geologverdenen, er der to hovedårsager. For det første har Grønlands arktiske natur, med de ofte helt blottede fjeldsider, frembragt usædvanligt gunstige studiebetingelser, hvor feltarbejdet har kunnet finde sted i naturens eget laboratorium. For det andet har netop dette forhold ført til, at Grønlands geologi fra tidligste færd har været i international fokus, og gennem årene har hundredvis af danske og udenlandske geologer arbejdet i Grønland og publiceret deres resultater i både danske og internationale afhandlinger. Grønlands geologiske opbygning, med repræsentation af bjergartskomplekser fra hele det geologiske tidsspand fra tidligt i Arkæikum (for ca. 4000 mill. år siden) til Kvartær, har medført, at næsten alle tænkelige faglige discipliner har haft opgavemuligheder og interesseområder inden for den isfri landbræmme mellem Indlandsisen og havet omkring Grønland.

Kortlægningen i skala 1:500 000 kan i sagens natur kun anvendes som en oversigt, der giver brugerne (geologverdenen, mine- og olieselskaberne og samfundet generelt) en viden om den regionale geologiske opbygning med en opdeling i geologiske provinser. Med dette som udgangspunkt kan man identificere områder, hvor en mere målrettet indsats efterfølgende kan komme på tale. Den langt mere detaljerede basale systematiske geologiske kortlægning i Grønland har som mål at publicere kort i skala 1:100 000. Da grundlaget for disse kort imidlertid som regel er feltkartering i målestoksforholdet 1:20 000–1:50 000, udgør de publicerede 1:100 000 kort med deres basis af feltkort et egentligt arbejdsgrundlag for et videregående økonomisk og videnskabeligt arbejde. På nuværende tidspunkt er kun ca. 1/5 af det isfri landområde dækket af disse basiskort, og der vil givetvis gå mange årtier, før der foreligger en bred dækning med denne type kort. Det kommende fortsatte arbejde med den systematiske 1:100 000 kortlægning vil i den nærmeste fremtid kun blive gennemført i udvalgte områder, hvor der er en særlig økonomisk geologisk eller videnskabelig interesse for det. Det er imidlertid vigtigt at understrege, at GEUS fortsat fastholder sin forpligtelse til at arbejde med den geologiske kortlægning i Grønland som et af Undersøgelsens strategiske mål.

Foruden de to nævnte kortserier udarbejder GEUS en række specielle kort både i stort (mere detaljeret) og i lille målestoksforhold. En total oversigt over hele Grønland inklusive offshore områderne foreligger på et geologisk kort i skala 1: 2 500 000 (Escher & Pulvertaft 1995), hvortil der for nylig er udgivet en beskrivelse med en righoldig referenceliste (Henriksen et al. 2000). Med denne publikation fås et samlet overblik over Grønlands geologi samt en indgang til speciallitteraturen og baggrunden for kortlægningen.

## Grønlands geologiske opbygning

Grønlands prækambriske grundfjeldsskjold (Fig. 1) er domineret af krystallinske bjergarter, der opstod under en række arkæiske – palæoproterozoiske<sup>1</sup> bjergkædedannelser (orogeneser), før skjoldet stabiliseredes som en del af Laurentia (det nordamerikanske kontinent i Prækambrium). Grundfjeldet inddeles i tre forskellige provinser: 1) En arkæisk blok primært dannet for 3100–2600 mill. år siden, men med enkelte ældre segmenter, der er op til 3900 mill. år gamle. Denne blok er forblevet upåvirket af senere orogene deformationer og omdannelser. 2) Områder der opstod i Arkæikum, men som senere reaktiveredes og deformeredes under en regionalt udbredt palæoproterozoiske orogenese for ca. 1850 mill. år siden. 3) Palæoproterozoiske regioner der for det meste er opbygget af nydannede 2000–1750 mill. år gamle granitoide bjergartskomplekser.

Den efterfølgende geologiske udvikling i Grønland fandt hovedsageligt sted langs randen af dette arkæisk – palæoproterozoiske grundfjeldsskjold. Fra Mesoproterozoikum og gennem hele Phanerozoikum dannedes en række meget store sedimentære bassiner specielt i Nord- og Nordøstgrønland, hvor der stedvis akkumuleredes lagserier af 10–15 km tykkelse. To palæozoiske foldebælter deformerede dele af disse bassinaflejringer, nemlig det ellesmeriske foldebælte i Nordgrønland og det kaledoniske i Nordøstgrønland. Den kaledoniske foldning påvirkede også randen af grundfjeldsskjoldet og oparbejdede og inkluderede dele af dette i store vestrettede overskydningskomplekser.

Store sen-palæozoiske – mesozoiske sedimentære bassiner udvikledes langs kontinentranden på overgangen til de omgivende senere oceanområder i Nord-, Øst-, og Vestgrønland. Disse bassiners aflejringer findes i dag både på land og på den tilgrænsende kontinentsokkel. Bassinernes dannelse og udvikling var nært tilknyttet kontinent-opbrydningen og mange steder med udvikling af riftsystemer. Den

---

<sup>1</sup> Stratigrafisk nomenklatur følger Michelsen et al. 1996


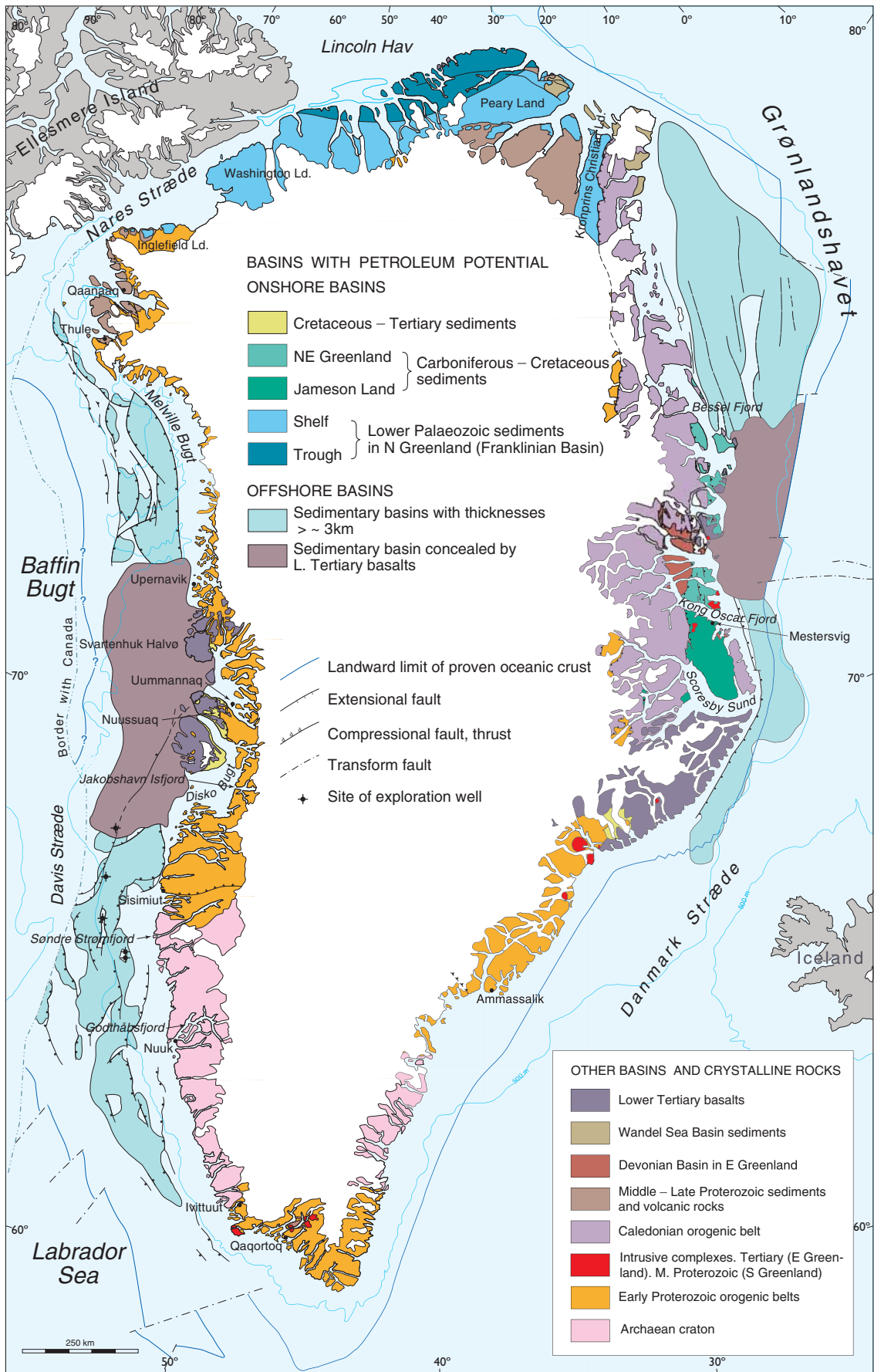


Fig. 1. Geologisk oversigtskort over Grønland. Kortet viser geologien i de isfri landområder samt forekomsten af sedimentære bassiner og basaltområder offshore. 500 meter dybdekurven er angivet i havområderne. Figuren er reproduceret fra en engelsksproget originalversion (Henriksen et al. 2000). Legendeenhederne, der er vist i Indlandsisområdet, omfatter bassiner med et oliegeologisk potentiale opdelt i bassiner beliggende i landområder og beliggende offshore. De øvrige bassinaflejringer og de krystallinske bjergarter er vist i legende-blokken nederst th. i figuren.



tidlige riftning i Østgrønland fandt sted i sen Devon til tidlig Karbon, og riftsystemerne udvikledes frem mod Nordatlantens åbning sent i Paleocæn. Ocean-dannelsen og åbningen mellem kontinenterne var ledsaget af ekstrusion af enorme serier af palæogene plateaubasalter, der forekommer i både Vest- og Østgrønland samt på kontinentsoklen.

I det meste af Kvartærtiden var Grønland næsten totalt isdækket, og den nuværende Indlandsis er en relikv fra den pleistocæne glaciation. Aflejringer fra den sidste interglacialperiode (Eem) findes dog både i Øst- og i Vestgrønland. Store mængder glaciale erosionsprodukter forekommer i dag som tykke lagserier af klastiske aflejringer på kontinentsoklen i havet rundt om Grønland.

## Kortlægningens hidtidige gennemførelse og nuværende status

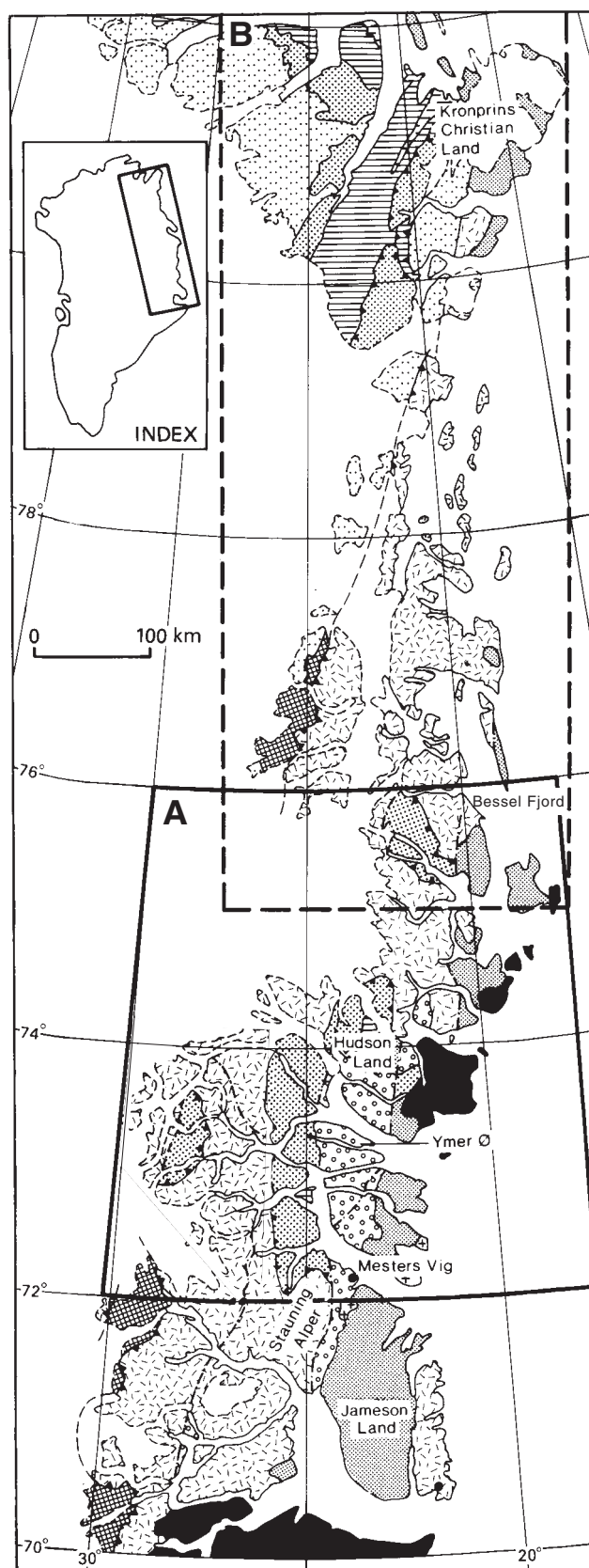
Den mere systematiske arealdækkende kortlægning af de isfri landområder i Grønland tog sin begyndelse med Lauge Kochs tidlige topografiske og geologiske kortlægning af Nordgrønland (1917–1923). Med sine observationer fra hundeslædeekspeditioner fik han sammenstillet en første samlet oversigt over Nordgrønlands geologi og udarbejdede en serie topografiske kort i skala 1:300 000 (Koch 1926, 1932). Denne imponerende indsats fortsatte Koch med arbejdet i Østgrønland, hvor »De Danske Ekspeditioner til Østgrønland« fra 1926–1958 foretog geologiske undersøgelser og kortlægning af regionen fra 70°N til 82°N. Undersøgelserne resulterede i udgivelsen af en geologisk kortbladsserie i skala 1:250 000 dækkende området 72°–76°N i Nordøstgrønland (Mestersvig – Bessel Fjord regionen, Fig. 2), samt en lang række emnerelaterede og regionale beskrivelser fra Nordøstgrønland (Haller 1971; Koch & Haller 1971). Ud over den systematiske samlede kortserie fra regionen 72°–76°N, blev der i Meddelelser om Grønland publiceret en række specialkort samt nogle geologiske og tektoniske oversigtskort over Nordøstgrønland i skala 1:500 000 og 1:1 000 000 (Haller 1970, 1983).

Grønlands Geologiske Undersøgelser (GGU's)

Fig. 2. Oversigtskort der viser arbejdsområderne for »De Danske Ekspeditioner til Østgrønland 1926–58« med deres publicerede geologiske kort:

A) 1:250 000 (Koch & Haller 1971);

B) 1:1 000 000 (Haller 1983). Geologiske enheder kan ses ved sammenligning med Fig. 21.





kortlægningsarbejde blev iværksat i 1946 med etableringen af en institution for statens geologiske undersøgelse af Grønland (Ellitsgaard-Rasmussen 1996). Fra begyndelsen tog kortlægningen sigte på at etablere en rekognosceringsviden om de geologiske forhold i Vestgrønland, men fra midten af halvtredserne indledtes en systematisk 1:100 000 kortlægning i Ivittuut-området (60°30'–61°30'N) i Sydvestgrønland. I løbet af de følgende årtier udbyggedes denne kortlægning gradvis til at omfatte store dele af det sydlige Vestgrønland, og fra 1965 udvidedes aktiviteten til også at omfatte rekognoscering i Nordgrønland, og endelig fra 1967 blev også Østgrønland inddraget, da Lauge Koch-ekspeditionerne her var blevet indstillet efter felt sæsonen i 1958. GGU fortsatte som selvstændig institution frem til 1. juni 1995, hvor der skete en sammenlægning med Danmarks Geologiske Undersøgelse (DGU) til institutionen Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS), der siden har videreført arbejdet i Grønland. I denne artikel betegnes aktiviteter, der spænder over såvel GGU som GEUS arbejde som GGU/GEUS opgaver.

Det isfri landområde i Grønland på 410 000 km<sup>2</sup> er ca. 9½ gang større end Danmark (Weng 1995) og ca. 1/3 større end de Britiske Øer (Storbritannien og Irland). Det er derfor indlysende, at det er en meget stor opgave at gennemføre en systematisk kortlægning af hele Grønland og opnå en detailindsigt på niveau med, hvad der eksisterer i de europæiske lande, hvor den geologiske kortlægning mange steder blev begyndt 100 år tidligere end i Grønland. Med den hidtidige fremdrift er der over en ca. 40-årig periode publiceret 56 geologiske kort i skala 1:100 000 (se side 23), og med den eksisterende strategiske målsætning og indsatskapacitet er der planer om fremover at fremstille 1–2 kort af denne type om året. For at dække hele Grønland er der behov for ca. 228 stk. 1:100 000 kort. Med de nuværende forudsætninger betyder dette altså, at der først i slutningen af dette århundrede vil være nået en kortlægningsmæssig dækning, der kan sammenlignes med andre lignende områder i den vestlige verden. Et helt andet spørgsmål er, hvorledes den geologiske kortlægning skal fortsættes, og hvilke teknologiske fremskridt der eventuelt vil kunne bidrage til en intensivering og forbedring af de hidtidige arbejdsmetoder. Selvom der i de senere årtier er opstået en række nye muligheder med remote sensing m.v., ser jeg dog for øjeblikket ingen afgørende alternativer, der kan erstatte det geologiske feltarbejde med mere instrumentorienterede metoder. Det må derfor forventes, at der vil gå mange år endnu, før en arealdækkende 1:100 000-kortlægning er gennemført i hele Grønland.

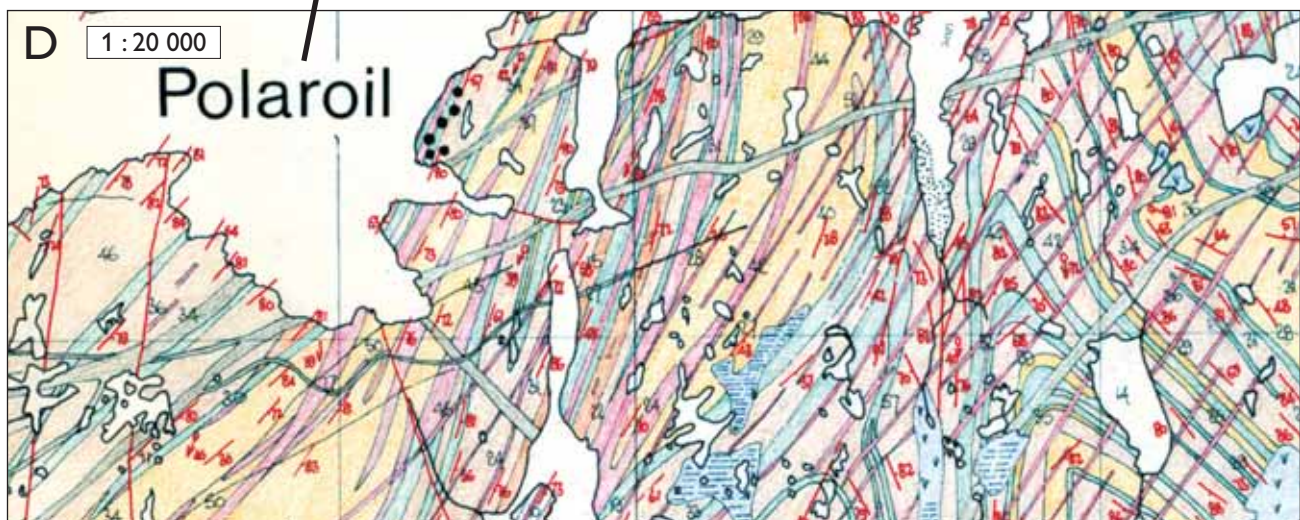
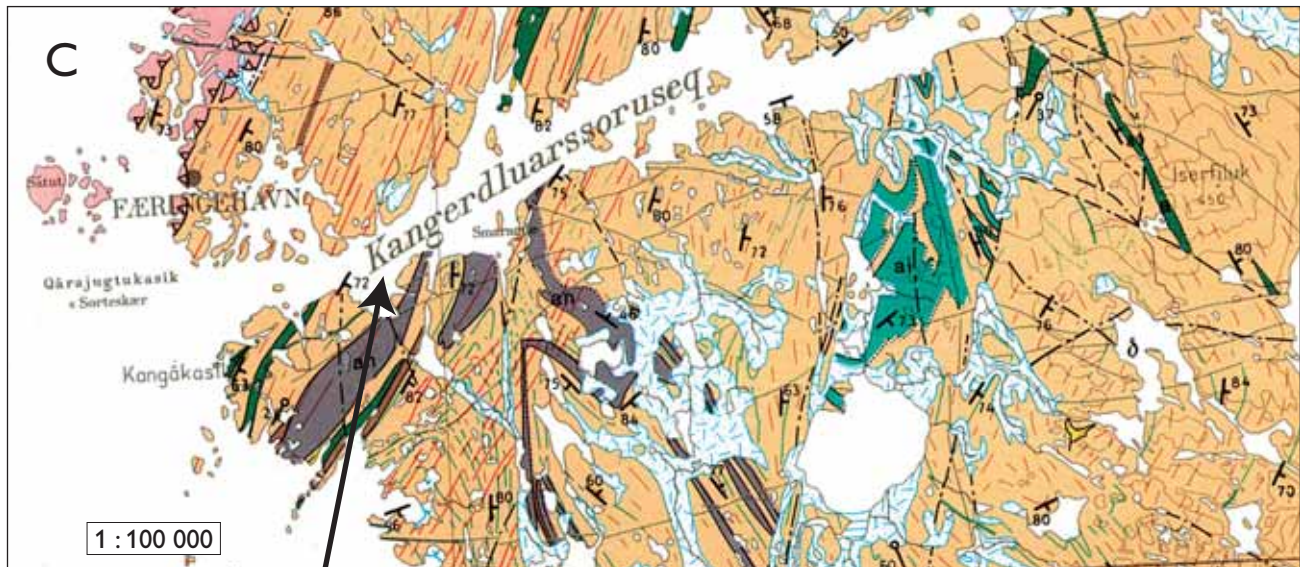
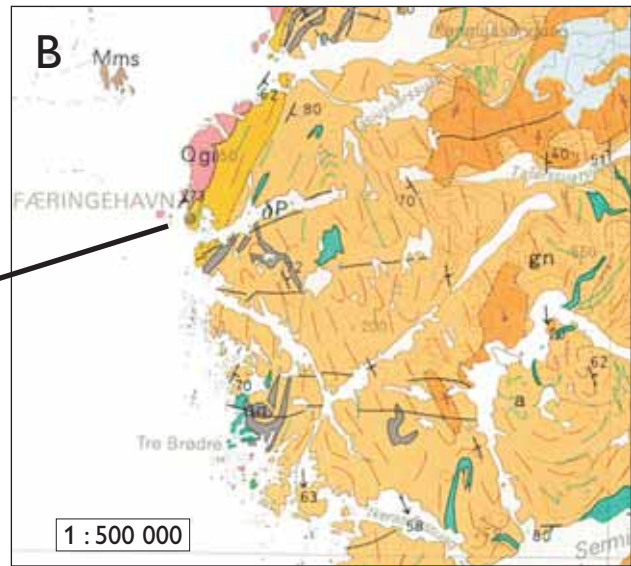
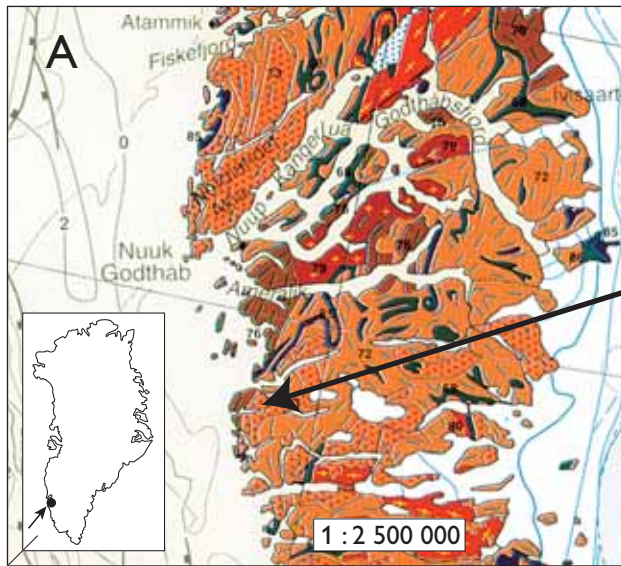
## Geologisk kortlægning

Behovet for en kortlægning af et lands geologiske forhold er baseret på det simple faktum, at man må vide noget om landets opbygning for at kunne forholde sig til anvendelsen og beskyttelsen af dets naturrigdomme og naturgivne bestanddele. Endvidere har et civiliseret og udviklet samfund behov for en videnskabelig viden om og indsigt i de materialer og processer, der ligger til grund for landets geologiske opbygning. Det er også nødvendigt at have en forståelse af relationerne til de omgivende nationer og den geologiske placering i en global sammenhæng. Specielt er mulighederne for fund af mineralske råstoffer og energiråstoffer (olie og gas), baseret på et solidt indblik i landets geologiske udvikling. Næsten alle lande gennemfører derfor geologisk kortlægning som en hovedaktivitet inden for den geologiske undersøgelses arbejdsprogrammer (Medioni 1989).

En geologisk kortlægning består i en registrering af de forskellige bjergartsenheders forekomst og udbredelse og i en sammentegning af resultaterne på kort. Differentieringen af bjergartsenhederne er sædvanligvis baseret på litologiske forhold, da det er synlige forskelle mellem forskellige bjergartstyper, der gør det muligt at skelne mellem dem ved kartering under feltarbejdet. Sondringen mellem de forskellige enheder følger de litostratigrafiske klassifikationsprincipper (Michelsen et al. 1996). Principielt kunne man også benytte andre inddelingskriterier f.eks. biostratigrafiske eller kronostratigrafiske, men som regel udarbejdes sådanne anderledes klassificerede korttyper som afledede andengenerations-kompilationer ud fra primære litostratigrafiske kort.

Den geologiske kortlægning tilstræber at være objektive registreringer af observationerne og burde dermed være »tidløs«, men forståelsen og tolkningen af observationerne afhænger af den til enhver tid aktuelle faglige videnstatus. Dette medfører, at der med tiden opstår behov for nye supplerende dataindsamlinger i takt med de justerede forudsætninger for selve kortlægningen. For eksempel har teorierne om pladetektonik, der vandt indpas fra begyndelsen af 1970-erne, leveret en ny overordnet ramme for forståelse og tolkning af de geologiske processer, hvilket har givet anledning til en nytolkning af den strukturelle udvikling af flere regioner i Grønland. I disse tilfælde har det været nødvendigt ikke blot at nyfortolke eksisterende data men også at genbesøge udvalgte nøgleområder, for at foretage en justerende kartering og indsamle nyt materiale til verifikation af de nye tolkningsmodeller. Den generelle erfaring fra geologisk kortlægning har vist, at det i takt med udbygningen af kendskabet til de geologiske processer vil være nødvendigt med mellemrum at ajourføre de







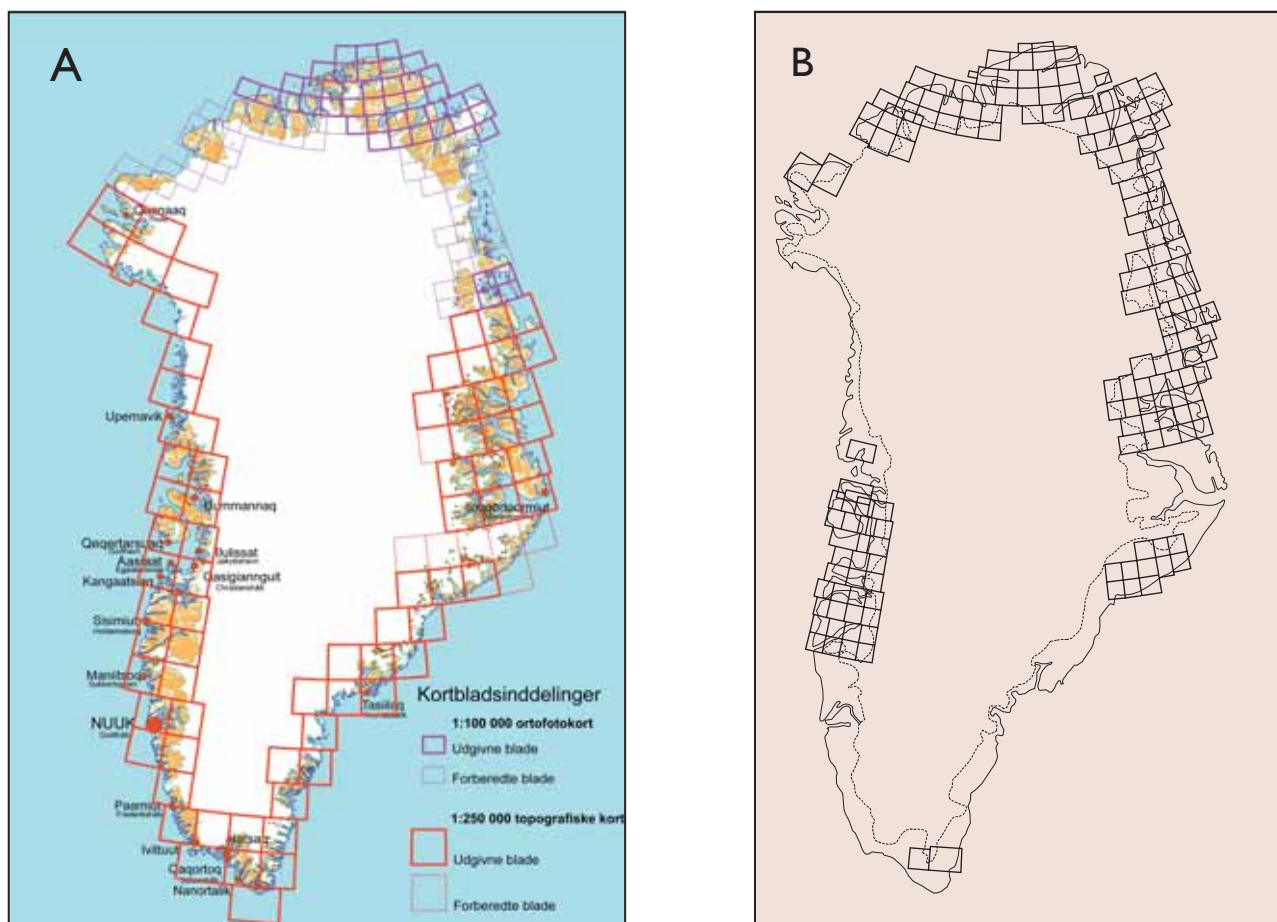


Fig. 4 A: Oversigt, der viser topografiske standardkort publiceret af Kort & Matrikelstyrelsen (KMS). Hovedserien omfatter farvetrykte kort i skala 1:250 000, medens dele af Nord- og Nordøstgrønland dækkes af en særlig serie sort/hvide ortofotokort i skala 1:100 000. Gengivet efter forlæg fra Anders Nielsen, KMS, 2001 ( se også Nielsen 2000). B: Oversigt over GEUS's topografiske kort i 1:100 000 udtegnet i GEUS's flyfotolaboratorium. Kortene er ikke publiceret, men sort/hvide tryk kan leveres på bestilling.

geologiske kort. Herefter kan nye kompilationer sammenstilles med udgangspunkt i de gamle data og med tilføjelse af den nyopsamlede viden. Det hidtidige mønster har været, at geologiske kort fra velundersøgte områder bør opdateres med intervaller

på 25–50 år. I Grønland vil behovet nok nærmest være ca. 50 år.

De publicerede geologiske kort fra Grønland er generelt sammentegnet på grundlag af en væsentlig større datamængde end den, der direkte fremgår af det trykte kort (Fig. 3). De systematiske kortblade i skala 1:100 000 er kompileret fra feltkort, der som regel er karteret i 1:20 000 eller 1:50 000, og oversigtskortene i skala 1:500 000 er kompileret enten ud fra eksisterende publicerede 1:100 000 kortblade eller fra feltdata, der er sammentegnet på topografiske kort i 1:100 000. De samme forhold gælder for de forskellige specielle kort med varierende målestoksforhold fra 1:250 000 til detailkort i f.eks. 1:10 000 eller større. Det må imidlertid erkendes, at dataintensiteten er meget varierende selv inden for samme kortserie og endda ofte inden for samme kortblad. Dette kan skyldes logistiske betingelser og terrænmæssige forhold, hvor visse

←  
Fig. 3. Udsnit af fire kort fra samme region syd for Nuuk i Vestgrønland der viser, hvorledes informationsmængden afhænger af målestoksforholdet: A) 1:2,5 mill.; B) 1:500 000; C) 1:100 000 og D) 1:20 000. Området omfatter en del af det arkæiske grundfjeldsskjold, der domineres af forskellige typer gnejser (vist med gullige og brunlige farver) og granitoide legemer (lys rødlige farver) med indhold af amfibolitiske bånd (grønne farver) samt gabbroanorthosit-enheder (mørke brunlige farver i A–C). Kortene A–C er publicerede, medens D) er et uredigeret og upubliceret rentegnet feltkort (reproduceret efter A: J.C.Escher & Pulvertaft 1995; B: Allaart 1982; C: Chadwick & Coe 1983; D: Sharpe 1973).

områder med f.eks. alpint landskab og relief i praksis gør det uoverkommeligt at dække området med en datatæthed, der svarer til målestokforholdets teoretiske krav. De publicerede kort er derfor som regel forsynet med et indexkort, der angiver, hvorledes karteringen er gennemført og dermed også viser, hvordan datatætheden varierer inden for samme kortblad.

Ved den systematiske kortlægning til kortbladene i 1:100 000 i de sydlige dele af Vestgrønland, hvor fjeldet har et moderat relief, har det som regel været muligt at færdes til fods over det meste af de kortlagte områder. Her har de kortlæggende geologer gennemtravet hvert sit karteringsområde, og som regel har hvert tomandshold anvendt to feltsæsoner (i alt ca. 4 måneder) til at kortlægge et areal på ca. 250–400 km<sup>2</sup>.

Ved feltkartering i målestoksforholdet 1:20 000 registreres karteringsenheder, f.eks. gangformede intrusioner, ned til en bredde af ca. 10 m, svarende til en strektykkelse på 0,5 mm i denne skala. Det er dog den karterende geologs eget ansvar at vurdere, hvilke elementer der tages med, og til tider medtages f.eks. gange ned til få meters tykkelse, hvor de er vigtige for forståelsen af forholdene, også selvom de dermed bliver overrepræsenteret rent grafisk. Helt generelt må det konstateres, at hvert kortblad har sin egen tilblivelseshistorie, hvorfor en mere dybtgående analyse af kortindholdet forudsætter en vurdering af karterings- og kompilationsgrundlaget.

Oversigtskortene i skala 1:500 000 er sammentegnet på meget forskelligt grundlag, og deres informationsindhold er derfor meget varierende. Da det blev besluttet at iværksætte arbejdet med oversigtskortlægningen, blev der fra begyndelsen givet nogle meget snævre tidsrammer for gennemførelsen af arbejdet med de først fire kort fra Vestgrønland (kort nr. 1–4, se side 19). Udgangspunktet var en serie eksisterende kortblade i 1:100 000 fra det sydlige Vestgrønland og Sydgrønland samt forskellige spredte rekognoscerings- og detailkort fra de nordlige områder. Alle de øvrige omtrent ukendte områder – der omfattede mere end 2/3 af det samlede areal – skulle kortlægges af nogle få geologer, dels ved et kutterstøttet feltarbejde i kystzonerne og dels baseret på en intensiv foto-geologisk tolkning af indlandsområderne. Kun i dele af det sydlige Vestgrønland mellem Godthåbsfjord (64°N) og Søndre Strømfjord (66°30'N) blev der gennemført en helikopterstøttet rekognoscering. Resultatet, som det nu foreligger i form af de publicerede kort fra Vestgrønland, afspejler tydeligt disse korts heterogene og stedvis mangelfulde grundlag. Der er derfor nu behov for en opdatering af visse dele af disse korts indhold, specielt i de store indlandsområder, der ikke blev dækket af feltarbejde i første omgang. Fra Scoresby Sund regionen i Østgrønland

blev der fra 1968 til 1972 gennemført et kortlægningsprojekt, der resulterede i såvel en fuldt dækkende serie kortblade i 1:100 000 som et oversigtskort (nr. 12), der blev sammentegnet på grundlag af kortbladene. Dette oversigtskort blev det første, hvor der fra begyndelsen var planlagt en samordning mellem målsætningen for de to systematiske kortserier.

Med erkendelsen af nogle af de første oversigtskorts delvis mangelfulde karteringsgrundlag gennemførtes i perioden mellem 1975 og 1998 en mere målrettet, men også betydeligt mere krævende indsats for de resterende ni oversigtskort. Der blev etableret en række flerårige projekter for arbejdet i hvert af de forskellige indsatsområder, og til hvert projekt blev der i de fleste tilfælde sikret en bemanning med 10–15 geologer pr. sæson og givet fuld logistisk støtte med bl.a. helikoptere. Resultatet af denne mere intense indsats blev en serie kort, hvis indhold er fuldt dækkende for de nutidige krav til kort med dette målestoksforhold, og det må forventes, at dette vil være gældende en lang årrække fremover.

Detaljeringsgraden i de anvendte feltkort i skala 1:100 000, der er brugt til kompilation af oversigtskortene, skulle teoretisk medføre mulighed for at medtage enheder ned til en dimension på ca. 50 meter. I praksis er det dog sådan, at det under feltarbejdet ikke har været fysisk muligt at komme rundt i alle delområder i en sådan detalje. Andre steder inden for kortene har fotogrammetriske metoder gjort det muligt at følge laggrænser på enheder helt ned til ca. 10 meters tykkelse. Det må derfor også her erkendes, at grundlaget for kortinformationen er noget heterogen og afspejler de varierende forhold for dataindsamlingen. Generelt er det dog sådan, at 1:500 000 kortene nr. 5–14 (se side 20) kan betragtes som pålidelige i den publicerede målestok, der indebærer en geometrisk opløsning på ca. 250 meter i naturen.

Alle publicerede kort er sammentegnet af en 'kompilator', der har haft ansvar for at sammenstykke et helhedsbillede ud fra en række enkeltbidrag fra kollegers kartering af delområder. Dette kompileringsarbejde har indebåret en samordning, homogenisering, forenkling og fortolkning af ofte 10–20 geologers feltdata, hvilket i sig selv ikke er nogen nem opgave. Endvidere har kompilatoren skullet sikre, at forlægget opfyldte GGU/GEUS' geofaglige standarder og tekniske krav. Kompilationsprocessen har derfor medført, at primærdata måtte justeres, og at detaljer ikke har kunnet medtages af skalamæssige hensyn. GEUS har derfor opbygget et kortarkiv, der også indeholder ikke-publicerede feltkort med geologernes oprindelige observationer, således at data ikke er gået tabt, selvom de ikke direkte er blevet publiceret.



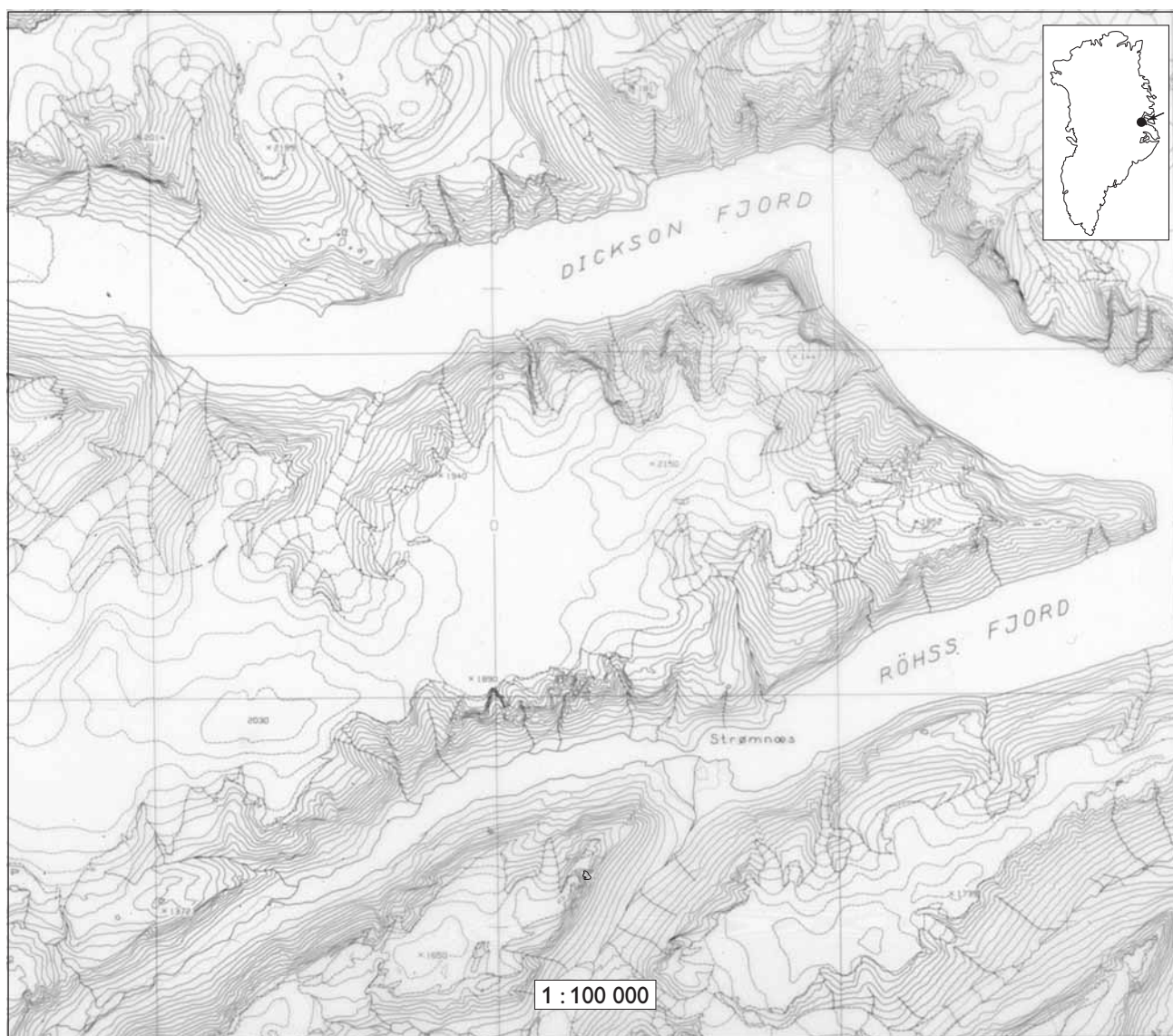


Fig. 5. Udsnit af topografisk kort i skala 1:100 000 udtegnet af GEUS. Indre fjordzone af Keiser Franz Joseph Fjord regionen (ca. 73°N), Nordøstgrønland. Kortet er her vist i ½ størrelse. Kortet viser kystlinier, isgrænser, elve og søer. Højdekurveakvidistancen er 100 meter.

## Forudsætninger

En væsentlig forudsætning for den geologiske kortlægning er eksistensen af topografiske kort i en passende målestok til den foreliggende opgave. Grønlands topografiske kortlægning henhører under Kort & Matrikelstyrelsen (KMS), der i 1989 blev dannet ved sammenlægning af Geodætisk Institut (GI), Søkortarkivet og Matrikeldirektoratet (Nielsen 2000). Siden 1926 har målsætningen for den topografiske kortlægning af Grønland været at dække hele landet med kort i skala 1:250 000 (Fig. 4A). Selvom disse kort er gode til mange formål, opfylder de i de fleste tilfælde ikke geologernes behov for topografiske detaljer. Ved si-

den af de generelle kort har GI dog også udarbejdet forskellige mere detaljerede kort i skala 1:20 000 og 1:50 000 over dele af det sydlige Vestgrønland samt over skærgårdsområder i Vestgrønland, der er af interesse for sejlads i indenskærsruterne. Begge disse detailkorttyper blev i de tidlige år anvendt under den geologiske kortlægning. I nyere tid har KMS også udarbejdet en række ortofotokort i 1:100 000 fra Nordgrønland, men disse kort er først blevet tilgængelige efter, GGU/GEUS har afsluttet sit arbejde i denne region. Generelt må det derfor konstateres, at KMS's kortgrundlag kun i et vist omfang har kunnet opfylde GGU/GEUS' behov for topografiske kort som grundlag for de geologiske kortlægningsopgaver, der har

været programsat og er blevet gennemført. Gennem hele forløbet har der dog eksisteret et godt samarbejde mellem KMS og GEUS, hvilket har resulteret i udveksling af data, og i fællesskab er der udarbejdet et topografisk grundlag for et oversigtskort i skala 1: 2 500 000 over hele Grønland.

GGU/GEUS's behov for topografiske kort ud over, hvad KMS har kunnet stille til rådighed, har derfor måttet sikres af GGU/GEUS selv. Gennem årene er der derfor på fotogrammetrisk grundlag udtegnet en stor mængde topografiske kort i Undersøgelsens eget flyfotolaboratorium samtidig med, at der er foretaget en fotogeologisk tolkning af billederne. Udtegningsarbejdet er foretaget i nært samarbejde med KMS med anvendelse af flyfotografier og punktgrundlag herfra. Hovedparten af de udtegnede kort er udarbejdet i skala 1:100 000 med en kurveækvidistance på 100 meter (Fig. 5). Grundlaget er sort/hvide lodbilleder, hvoraf de fleste er fra en serie med billeder i målestoksforhold 1:150 000 (Bengtson 1983). GGU/GEUS' egne topografiske kortudtegninger i skala 1:100 000 dækker nu ca. 60% af hele det isfri landområde (Fig. 4B). Disse kort anvendes kun til de geologiske kortlægningsprojekter, og de indgår som topografisk grundlag for de publicerede geologiske kort, men de publiceres ikke som selvstændige topografiske kort.

## Flyfotografier

Grønlands arktiske klima medfører, at der i fjeldet kun findes et meget begrænset pletvist udbredt vegetationsdække, der primært er koncentreret i dalområder og næsten udelukkende består af planter i op til 10–50 cm's højde. Kun i det sydligste Grønland findes bevoksning med små træer og buske i spredte lavtliggende lokalområder. Skærgårdsområderne og højfjeldet er næsten helt vegetationsfri, og efter Kvartertidens næsten totale isdækning indtil for ca. 10.000 år siden ligger de nu isfri landområder blottet med et ungt og umodent erosionssnit med hyppige isafhøvede overflader. Blotningsgraden i Grønland er med andre ord meget høj, mange steder mere end 50% i gennemsnit, hvilket skal sammenlignes med f.eks. områder i Skandinavien, hvor blotningsgraden hyppigt kun er få procent i gennemsnit, bortset fra i højfjeldet. Det er derfor åbenbart, at mulighederne for geologiske undersøgelser og kortlægning i Grønland er yderst gunstige, således at man umiddelbart kan se og registrere mange forhold – f.eks. laggrænseforløb – selv på afstand med kikkert. Dette faktum udnyttes i vid udstrækning ved fotogeologiske studier, primært gennem udtegnings af geologiske data,

der tolkes fra forskellige typer flyfotografier. Disse fotogeologiske arbejdsmetoder anvendes lige fra planlægningsfasen, gennem feltarbejdsforløbet og ved den afsluttende kortkompilation og dataregistrering. Gennem årene er der i samarbejde med kolleger ved Institut for Landmåling og Fotogrammetri (ILF), Danmarks Tekniske Universitet (Dueholm & Pedersen 1992) og ved Geologisk Museum, Københavns Universitet (A.K. Pedersen & Dueholm 1992) udarbejdet fotogrammetriske metoder til tolkning og udtegnings af geologisk information fra forskellige typer af flyfotografier, især skråbilleder taget med håndholdte kameraer. I dag råder GEUS over en digitalt baseret udtegningsfacilitet, og ved DTU arbejdes der også fortsat med enkelte specielle udtegningsopgaver. De fotogrammetriske metoder er en afgørende forudsætning for en rationel gennemførelse af alle de nutidige kortlægningsprojekter i Grønland næsten uanset det valgte målestoksforhold.

Hele Grønland er dækket af sort/hvide flyfotografier såvel skråbilleder som lodbilleder (Fig. 6). De sidste er taget i serier i forskellige generationer. En tidlig serie fra 1950–60 er taget fra en flyvehøjde på ca. 8 km med et kamera, der giver billeder med et målestoksforhold på ca. 1:40 000–1:50 000. En nyere generation af lodfotografier fra 1978–1984 omfatter supervidvinkeloptagelser fra ca. 14 km's højde, hvilket giver billeder med et målestoksforhold på ca. 1:150 000. Denne sidste billedserie dækker alle Grønlands isfri landområder som regel med billeder af en meget høj kvalitet. Hvert billede dækker et område på ca. 35×35 km, og på grund af den meget store flyvehøjde er fortegningerne små i billedernes centrale dele og moderate i randzonerne. Ved stereoskopisk betragtning med 60% billedoverlapning kan man tolkningsmæssigt arbejde med et arealudsnit på ca. 20×30 km ad gangen. Dette er meget fordelagtigt, da der opnås et godt overblik samtidig med, at man får en relativ høj udtegningshastighed med en acceptabel detaljeringsgrad for en regional kortlægning. Med flyfotografier af en høj billedkvalitet fra denne serie opnås opløsningsmuligheder ved fototolkningen, der svarer til, at man kan identificere objekter ned til nogle få meters størrelse på jorden. De nye supervidvinkelkamera-optagelser dækker hver ca. 9 gange så store områder som de ældre 1:50 000 billeder, og i praksis er det derfor de nyere billeder, der anvendes i udtegningsinstrumenterne ved de arealdækkende kortlægningsopgaver bl.a. til de topografiske kort i 1:100 000 (Fig. 5). Til feltarbejdet er 1:150 000 billeder for små, så her må der arbejdes på billeder i en større målestok, enten fra 1:50 000 serien eller på forstørrelser fra de forskellige typer billeder.

Udtegnings fra flyfotografier foregår i fotogrammetriske udtegningsinstrumenter, hvor man med



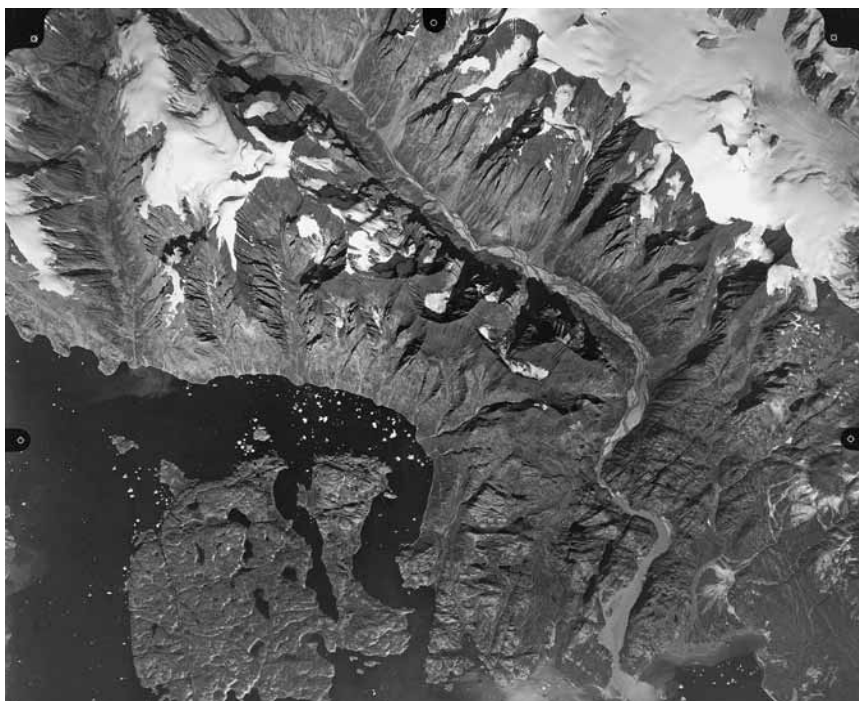


Fig. 6. Eksempler på flyfotografier fra KMS. Lodbillede fra 1:150 000 serien (Rute 878 H, billede nr. 747) og skråbillede sammensat af to billeder (Rute 650, nr. 2973 og 2975) set mod VNV. Både lodbillede og skråbilleder viser samme område af Milne Land og Danmark Ø (ca. 70°30'N) i Scoresby Sund regionen, i det centrale Østgrønland (copyright: Kort & Matrikelstyrelsen).



opsætning af samhörørende billeder med overlap kan opnå stereoskopi, således at terrænet kan betragtes som en tredimensionel model. Det bliver herved muligt at registrere og udmåle alle de elementer, der kan ses i billederne, idet hver enkelt observationspunkt i den tredimensionale model kan koordinatbestemmes i 3 retninger ( $x$ ,  $y$ ,  $z$  – svarende til to horisontale og en vertikal dimension). De enkelte billeders absolutte rumlige placering i forhold til et geodætisk referencesystem (WGS 84, UTM projektion) er i forvejen bestemt af KMS, og ud fra dette er det muligt at beregne alle observationspunkters koordinater, med angivelse af nordlig bredde, vestlig længde og højde i meter. Der anvendes en UTM-projektion

(Universal Transvers Merkator), og nøjagtigheden for det enkelte punkt ved udtegningsmetoden svarer til nogle få meter på jorden.

Igennem den første ca. 25-årige periode, hvor GGU har benyttet fotogrammetriske udtegningsmetoder, er arbejdet blevet udført i et analoginstrument (Kern PG-2) baseret på anvendelse af mekanisk-optiske metoder, medens registrering og plotning af data er foregået digitalt. Ved den analoge metode betragter man i instrumentet (Fig. 7A) to samhörørende diapositivkopier af de optagne flyfotografier gennem et sæt kikkertagtigt opsatte okularer, et til venstre og et til højre øje. Ved hjælp af et målemærke i billedfeltet kan man følge og manuelt mekanisk få udtegningsmetoden



Fig. 7. Fotogrammetriske udtegningsinstrumenter ved GEUS's flyfotolaboratorium.

A: Kern PG-2 analog-instrument med plotterbord.

B: Arbejdsplads ved Leica/Helava digital-instrument med to skærme og »mus-installation«; computerenheden ses ikke. Skærmen til venstre benyttes til stereoskopiske afbildning af to flyfotografier, medens skærmen til højre afbilder resultatet af udtegningen af topografien og den geologiske tolkning. Ved en plotning af sammentegningen kan man anvende det samme plotterbord, som er vist med PG-2 instrumentet, men oftest anvendes data fra denne type »udtegninger« primært digitalt.

ske objekter, f.eks. laggrænser og samtidig få deres rumlige placering registreret digitalt. Den analoge udtegningsmetode med de ældre mekanisk-optiske instrumenter er nu ved at blive afløst af en ny metode med nye instrumenter, der helt er baseret på anvendelse af digitale principper, hvor udtegningsinstrumentet er afløst af en computerenhed, og hvor billedbetragtningen foregår på en skærm (Fig. 7B). Den stereoskopiske effekt opnås ved hjælp af polarisering. Venstre og højre billede vises skiftevis (60 Hz) på samme skærm men således, at det ene er vandret og det andet lodret polariseret. Modellen betragtes med briller, der alene tillader vandret, henholdsvis lodret polariseret lys til det enkelte øje. Billedernes informationer kan herved differentieres, selvom de afbildes overlappende på samme skærm. Informationen fra flyoptagelserne omsættes til digitale data ved, at de enkelte flyfotografier bliver skannet med en pixelstørrelse på f.eks. 14  $\mu$  svarende til ca. 2 m på jorden i 1:150 000 billederne. Der arbejdes med sort/hvide billeder, og ved skanningen sondres der mellem 256 gråtoner i pixelenhederne. Den skannede version af billederne gengives på en skærm med tilstrækkelig klarhed og skarphed til, at betragteren kan gennemføre sin analyse. Med den nuværende teknologi er synsindtrykkene fra de analoge optiske betragtnings-systemer dog stadig mere distinkte end fra de skannede fotografier. Når det alligevel er en fordel at anvende de digitale metoder, skyldes det, at det er betydeligt lettere at opstille de digitale billeder i instrumenterne, og at metoden er mere flexibel, bl.a. med hensyn til brug af forskellige billedtyper. Det er såle-

des muligt at kombinere udtegninger fra lodbilleder og skråbilleder. Endvidere er der muligheder for automatiske udtegningsprocedurer for f.eks. højdekurver, hvorved den samlede instrument- og operatørtid kan nedsættes betydeligt. Som sidste, men ikke mindst vigtige fordel, er der en mulighed for indbygning af en egentlig geologisk funktionalitet i det digitale system.

Til hjælp for den geologiske udtegning er der udviklet en række hjælpeprogrammer og procedurer, der kan anvendes til udmåling af forskellige planare og lineare strukturer, samt tolkning af forskellige lagplaners rumlige placering og forløb (Jepsen & Dueholm 1978; S. A. S. Pedersen 1981; Dawes 1987; Dueholm & Coe 1989; Dueholm & Pillmore 1989; Hougaard et al. 1991). Der er programmer til måling af strygning og hældning af planer, retning og dyk af foldeakser samt måling af forsætningsstørrelser ved forkastninger. Endvidere er der programmer til tolkning af skjulte lagplaners og forkastningsplaners forløb under f.eks. overdækkede områder, samt en række statistiske programmer til f.eks. gennemsnitsberegninger af strukturelle orienteringer m.v. Præcisionen ved udmåling af udeformede planare strukturer i instrumenterne er væsentlig bedre end det, der kan opnås ved direkte målinger i felten. F.eks. kan hældning og strygning af fladtliggende aflejringer måles med 1/10 grads præcision, hvilket kan være af stor betydning ved bassinanalytiske tolkninger af sedimentære aflejringer og ved vurdering af lavabænkens relative position i plateaubasaltområderne.

Flyfototolkningerne og udtegningerne herfra er



geometrisk særdeles præcise og er hyppigt langt bedre end geologernes plots fra direkte feltobservationer. Samtidig er udtegnning fra flyfotografierne arbejdsmæssigt rationelt, idet man på nogle få uger i et laboratorium kan dække samme areal, som man skal anvende en hel sæson på i felten. Det må dog understreges, at flyfototolkningen ikke kan erstatte feltarbejdet, men den kan afkorte og lette feltarbejdet, og den bidrager væsentligt til en forbedring af kortets geometriske præcision og generelle kvalitet.

Den nyere udvikling inden for den geologiske anvendelse af fotogrammetriske metoder indebærer, at det er muligt at kombinere fotoinformationer fra forskellige billedtyper, f.eks. vertikale flyfotografier, skråbilleder og billeder taget med håndholdte kameraer (Dueholm & Pedersen 1992 ; Dueholm et al. 1993). Der kan zoomes op og ned mellem de forskellige billedskalaer og dermed opnås en hidtil uovergået fleksibilitet til udtegnning af profiler, detailkort m.v., parallelt med at der foretages en arealdækkende geologisk kortlægning. De omtalte kombinationer af data fra forskellige typer billedoptagelser er nu primært baseret på den digitale fotogrammetriske arbejdsmetode.

## Feltarbejdet i praksis

Selvom et geologisk kort burde være objektivt og uafhængigt af, hvordan data er blevet indsamlet i praksis, må det erkendes, at de praktiske omstændigheder ved indsamlingen af feltdata som regel spiller en forholdsvis afgørende rolle for kortets indhold og kvalitet. Denne afhængighed skyldes primært de særlige arbejdsbetingelser i Grønland, hvor både klima og tilgængelighed ofte sætter snævre grænser for indsatsens udformning, og hvor det høje omkostningsniveau sætter grænser for dimensioneringen. Det geologiske feltarbejde i Grønland er hovedsageligt blevet gennemført ved udsendelse af ekspeditionsgrupper fra Danmark til feltarbejde inden for en bestemt region. Hver aktivitet er indgået i et projekforløb, der normalt har strakt sig over 2–5 år, med feltsæsoner af to–tre måneders varighed. Ekspeditionsgrupperne, der talte op til 40–45 personer pr. sæson, omfattede geologer, geologassistenter, hjælpepersonale med helikoptere, skibe og fly, samt materielfolk. Grupperne var, betinget af arbejdsområdernes beliggenhed, ofte totalt selvforsynende og kunne operere uafhængigt af støtte udefra, hvilket medførte, at feltarbejdet kunne gennemføres rationelt med en 100% udnyttelse af mulighederne i de korte feltsæsoner.



Fig. 8. Norseman hydroplan, der benyttedes af »De Danske Ekspeditioner til Østgrønland« efter Anden Verdenskrig. Fra Hofer 1957.

Når resultaterne af feltarbejdet og kortenes indhold og kvalitet varierer med forudsætningerne, skyldes det dels tidernes ændrede videnskabelige opfattelser af de geologiske processer og dels de givne praktiske muligheder for kortlægning og dataindsamling. Det er selvklaart, at Lauge Koch under sine hundeslæderejser i Nordgrønland i 1917–1923 i frost og sne kun havde begrænsede observationsmuligheder, især da landet også var mere end 90% snedækket på rejsetidspunkterne i forårs månederne. Under hans senere ekspeditioner til Nordøstgrønland 1926–1958 rådede han over et stort logistisk apparat med skibe og små fastvingefly, samt en række ekspeditionshuse i området (Haller 1971). I dette arbejde deltog en stor gruppe geologer i hver sæson, men til forskel fra GGU/GEUS' senere arbejde i de samme områder havde de ikke helikoptere i denne periode. Dataindsamlingen og kortlægningen under »De Danske Ekspeditioner til Østgrønland« foregik ved, at de enkelte hold blev fløjet eller sejlet ud til et tilgængeligt sted i deres arbejdsområde i bunden af en fjord eller ved en sø, og herfra foregik resten af arbejdet til fods. Geologerne havde rutinerede schweiziske alpinister med som assistenter, og det var assistenternes opgave at hjælpe med at bære lejre med forsyninger ind i land, så geologerne kunne opholde sig i arbejdsområderne i længere tid. Man færdedes primært i dalstrækningerne i de alpine områder, men også mange bjergtoppe blev bestegte både for at få observationer på vejen op og ned og for at komme i højden og få et overblik over områdets geologi. Denne på daværende tidspunkt naturlige arbejdsmetode gav selvfølgelig mange huller i kortlægningen især i de fjerneste indlandsområder, og der blev derfor foretaget en meget intens flyfotografering

med skråbilleder taget fra ekspeditionens egne små Norseman vandflyvemaskiner (Fig. 8). Fra Scoresby Sund (70°N) i syd til Bessel Fjord (76°N) i nord blev næsten alle fjordsider og dalstrækninger samt hele nunatakregionen gennemfløjet og fotograferet, medens området mellem 76°N og Nordostrundingen (81°39'N) blev fotofløjet i et mere åbent net. Under Lauge Koch-ekspeditionerne til Østgrønland blev der efter Anden Verdenskrig i alt optaget ca. 13.000 sort/hvide skråbilled-flyfotografier. Disse billeder har været en afgørende forudsætning for John Hallers imponerende kompilation af ekspeditionernes resultater til de geologiske kort i skala 1:250 000 og et geologisk rekognosceringskort i skala 1:1 000 000 over det nordlige Nordøstgrønland (Haller 1970, 1983; Koch & Haller 1971). Uden denne flyfototolkning ville det ikke have været muligt at sammenbinde de mange mere detaljerede observationer fra traverserne på jorden, og kun fordi John Haller evnede manuelt at overføre data fra disse skråbilleder til det eksisterende lidt mangelfulde topografiske kort fra Geodætisk Institut, lykkedes det at få sammenstillet et geologisk kortværk over dette afsides beliggende område i Østgrønland. De Danske Ekspeditioner til Østgrønland sluttede som sagt med felt sæsonen 1958, og kortene og beskrivelserne blev publiceret frem til 1983 (Haller 1971, 1983). Først i slutningen af 90'erne blev det kortlagte område i den sydlige del af Nordøstgrønland (72°–75°N) taget op af GEUS til fornyet kortlægning med feltarbejde i 1997–98.

## GGU's og GEUS's kortlægningsarbejde

GGU's kortlægningsarbejde begyndte i 1946 og er blevet fortsat siden da, med udsendelse af arbejdsgrupper til forskellige områder i Grønland hver eneste sæson frem til nu. Indtil 1965 koncentreredes GGU's aktiviteter udelukkende om Vestgrønland, men siden blev både Østgrønland og Nordgrønland inddraget i arbejdsprogrammet, således at GGU/GEUS blev en egentlig landsdækkende Geologisk Undersøgelse med ansvar for kortlægning over hele Grønland. Det første tiår efter Anden Verdenskrig blev benyttet til at indsamle en rekognosceringsagtig viden om vestkysten mellem Sydgrønland og den centrale del af Vestgrønland op til ca. 70°N (Disko Bugt–Nuussuaq regionen). Feltarbejdet var baseret på kuttertransport og jollesejls i fjordene, og kun i Nuussuaq området (70°N) var der en større aktivitet inde i landet (Rosenkrantz 1970). Her gennemførte det såkaldte »Nordhold« under ledelse af professor

Alfred Rosenkrantz stratigrafiske og palæontologiske undersøgelser i Kridt-Palæogen bassinets sedimenter, medens andre arbejdede med de palæogene basalter. Arbejdet i grundfjeldet mellem Disko Bugt (69°N) og Nuuk regionen (64°N) blev udført af det såkaldte »Sydhold«, hvis ledere i begyndelsen var professor Arne Noe-Nygaard og den norske professor Hans Ramberg. Et af de kortlægningsmæssige hovedresultater fra denne gruppe var publiceringen af GGU's første trykte regionalgeologiske kort, der var et rekognosceringskort over kyststrækningerne i regionen mellem Disko Bugt og Godthåbsfjord (Noe-Nygaard & Ramberg 1961, Fig. 9). Data var indsamlet ved båd-rekognosceringer langs hele kyststrækningen inklusive alle fjordene, medens indlandsområderne kun blev besøgt ganske få steder. Kortet og de forskellige afhandlinger, der publiceredes i tilknytning hertil, indeholder grundlaget for opdelingen af det prækambriske grundfjeldsskjold i denne del af Grønland med angivelse af en prominent orogengrænse i Søndre Strømfjord regionen (66°N) mellem de palæoproterozoiske Nagssugtoqider og den arkæiske blok syd derfor (Fig.1).

GGU begyndte den systematiske geologiske kortlægning i midten af 1950'erne for at få kortlagt regionen omkring Kryolitbruddet Ivigtut, der på daværende tidspunkt var Grønlands eneste producerende mine. Kortlægningen skulle danne fundament for Kryolitselskabets egne målrettede prospekteringsaktiviteter, men desværre lykkedes det ikke at finde andre kryolitforekomster. Derimod blev der gradvis opbygget en geologisk kortlægningseksperitise i GGU, der udvikledes yderligere i de følgende årtier.

Ved den totalt arealdækkende 1:100 000 kortlægning i den sydlige del af Vestgrønland er alle de kortlagte områder blevet undersøgt til fods med en observationstæthed, der på plateauerne svarer til ca. 300–1000 meter mellem traverserne afhængigt af forholdene. Laggrænser er blevet fulgt, og forekomster af særlige bjergarter er blevet underkastet mere detaljerede undersøgelser. De første år foregik indlandsarbejdet – f.eks. i Ivittuut – Nunarssuit regionen (60°30'–61°30'N) ved, at geologerne selv bar deres leje og udstyr op i fjeldet og ind i land. Under arbejdet boede de i spartanske letvægtsleje og levede af et selvkomponeret proviantmix, hvor hovedkriteriet for at komme med i rygsækken var, at det ikke vejede for meget. Dåser blev fravalgt, og bacon, ris, spagetti, suppeposer, havregryn, tømælk, brød og pålæg var i højsædet (vore dages frysetørret letvægtsproviant fandtes ikke dengang). Nogle geologer fremstillede i kystlejerne en egen pemmikan ved inddampning af en kød- og risstuvning, der så kunne oplødes med vand oppe i fjeldet og fortæres som aftensmad, ofte den samme ret hver aften.

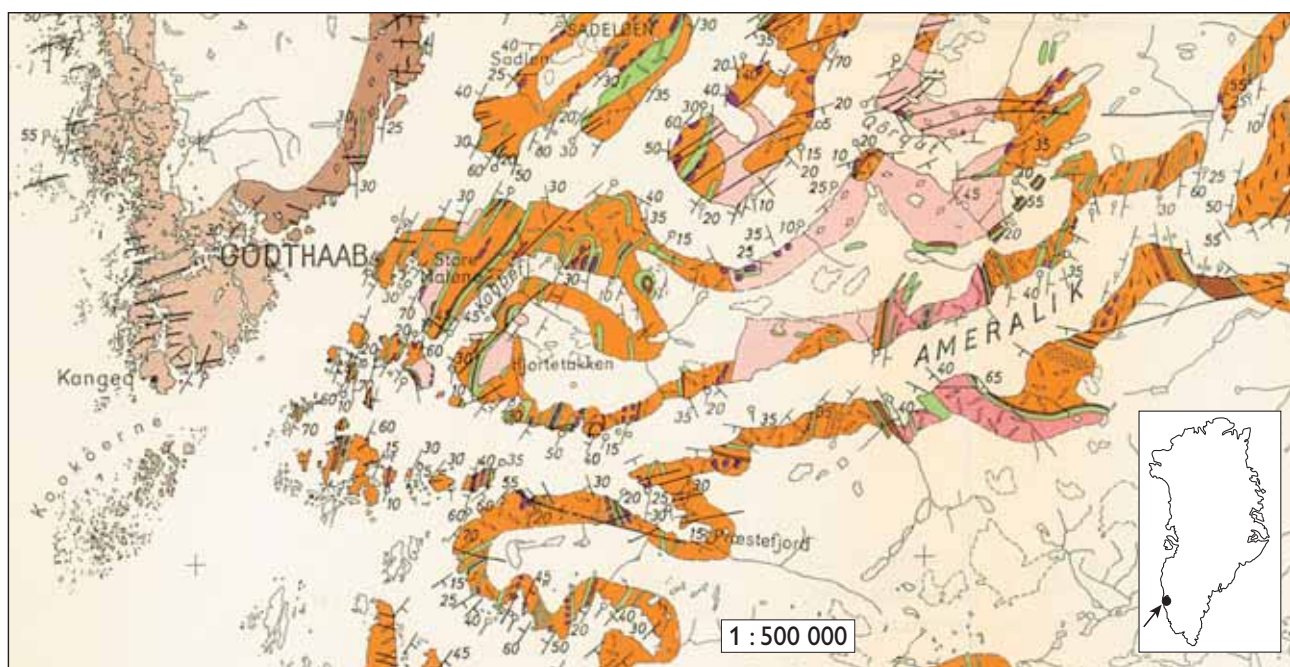


Fig. 9. Udsnit af GGU's først publicerede rekognosceringskort i skala 1:500 000, der var resultatet af de indledende regionale undersøgelser af grundfjeldet i det sydlige Vestgrønland. Det viste udsnit viser bandede og årede gnejser (gullige farver), granitoide legemer (lyse rødlige farver) og melanokratiske og hyperstenholdige gnejser (lyse brunlige farver); amfibolitbånd vises med grønne farver. Udsnittet viser dele af regionen omkring Nuuk (Godthåb) ved ca. 64°N (reproduceret efter Noe-Nygaard & Ramberg 1961).

Med indførelsen af helikopterne fra 1958 blev feltarbejdet meget mere effektivt, og det blev nu muligt at nå ind i ellers svært tilgængelige indlandsområder, så arealdækningen kunne føres helt ud i hjørnerne af områderne. Den tid, der tidligere skulle anvendes til dagevis at bære lejre ind i land og til at gå for at nå frem til de ønskede mål, kunne nu nås på få timer. Arbejdet var fortsat baseret på tomandshold, der var udvalgt på basis af deres faglige specialer, og hvor deltagerne havde ansvar for et givet areal eller en særlig problemstilling. Helikopterstøtten bestod primært i besøg med forsyninger, lejrflýtninger og returtransport af indsamlet prøvemateriale. Hvert hold fik efter behov flýtninger med 8–12 dages intervaller, og i praksis kom det til at betyde, at det daglige geologarbejde omkring feltlejrene kunne klares inden for gåafstande på op til 10–20 km pr. dag, og med moderate op- og nedstigninger i fjeldet på op til 400–800 meter. Det er mit skøn, at denne nye helikopterstøttede arbejds metode mere end fordoblede det samlede geologiske arbejdsudbytte for feltgrupperne som helhed. Hvad der måske var mere afgørende, er imidlertid, at kortenes kvalitet hermed kunne forbedres, da de generelt kunne gøres mere homogene og dækkende i alle dele af kortet.

Erfaringerne fra det helikopterstøttede 1:100 000-kortlægningsarbejde i det sydlige Vestgrønland kom

til at danne grundlag for den logistiske metodik, der udvikledes i forbindelse med tilrettelæggelsen og gennemførelsen af oversigtskortlægningen i 1:500 000 i de ubeboede og svært tilgængelige dele af Øst- og Nordgrønland. Logistikken var baseret på en opdeling i tomandshold med geologer, der i det meste af sæsonen opholdt sig i deres egne lette teltlejre i hver sit arbejdsområde (Fig. 10). Holdene skulle have jævnlige lejrflýtninger med 4–6 dages intervaller og have mulighed for at benytte helikopterne til at flyve rundt i terrænet og gøre observationer både fra luften og fra valgte landinger på jorden. På den måde kunne der etableres et observationsnet med detailstudier, der var gennemført til fods omkring lejrene og med forbindelse rekognosceringsdækning fra helikopterne af områderne mellem lejrene. Denne dækningsgrad (Fig. 11), kombineret med den udstrakte anvendelse af flyfototolkninger, har medført, at der er etableret et særdeles solidt fundament for disse oversigtskort over de øde regioner i Øst- og Nordgrønland.





Fig. 10. Helikopterbesøg i overskyet vejr ved en GEUS tomandslejr i Kong Oscar Fjord regionen i Nordøstgrønland 1998. Det er et krav, at lejrens samlede vægt og størrelse med personer og udrustning ikke overstiger helikopterens kapacitet på 350–400 kg.

## Arbejdsmetoder ved kortlægningen

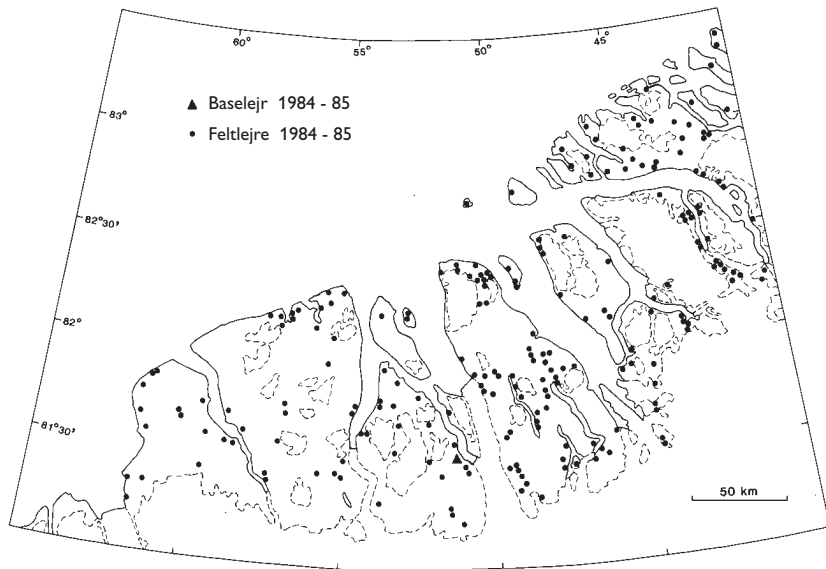
Ethvert kortlægningsprojekt begynder med en planlægningsfase, hvor opgavens faglige indhold og overordnede mål relateres til de logistiske forhold og de økonomiske forudsætninger. Feltarbejde i Grønland er meget bekosteligt, og især i de fjerntliggende ubeboede områder må der regnes med et omkostningsniveau, der er en størrelsesorden højere end i tilsvarende områder i f.eks. Europa, hvor der findes en infrastruktur. Det er derfor meget vigtigt at vægte »hjemmearbejdet« i alle faser af projektførelsen, både hvad angår forberedelserne forud for feltarbejdet og opfølgningen af resultaterne umiddelbart efter felt sæsonen, så eventuelle huller i undersøgelserne og nye problemer kan erkendes før den næste felt sæson. I et projektførelse får geologerne sædvanligvis kun mulighed for at genbesøge dele af tidligere karterede områder en enkelt gang inden for de 2–3 felt sæsoner, projektet forløber over. Forberedelserne tager altid udgangspunkt i den eksisterende viden om området. Ligesom i alle andre faglige discipliner bygger man på ethvert tidspunkt på resultaterne fra tidligere undersøgelser, og det er vigtigt at opsøge såvel publicerede som upublicerede gamle data og kort. Næste hovedpunkt er en præliminær fotogeologisk tolkning, der kan foretages enten samlet for hele regionen af nogle få GEUS-ansatte geologer eller af de enkelte geologer i deres egne områder. Med udgangspunkt i den faglige problemsammensætning tager projektlederen stilling til den faglige opdeling af opgaverne og sikrer, at der til projektet tilknyttes en række geologer, der har de nødvendige speciale-forudsætning

ger samt mulighed for at bidrage til de videnskabelige undersøgelser, der altid går hånd i hånd med kortlægningen. I langt den overvejende del af de gennemførte kortlægningsprojekter har ca. halvdelen af de deltagende videnskabelige medarbejdere været eksterne samarbejdspartnere fra danske og udenlandske universiteter og kollegainstitutioner, medens den anden halvdel har været GGU/GEUS-ansatte geologer.

Både under selve feltarbejdet og ved den efterfølgende bearbejdning af materialet afhænger arbejdsmetoderne af opgavesituationen. Da det geologiske emnespektrum i Grønland er så vidtfaavnende, som det er, har kortlægningsprojekterne gennem tiderne omfattet alle mulige aspekter af såvel »hård« som »blød« geologi (Fig. 12 A & B). Inden for det krystallinske grundfjeldsskjold har metamorf petrologi, strukturgeologi, magmatisk petrologi og isotopgeologi været de vigtigste forskningsdiscipliner. Inden for de palæozoiske foldebælter er disse discipliner blevet udbygget med sedimentologiske, stratigrafiske og palæontologiske undersøgelser af lagserierne i de sedimentære bassiner. Arbejdet i de øvre palæozoiske – kvartære lagserier har været domineret af sedimentologiske, stratigrafiske og palæontologiske undersøgelser, og kortlægningen af de palæogene basaltområder og intrusioner er blevet fulgt op med petrologiske og geokemiske analyser af de vulkanske dannelser suppleret med strukturelle studier af deres forekomstrelationer. Inden for hvert af de ovennævnte specialer er der adskillige underafdelinger, som er blevet tilgodeset gennem deltagelse af specialister. F.eks. er der til de palæontologiske opgaver differentieret mellem geologer, der har haft kendskab til særlige dyregrupper og sågar også til enkelte dyre-



Fig. 11. Oversigt over benyttede lejrpotioner for de geologiske tomandshold under feltarbejdet i forbindelse med oversigtskortlægningen af den centrale del af Nordgrønland 1984-85. Placeringen af ekspeditionens baselejr er også vist.



klasser og deres udvikling inden for bestemte tidsperioder.

Det geologiske fundament for kortlægningen og den videnskabelige bearbejdning har ændret sig en del gennem de 50 år, der er gået, siden GGU begyndte sit arbejde. Det er imidlertid altid blevet tilstræbt at gennemføre undersøgelserne så objektivt som muligt samtidigt med, at arbejdet har taget udgangspunkt i en opdateret viden svarende til »the state of the art«. Enhver tids geovidenskabelige synspunkter har dog præget arbejdet, f.eks. kan det nævnes, at diskussionen mellem »magmatikere« og »transformister« spillede en rolle for grundfjeldsgeologernes arbejde i 50'erne-60'erne. Dengang opfattede den første gruppe de fleste granitter som dannede ved intrusion af magmaer, medens den anden gruppe forestillede sig granitter opstået ved »in situ« omdannelser af en eksisterende bjergart, f.eks. fra et metasediment, ved diffusion i fast form (solid diffusion) af bjergartens bestanddele. Da der i grundfjeldet ofte kan iagttages glidende overgange mellem homogene granitter og bandede gnejser, var der rig anledning til diskussioner om deres oprindelse omtrent som diskussionen om, hvad der kom først hønen eller ægget. Det var dog primært de transformistiske synspunkter, der prægede de karterende geologers opfattelse på daværende tidspunkt, og det er helt givet, at en del af de interpreterede angivelser af grænseforløb mellem forskellige bjergartskomplekser har været farvet af, hvordan den kortlæggende geolog udlagde de genetiske relationer mellem bjergarterne.

Fremkomsten af de pladetektoniske teorier fra slutningen af 60'erne medførte selvfølgelig en gradvis ændring af, hvordan karteringsresultaterne skulle tolkes, og derigennem fik de nye opfattelser indfly-

delse på hvilke elementer, der blev vægtet og tilgodeset i kortlægningen. Samtidigt opstod og udvikledes muligheden for at foretage isotopgeologiske aldersbestemmelser, og disse to nye elementer i bearbejdning og tolkning af de geologiske kortlægningsdata medførte en drejning af arbejdsmetoderne til fordel for strukturgeologiske og isotopgeologiske studier. Resultatet heraf blev, at man nu kunne foretage en langt mere detaljeret analyse af orogenernes opbygning og udviklingsforløb. Dette førte derefter til, at man flere steder kunne påvise, at foldekæderne havde en kompleks multipel opbygning med et indhold af bjergartssegmenter ikke blot fra den sidste orogenese, men også fra flere tidligere bjergkædedannelser.

Også inden for de sedimentære aflejringsserier har den faglige udvikling sat sit stærke præg på de benyttede arbejdsmetoder. De tidlige undersøgelser var primært rene litostratigrafiske kortlægninger, der blev støttet af palæontologiske studier, men gradvist har arbejdet i disse områder udviklet sig til bassin-analytiske studier med vægt på forståelsen af den dynamiske udvikling og med vurdering af de sedimentologiske faciesvariationer. Senest er opgaverne i de sedimentære bassiner drejet i retning af sekvensstratigrafiske analyser, hvorved der naturligt bygges bro til fagområder, hvor potentialet for olie- og gasforekomster vurderes.



## Gennemførte kortlægningsopgaver

På nuværende tidspunkt findes følgende nyere serier af geologiske kort fra Grønland:

Geologiske kort (udarbejdet af GGU/GEUS samt af De Danske Ekspeditioner til Østgrønland)

skala	antal ved total dækning	antal udgivne kort	heraf antal kort med beskrivelse	publicationsår
a) 1:2 500 000	1	1	1	1994/2000
b) 1:1 000 000		1	1	1983
c) 1:500 000	14	13	5	1971–2001
d) 1:250 000		3 + 13	2	1965–1999
e) 1:100 000	228	56	16	1967–2001
f)	specielle kort i varierende målestoksforhold			

(når der er flere udgaver er kun den nyeste medtaget)

På figur 13A og B vises hvilke områder GGU/GEUS kortene dækker. De øvrige kort hidrører fra »De Danske Ekspeditioner til Østgrønland 1926–58« og omfatter en blok kort i skala 1:250 000 mellem 72° og 76°N og et kort i skala 1:1 000 000 fra den nordligste del af Nordøstgrønland mellem 76° og 81°N (Fig. 2). Hele dette område i Nordøstgrønland (72°–81°N) er senere blevet kortlagt igen af GGU/GEUS og indgår nu i serien af oversigtskort i skala 1:500 000.

Følgende kommentarer kan knyttes til de enkelte kortserier:

### a) 1:2 500 000 (GGU kort)

Oversigt over Grønlands geologiske opbygning indeholdende lito- og kronostratigrafiske data vedrørende de isfri landområder samt informationer om geologien under havbunden i de omgivende havområder tolket ud fra geofysiske data (J.C.Escher & Pulvertaft 1995). Kortet giver endvidere en oversigt over Indlandsisens højdeforhold, dens tykkelse og underlagets højdeniveau. Udtegningen af geologien i de isfri landområder er primært baseret på data fra oversigtskortene i 1:500 000.

← Fig. 12. Typiske arbejdsopgaver under det geologiske feltarbejde.

A: Sedimentologisk – og stratigrafisk profilopmåling.  
B: Indsamling af friske prøver fra granitoide bjergarter til radio-metriske aldersbestemmelser.

Der er nyligt udkommet en beskrivelse til kortet (Henriksen et al. 2000).

b) 1:1 000 000 rekognosceringskort fra Nordøstgrønland

(De Danske Ekspeditioner til Østgrønland)

Geologisk kort over Nordøstgrønland 75°–82°N (Haller 1983). Kortet blev sammmentegnet ud fra en meget begrænset mængde feltdata, og store områder er udelukkende kompileret fra tolkning af flyfotografier. Kortet, der blev publiceret sammen med en mindre beskrivelse, er ikke længere tidssvarende, og området er nu dækket af de nyere GGU/GEUS-kort i serien med oversigtskort i 1:500 000.

c) 1:500 000 oversigtskort (GGU/GEUS)

Serien omfatter i alt 14 kort, hvoraf 13 er publiceret medens et, hvorfra feltarbejdet er afsluttet, er under teknisk udarbejdelse (Fig. 13A). Publikation af det sidstnævnte kort er planlagt til 2002. Der foreligger publicerede beskrivelser til fem af kortene (Henriksen 1986, 1992; Kalsbeek & Garde 1989; Kalsbeek et al. 1990), og flere øvrige beskrivelser er under udarbejdelse. Et eksempel på kort fra denne serie vises i udsnit som Fig. 14A.

Kort nr. 1 og 2 fra Vestgrønland (Allaart 1975, 1982) er sammmentegnet ud fra eksisterende 1:100 000 kort suppleret med en båd- og helikopterstøttet rekognosceringskortlægning af regionen mellem Godthåbsfjord ved Nuuk (64°N) og Søndre Strømfjord (66°30'N) sydøst for Sisimiut i Vestgrønland (henholdsvis Kalsbeek et al. 1990 og Kalsbeek & Garde 1989). Da kort nr. 1 over Sydgrønland blev kompileret, var de sydligste og sydøstlige dele af Grønland kun dårligt kendt. Disse områder er senere blevet kortlagt, og der er derfor nu foretaget en nytolkning af hele regionen (Garde et al. 1999; in press – se side 28).

Kort nr. 3 og 4 fra Vestgrønland (A. Escher 1971; J. C. Escher 1985 a) blev begge kompileret fra et heterogent grundlag, hvor indlandsområderne de fleste steder blev udtegnede alene på basis af flyfotografier uden

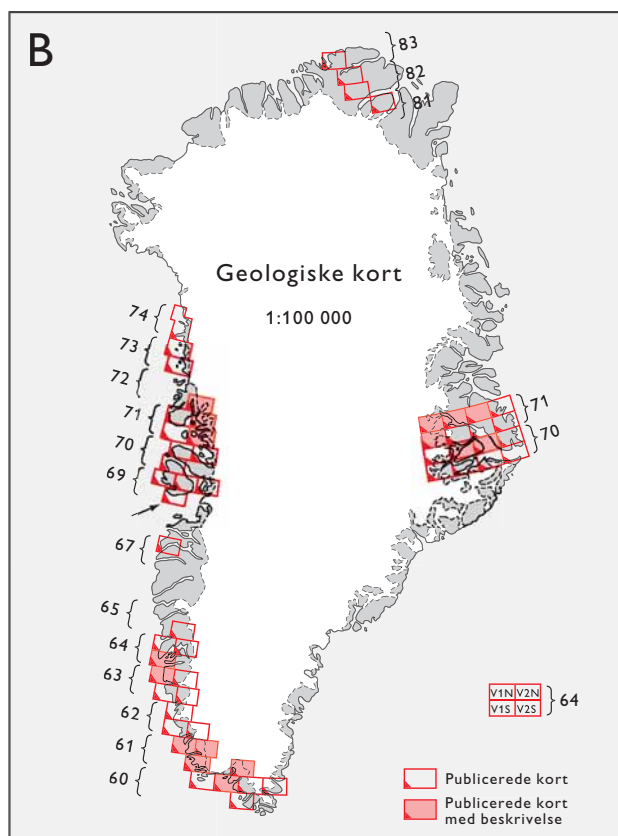
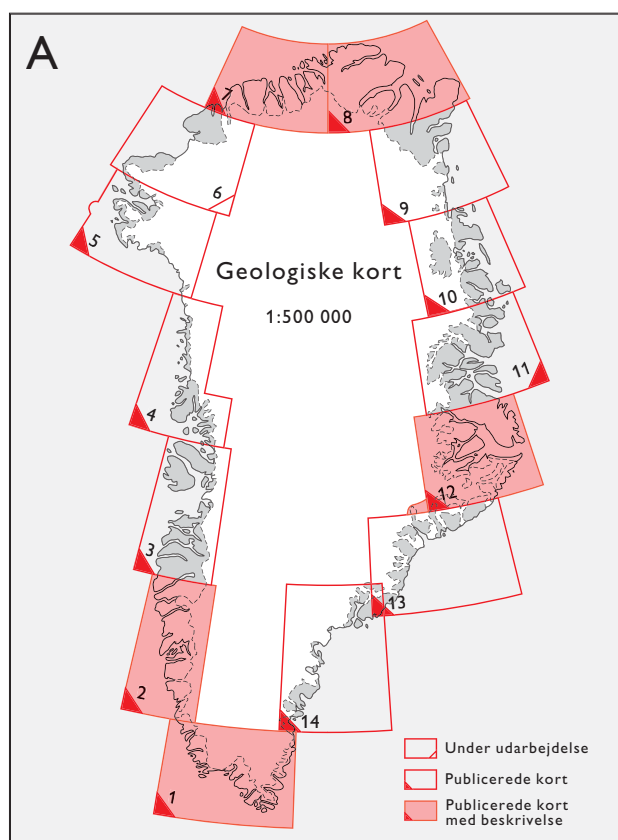


Fig. 13. Index der viser status for publikation af GEUS kortbladsserier.

A: 1:500 000 seriens oversigtskort med numrene 1–14.

B: 1:100 000 kortbladene, der betegnes med angivelse af placering i nordlig bredde og med et tal, der refererer til kortnummeret talt fra yderkysten og ind i land i henholdsvis i Vest- og Østgrønland, f.eks. 64 V.2 N (kort nr. to fra yderkysten mellem 64°30'–65°00' i Vestgrønland). Efter Dawes 2001.



feltobservationer. Kystområderne blev kortlagt ved sejlads langs kysterne og en stedvis rekognosceringsagtig kartering af småøer, landtanger og halvøer mellem fjordene. Arbejdet på begge kort blev gennemført uden helikopterstøtte. Nyere undersøgelser i specielt Disko Bugt – Nuussuaq regionen (omkring 69°N) har vist, at der er behov for en væsentlig revision af kort nr. 3. Fra Disko Bugt området foreligger der nu et revideret kort i skala 1:250 000 over grundfjeldsområderne mellem roden af Nuussuaq halvøen og Jakobshavn Isfjord (ca. 69°00'–70°00'N; Garde 1994). Kort nr. 4 (Upernavik Isfjord) fra Uumannaq-Melville Bugt regionen er kvalitetsmæssigt væsentligt bedre end kort nr. 3. Kortets sydlige del er baseret på en række feltkarteringer i 1:20 000 og 1:50 000, der er udtegnet i en serie 1:100 000 kort, medens den nordlige del er dækket af en detaljerig kutterstøttet kartering. Feltarbejdet blev gennemført i perioden 1962–1980, og der bliver næppe behov for en snarlig revision af dette kort.

Kort nr. 5 over Thule regionen blev kompileret på grundlag af en mangeårig vedholdende feltindsats i årene 1971–1980 af ganske få geologer, der med meget begrænset logistisk støtte og en ekstensiv fotogeologisk indsats har gennemført dette arbejde (Dawes 1991). Der foreligger en række beskrivelser af områdets geologiske opbygning med dets prækambriske grundfjeld og overliggende proterozoiske sedimenter og basiske vulkanitter (Dawes 1997), og der er planlagt udgivelse af en kortbladsbeskrivelse.

Kortene nr. 6–8 over Nordgrønland dækker hovedsageligt de sedimentære aflejringer fra det nedre palæozoiske franklinske bassin og længst mod øst det meste af det øvre palæozoiske – palæogene Wandel Hav Bassin. Kortene er resultat af en storstilet målrettet indsats, der med intervaller omfattede 6 felt-sæsoner i årene 1978–1999. Arbejdet er gennemført med fuld logistisk støtte med helikoptere og med deltagelse af 12–20 geologer pr. sæson. Hovedparten af geologerne har været tilknyttet kortlægningen, men en del andre geologiske opgaver f.eks. økonomisk geologiske, har også været inkluderet. Som resultat af denne indsats er der opnået et dybtgående kendskab til Nordgrønlands geologi, dokumenteret i en lang række afhandlinger. Det sidste karterede område længst mod vest (kort nr. 6) er ved at blive kompileret (Dawes et al. 2000), medens kortene fra områderne 7 & 8 er publiceret (Bengaard & Henriksen 1986; Henriksen 1989) med tilhørende beskrivelser (Henriksen 1992). Kortlægningen af Nordgrønland er foretaget ved en udstrakt anvendelse af fotogeologiske metoder bl.a. fordi Nordgrønlands geologi, med de udbredte fladtliggende sedimentserier, er særdeles velegnede for fotogeologisk arbejde.

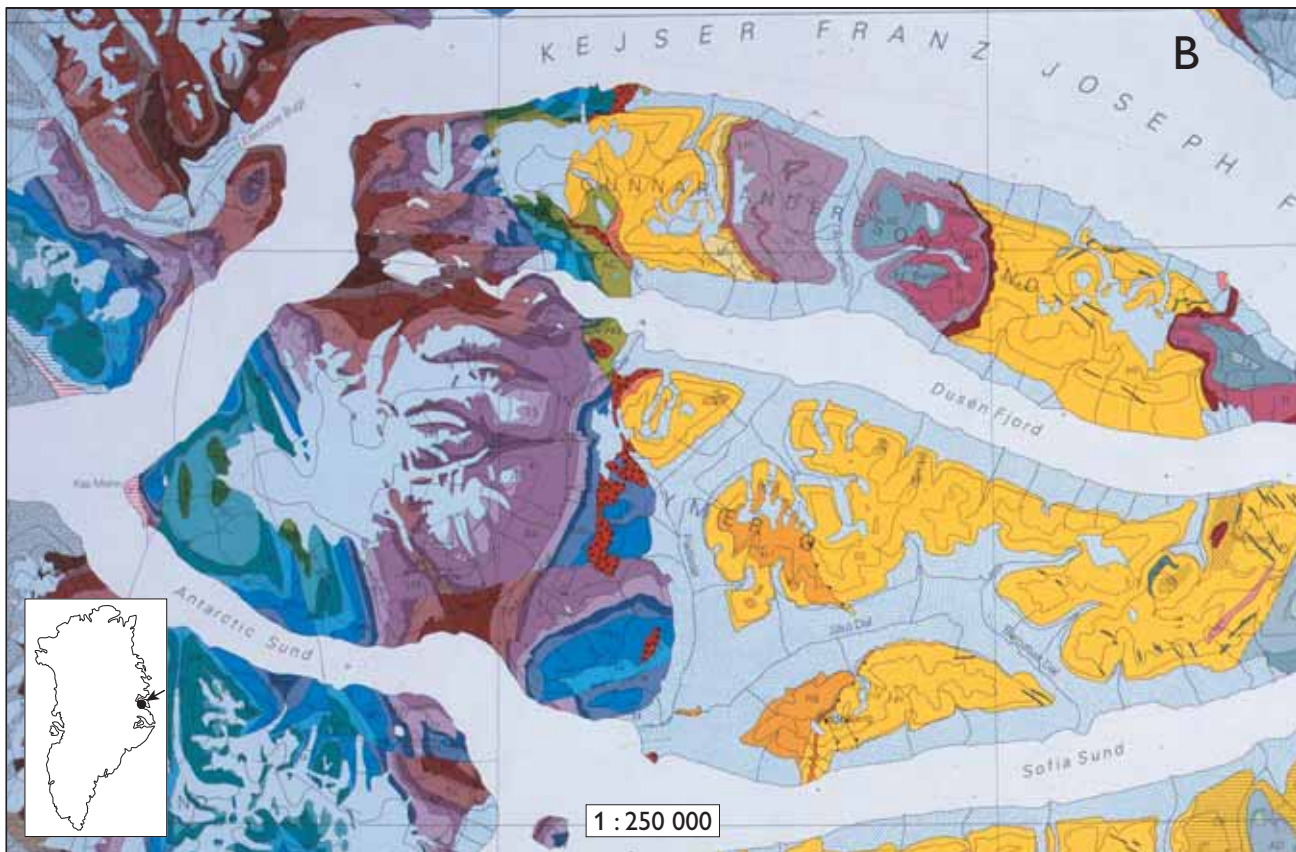
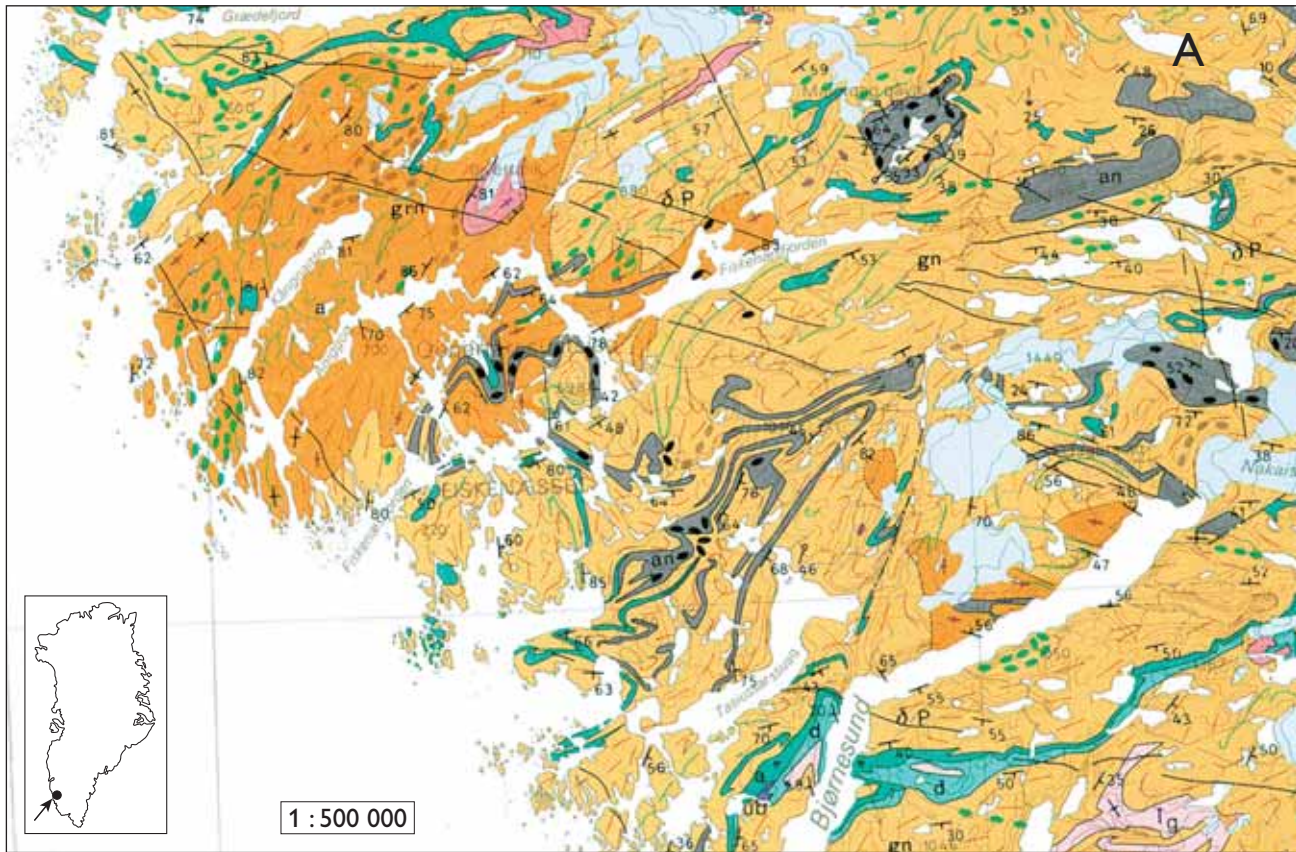
Kortene nr. 9–12 fra Nordøstgrønland og det cen-

trale Østgrønland udgør en serie, der dækker det kaledoniske foldebælte samt den postkaledoniske bassinudvikling med øvre palæozoiske – kretassiske sedimenter og palæogene plateaubasalter og intrusioner. Det egentlige GGU/GEUS-arbejde i denne region blev påbegyndt i 1968 ti år efter Lauge Koch-ekspeditionernes sidste feltsæson. Det nye GGU-arbejde tog udgangspunkt i den store mængde publikationer og kort, der var publiceret af Koch-ekspeditionernes mange medarbejdere gennem årene (Haller 1971). Målsætningen var i første omgang at få kortlagt de områder, Koch-ekspeditionerne ikke havde dækket. Dette arbejde begyndte i Scoresby Sund regionen (70°–72°N), hvor der efter en første rekognoscering i 1967 blev gennemført et feltarbejde i årene 1968–72, hvilket resulterede i udarbejdelsen af 16 kortblade i skala 1:100 000. Disse kort danner grundlag for den senere sammentegning i skala 1:500 000 af kort nr. 12 (Bengaard & Henriksen 1984) og beskrivelsen af området (Henriksen 1986). De øvrige tre oversigtskort er alle blevet udarbejdet af GGU/GEUS med 1:500 000 skalaen som det primære mål for publikation. Feltarbejdet til disse tre kort foregik 1988–98 og var dimensioneret og støttet efter samme retningslinier som indsatsen i Nordgrønland, d.v.s. med fuld helikopterstøtte. De to nordligste kort (nr. 9, Jepsen 2000 og nr. 10, Henriksen 1997) er begge tidligere publiceret, medens nr.11, Kong Oscar Fjord, blev trykt i slutningen af 2001 (J.C.Escher 2001). GGU/GEUS-kortlægningen af området 72°–76°N støtter sig i nogen grad til det tidligere publicerede Koch & Haller kort (1971) i skala 1:250 000 fra samme område (Fig. 2), men GEUS-undersøgelserne har resulteret i en hel del nye observationer og interpretationer, der har medført en radikal ændret tolkning af områdets dynamiske udvikling. Fra det midterste kortbladsområde (nr. 10, Dove Bugt) er der publiceret en samlet



Fig. 14. A: Geologisk oversigtskort over Fiskenæsset regionen (ca. 63°N). Udsnit af oversigtskort nr. 2 i skala 1:500 000 fra det sydlige Vestgrønland. Området omfatter en del af det arkæiske grundfjeldsskjold, der domineres af forskellige typer gnejser (vist med gullige farver) og granitoide legemer (rødlige farver) med indhold af amfibolitiske bånd (grønne farver) samt gabbroanorthosit-enheder (mørke grå farver). Fra Allaart 1982.

B: Geologisk kort i skala 1:250 000 over Ymer Ø området (ca. 73°00'–73°30'N) i Nordøstgrønland publiceret af GGU. Området omfatter kaledonisk foldede neoproterozoiske sedimentter (Eleonore Bay Supergruppe) vist med brunlige, mørk violette og blålige farver samt devone molasse sedimentter, hvis nedre del er vist med gule farver, og hvis øvre del vises med rødviolette farver. De kaledoniske krystallinske bjergarter er vist med en sort prik-signatur, og de kvartære aflejringer er angivet med en blå raster. Fra Bengaard & Larsen 1992.





oversigt over regionens geologi (Higgins 1994), medens beskrivelser til kortene nr. 9 og 11 endnu ikke er færdige. Fra begge disse områder foreligger der imidlertid mange enkelt-afhandlinger, så det er muligt at få et bredt indblik i regionens geologiske opbygning (oversigter gives f.eks. af Henriksen 1996, 1999; Elvevold et al. 2000 og Higgins & Leslie 2000).

De to sidste oversigtskort i skala 1:500 000, nr. 13 Kangerdlugssuaq og nr. 14 Skjoldungen (henholdsvis Myers et al. 1988 og J.C. Escher 1990), dækker Sydøstgrønlands prækambriske grundfjeldsskjold med arkæiske og palæoproterozoiske krystallinske orogenkomplekser. Mod nord overlejres grundfjeldet lokalt af Kridt-Palæogen sedimenter, medens der længst mod nord forekommer et udstrakt dække med palæogene plateaubasalter, der sammen med grundfjeldet gennemsættes af stedvise palæogene intrusioner. Indsatsen i denne region var målrettet mod en oversigtskortlægning i skala 1:500 000, med feltarbejde i perioderne 1976–79 og 1986–87. Arbejdet blev næsten udelukkende baseret på en helikopterstøttet indsats med arbejdsgrupper på ca. 6–10 geologer pr. sæson gennem i alt fem feltsæsoner. Der foreligger en samlet beskrivelse af den regionalgeologiske prækambriske opbygning (Kalsbeek 1989), medens beskrivelserne af den palæogene vulkanske provins stammer fra en omfattende aktivitet, der begyndte som regional kortlægning, men som senere er blevet efterfulgt af regionale og emnerelaterede studier i forbindelse med Dansk Lithosfærecenters grundforskningsprojekt. Basaltprovinsens opbygning og transatlantiske korrelation er i oversigtsform behandlet af L.M. Larsen et al. (1999), medens en oversigt over de alkaline intrusioner gives af Nielsen (1987) og Nielsen et al. (2001). Kridt-Palæogen sedimenterne er beskrevet af M. Larsen et al. (1996, 2001).

#### d. 1) 1:250 000 kort uden for de almene serier (GGU/GEUS-kort)

Denne type kort falder uden for GGU/GEUS valgte standardserier og omfatter kun tre af GGU/GEUS' egne kort. Det første af disse er kortet fra Washington Land – Daugaard Jensen Land ved Nares Stræde i Nordgrønland, der blev publiceret i 1983 (Jepsen et al. 1983). Området med dets palæozoiske sedimenter er senere kortlagt igen og er nu inkluderet i 1:500 000 kort nr. 6 Inglefield Land – Washington Land. Det næste kort er en udtegnings af et område i Nordøstgrønland (72°23'–74°25'N), der består af neoproterozoiske (Eleonore Bay Supergruppe) – devone sedimenter (Bengaard & Larsen 1992, Fig. 14B). Det tredje og sidste kort omfatter en oversigt over det prækam-

briske grundfjeldsområde i Disko Bugt regionen i Vestgrønland (Garde 1994). De to sidste kort indeholder mange ny primærdata og inkluderer den nyeste viden om disse områder. Data fra kortet fra Nordøstgrønland indgår i oversigtskortet i skala 1:500 000 fra Kong Oscar Fjord regionen (kort nr. 11). Fra Disko Bugt regionen foreligger der en regionalgeologisk beskrivelse, der belyser det kortlagte områdes prækambriske opbygning, domineret af et palæoproterozoiske orogen kompleks, med et arkæisk underlag (Kalsbeek 1999).

#### d. 2) 1:250 000 kort fra Nordøstgrønland

(kort fra »De Danske Ekspeditioner til Østgrønland 1926–58«)

Disse kort fra Lauge Koch-ekspeditionerne omfatter 13 kortblade fra området mellem 72° og 76°N (Fig. 2 og 15A). Kortene blev kompileret af John Haller, der var Lauge Kochs chefgeolog gennem mange år, og som selv deltog i feltarbejdet i årene 1948–58. Kortserien blev trykt af Geodætisk Institut (GI) i 1965 og er senere udgivet som en publikation i Meddelelser om Grønland under forfatternavnene Koch & Haller (1971), syv år efter Lauge Kochs død. Det topografiske grundlag for disse kort er GI's standardkort i skala 1:250 000, der stammer helt tilbage fra 30'erne, men som senere er blevet delvis justerede og tilpassede. Det geologiske informationsindhold i kortene bærer tydeligt præg af datidens opfattelser af regionens geologiske opbygning med en vurdering af, at det kaledoniske foldebælte hovedsageligt bestod af miogeosynklinale proterozoiske – ordoviciske sedimenter. Ifølge John Haller (1971) forekommer disse som næsten uomdannede bjergarter i et øvre »stockwerk«, medens deres metamorfoserede og migmatitiserede ækvivalenter udgør et nedre »stockwerk«. Selvom kortene med denne tolkning må betragtes som forældede, indeholder de stadig en mængde værdifulde primærinformationer. De er et imponerende resultat af John Hallers ihærdige indsats gennem mange år, for at fremstille et samlet kortbillede af hele regionens geologiske opbygning med alle aspekter af geologien fra Prækambrium til Tertiær. Den tekniske fremstilling af kortene giver et flot indtryk af datidens teknologiske formåen. Kortene fremtræder som en serie meget æstetisk præsentable kort trykt med 14 fulde farver.

GEUS har senere gennemført en helt ny udtegnings af topografiske kort i skala 1:100 000 fra hele regionen (Fig. 5), og dette grundlag indgår nu som basis for GEUS' oversigtskort fra Nordøstgrønland.



e) 1:100 000 kortblade; basiskortlægning (GGU/GEUS-kort)

Arbejdet med denne serie grundlæggende kort (Fig. 13B) blev påbegyndt i Sydvestgrønland i midten af 50'erne og er blevet fortsat kontinuerligt gennem en længere årrække frem til midten af 70'erne, med en systematisk dækning af kortblad efter kortblad fra Nanortalik i syd (60°N) til regionen nord for Godthåbsfjord i nord (64°–65°N). Kortenes detaljeringsgrad og faglige standard er generelt høj, og karteringen er alle steder foregået med observationer fra geologer, der til fods har gennemgået næsten alle dele af områderne. Logistikken har været baseret på en kombination af båd- og helikopterstøtte, og inden for hvert kortbladsområde har der typisk deltaget 6–10 tomandshold gennem to sæsoner. I gennemsnit har hvert hold skullet dække et areal på 250–400 km<sup>2</sup> over to sæsoner. Der er enkelte afvigelser fra den nævnte arbejdsform – f.eks. er nogle af kortbladene i den nordlige del omkring Godthåbsfjord blevet dækket af færre geologer end kortene længere mod syd. Det er endvidere karakteristisk for disse kort over dele af Sydvestgrønland, at fotogrammetriske arbejdsmetoder ikke er blevet anvendt til andet end fremstilling af et supplerende topografisk grundlag bl.a. over visse indlandsområder, der ikke var dækket af kystregionernes topografiske kort i 1:20 000 og 1:50 000. Kun ved kompilation af kortet over Fiskefjordsområdet (kort 64 V.1 Nord; Garde 1989, 1997, Fig. 15B) er der i nogen udstrækning benyttet et fotogrammetrisk instrument til udtegnings af visse geologiske elementer.

Blokken af 1:100 000 kortblade fra det centrale Vestgrønland i regionen 69°–74°N er udarbejdet over en længere årrække med publiceringer fra 1970 til 2001. Kortenes tilblivelse afspejler dermed også en stærkt varierende baggrund, men det er karakteristisk, at anvendelsen af fotogeologiske metoder her har spillet en dominerende rolle. Området nord for Uummanaq var det første, hvor der blev anvendt en tidlig form for systematisk fotogeologisk tolkning, baseret på forholdsvis simple stereo-instrumenter (først et simpelt lommestereoskop, senere et Zeiss Aerosketchmaster instrument; Henderson & Pulvertaft 1987). Karteringen af dette palæoproterozoiske grundfjeldsområde med basement gnejsjer og overliggende meta-sedimenter tog udgangspunkt i en kutterstøttet kortlægning af kystregionerne, der blev forberedt med og senere fulgt op af en detaljeret flyfotointerpretation, som også dækkede indlandsområderne. Det resulterede i udarbejdelsen af tre 1:100 000 kortblade (Marmorilik, 71 V.2 Syd; Nûgâtsiaq, 71 V.2 Nord; Pangner-tôq, 72 V.2 Syd; Henderson 1970, 1971a,b) samt en strukturel analyse, der blev dokumenteret med tektoniske kort og en kortbladsbeskrivelse (Henderson

& Pulvertaft 1987). Ressourceforbruget til dette arbejde var yderst begrænset og repræsenterede kun en samlet indsats på ganske få holdsomme.

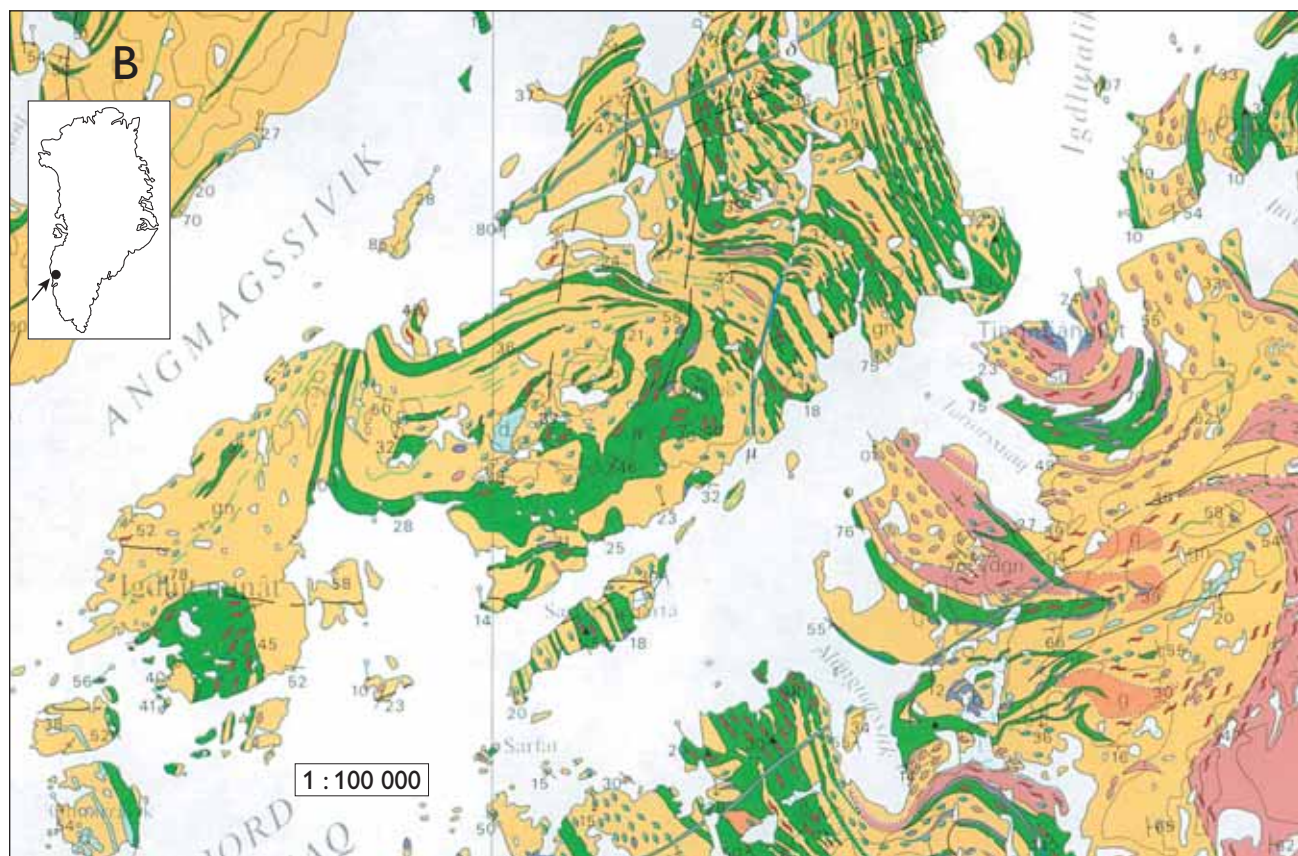
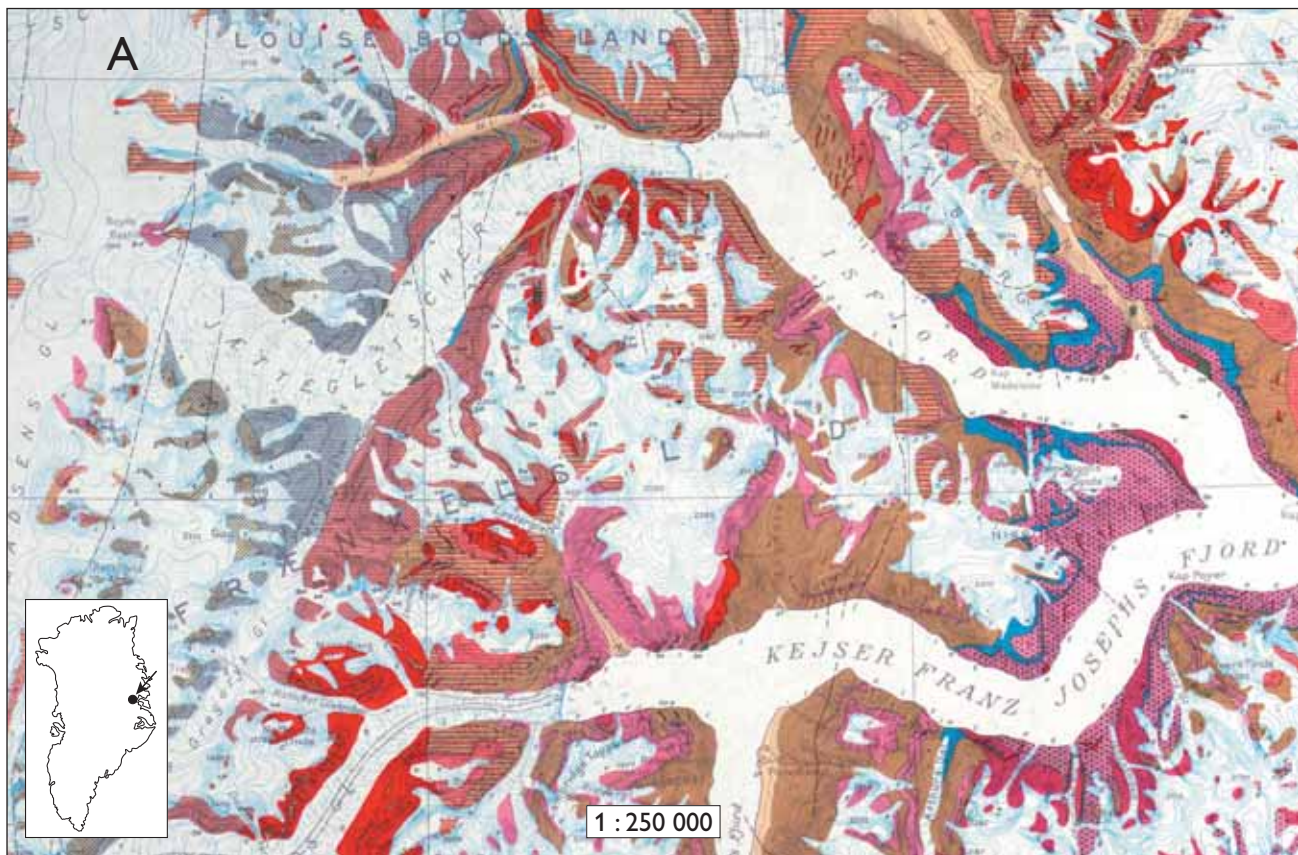
De tre kortblade fra Upernavikregionen (Tasiussaq 73 V.1 Syd; Ussing Isfjord 73 V.1 Nord og Kuvdlorssuaq 74 V.1 Nord & Syd; J. C. Escher 1984, 1985 b,c) dækker et område med palæoproterozoiske gnejsjer og meta-sedimenter, samt et stort palæoproterozoiske intrusivt kompleks. Området blev omfattet af oversigtskortlægningen til 1:500 000 kort nr. 4, der blev gennemført i 1977–79 af få geologer med kutterstøtte og bådrekognoscering i de udstrakte skærgårdsområder. Da det efter feltarbejdet viste sig, at der var tilstrækkeligt materiale til også at udarbejde tre kortblade i skala 1:100 000, blev disse sammentegnet og udgivet i dette format.

De seks kortblade, der næsten dækker hele området med Kridt–Palæogen sedimenter i Nuussuaq Basinet samt de overliggende palæogene plateaubasalter mellem Disko Bugt og Svartenhuk Halvø i det centrale Vestgrønland (69 V.1 Nord – 71 V.1 Nord), er udarbejdet over en længere årrække fra 1974 til 2001 (Rosenkrantz et al. 1974; J.G. Larsen 1983; A.K. Pedersen & Ulf-Møller 1987; J.G. Larsen & Grocott 1991; A.K. Pedersen et al. 2000, 2001). Alle kortene er sammentegnet på basis af grundige feltiagttagelser kombineret med en systematisk fotogeologisk tolkning og anvendelse af fotogrammetriske opmålings- og udtegningsmetoder. Gennem dette arbejde er disse metoder gradvist blevet udviklet til en form, hvor man med de sidst udgivne kort (A.K. Pedersen et al. 2000, 2001; se side 32) har nået en standard og et præcisionsniveau, det ikke ville have været muligt at opnå på anden vis. Samtidig har metodeudviklingen medført, at det nu er muligt at præsentere en tredimensionel kortlægning belyst med både nøjagtige kort og fotogrammetrisk udtegnede profiler, hvor grænseforløb kan registreres med en præcision på ned til få meter i naturen.

To 1:100 000 kortblade fra Vestgrønland indtager en lidt speciel placering. Agto kortbladet 67 V.1 Nord (Olesen 1984) og Ataa kortbladet 69 V.3 Nord (J.C. Escher 1995; Kalsbeek 1999), er begge kompileret på grundlag af en detailkortlægning, der blev gennemført af en kombination af professionelle GGU- og universitetsansatte geologer og grupper af hovedfagsstuderende.

Blokken af de 16 kortblade fra Scoresby Sund regionen (70°–72°N) i det centrale Østgrønland blev kortlagt efter et nyt feltarbejdskoncept, med ekspeditioner udsendt i fem sæsoner i årene 1968–72 (Henriksen 1986). Hele denne region på ca. 300×220 km, omfattende kaledonisk foldede krystallinske komplekser, øvre palæozoiske – mesozoiske sedimentære lagserier og palæogene basalter, blev dækket gennem







en koncentreret helikopterstøttet indsats. Regionens topografiske forhold er præget af landskaber med et op til ca. 2500 m højt relief med alpin topografi i de kaledonisk foldede komplekser og i de palæogene basaltområder. Det var derfor nødvendigt at arrangere arbejdet, således at de enkelte geologhold fik hyppige lejrskift og gode muligheder for at benytte helikopterne som en slags mobile observationsplatforme for det geologiske arbejde. Resultatet, som fremgår af de 16 kortblade, er en kartering, der er betydeligt mindre fintmasket end kortbladene fra den sydlige del af Vestgrønland. Karteringen foregik på feltkort i skala 1:50 000, og generelt var den indsamlede datamængde tilstrækkelig til en kompilation og publikation i 1:100 000. I de mesozoiske sedimentområder i Jameson Land Bassinet (Clemmensen 1980; Surlyk 1990, 1991; Dam & Surlyk 1998) er de topografiske forhold helt anderledes, med et terræn præget af store jævne fjeldvidder, hvor det næsten overalt har været muligt at færdes til fods. Karteringen af denne del af Scoresby Sund regionen er derfor blevet gennemført med en jævn dækningsgrad. Som et eksempel på detaljeringsgraden på Scoresby Sund kortbladene vises på figur 16A et udsnit af et kortblad, der både indeholder kaledoniske krystallinske komplekser og en del af det mesozoiske sedimentområde i Jameson Land Bassinet.

Selvom der overalt i kortlægningen af Scoresby Sund regionen er blevet anvendt såvel skråbilled- som lodbilled-flyfotografier til registrering af feltdata og til udtegning, er alt det fotogeologiske arbejde foregået uden anvendelse af fotogrammetriske instrumenter. Kun udtegningen af de topografiske grundkort blev gennemført fotogrammetrisk på Geodætisk Institut (GI). Senere er kvartærgeologiske kort fra Jameson Land området blevet detaljeret udtegnet fotogrammetrisk i GGU's flyfotolaboratorium og sammentegnet i skala 1:125 000 (Funder 1987). Disse kort



Fig. 15A.: Geologisk kort i skala 1:250 000 over den indre del af Kejser Franz Joseph Fjord regionen (ca. 73°15'N) i Nordøstgrønland. Kortet viser en del af de krystallinske komplekser i den kaledoniske foldekæde med gnejser og granitoide bjergarter (rødlige farver), metamorfe skifre fra de metasedimentære serier (brune farver) samt svagt omdannede neoproterozoiske sedimenter fra Peterman Seriens aflejringer (grå-blålige farver). Kaledoniske granitintrusioner er vist med højrode farver. Kortet, der stammer fra »De Danske Ekspeditioner til Østgrønland« (efter Koch & Haller 1971), er her vist i ½ størrelse.

B: Geologisk kort i skala 1:100 000 fra en del af Fiskefjord området nord for Nuuk i det sydlige Vestgrønland. Udsnit af kortbladet Fiskefjord, 64 V.1 Nord (Garde 1989). Kortet viser et område med arkæisk grundfjeld. Bjergarterne omfatter gnejser (gule farver), amfiboliter (grønne farver) og granitoide enheder (lys-rødlige farver).

har dannet udgangspunkt for et forskningsprojekt gennemført af forskere fra bl.a. Københavns og Lunds Universiteter med henblik på et internationalt studie af aflejringerne fra den sidste interglaciale cyklus (PONAM projektet, Möller et al. 1991).

De 16 kortblade fra Scoresby Sund regionen (70 Ø. 1–4, Nord og Syd; 71 Ø. 1–4, Nord og Syd) blev udgivet 1975–1986 (Eriksen & Dawes 2000), og indtil nu er der udgivet beskrivelser til 6 af dem (Henriksen et al. 1980; Higgins 1982; Henriksen & Higgins 1988). Endvidere foreligger der manuskripter til yderligere tre kortbladsbeskrivelser. Regionens geologi er gennem årene blevet behandlet i et meget stort antal videnskabelige afhandlinger. Efter afslutning af kortlægningsprojektet har specielt det mesozoiske Jameson Land Bassin været mål for en videregående sedimentologisk, stratigrafisk og oliegeologisk indsats (Clemmensen 1980; Surlyk 1990, 1991; Christiansen et al. 1991, 1992; Dam & Surlyk 1998) og et olieselskab (Atlantic Richfield Company, ARCO) har gennemført seismiske undersøgelser i dette bassin (H.C. Larsen & Marcussen 1992).

Det sydligste Grønland har gennem de senere år været underkastet en regional ressourceevaluering (Schjødt et al. 2000), og kombineret med denne er nogle af de vanskeligst tilgængelige områder med alpin topografi blevet kortlagt. Kortlægningsarbejdet her blev gennemført med udstrakt brug af helikoptere, da det de fleste steder er meget vanskeligt at færdes til fods i dette terræn med op til 1500–2000 m høje toppe. I dette kortlægningsarbejde deltog kun få geologer, der for det meste opererede ud fra en fast base, hvorfra de blev fløjet ud og ind til feltlokaliteterne hver dag eller blev fløjet rundt dagen igennem af helikopteren. Arbejdet blev kombineret med en fotogrammetrisk udtegning, og tolkningen og indsatsen har nu resulteret i udgivelse af to kortblade (Søndre Sermilik 60 V.3 Nord & Lindenow Fjord 60 Ø.1 Nord; Garde & Chadwick 1996; Garde et al. 1998a). På baggrund af den kombinerede ressourceevaluering og den nye kortlægning samt de efterfølgende studier er der nu etableret en nytolkning af regionens pladetektoniske opbygning (Garde et al. 1999, in press; se side 28).

Fra Peary Land regionen i Nordgrønland er der udgivet fire kort i skala 1:100 000 (Fig. 13B), der fra syd til nord dækker et tværsnit gennem en ufoldet proterozoisk lagserie med sandsten og basalter overløjet af sedimenter fra det nedre palæozoiske franklinske bassin. I den nordligste del går tværsnittet gennem det palæozoiske ellesmeriske foldebælte og dele af det karbone-palæogene Wandel Hav Bassin med dets sen-kretassiske og palæogene deformationer, der bl.a. indeholder nordrettede overskydningsstrukturer (Håkansson et al. 1991). Disse fire kort er kompileret



fra data indsamlet i forbindelse med oversigtskortlægningen og med anvendelse af fotogeologiske tolkninger i et fotogrammetrisk instrument. De fire kort er: J.C. Christensen Land 81 Ø. Nord (Jepsen & Henriksen 1986), Wandel Dal 82 Ø. Syd (S.A.S. Pedersen & Henriksen 1986 a), Nordkronen 82 Ø. Nord (S.A.S. Pedersen & Henriksen 1986 b) og Harder Fjord 83 Ø. Syd (Higgins 1986). Kortene er geometrisk pålidelige, men observationstætheden på jorden er ikke på niveau med de almindelige kortblade, så disse fire kort indtager en mellemstilling mellem standard 1:100 000 kortbladene og oversigtskortene. Alligevel er de fire kort væsentlige og udgør et godt eksempel på den geologiske opbygning i tværsnittet fra de ufoldede proterozoiske – nedre palæozoiske lagserier, der sydligst overlejrer det grønlandske grundfjeldsskjold, gennem det palæozoiske foldebælte til det senkretassiske og palæogene overskydningsbælte og deformationszoner langs kontinentranden mod det arktiske ocean. Det er her interessant at bemærke at den seneste kompression i Nordgrønland er klart ældre end de tilsvarende kompressive faser, man kender fra Svalbard, på den modstående side af ocean-spredningslinien i denne region.

#### f) Specielle geologiske kort i andre målestoksforhold (GGU/GEUS kort)

GGU/GEUS har som resultat af en række hovedsageligt detailorienterede undersøgelser fremstillet kort over udvalgte områder, primært som bilag til publikationer. Kortene er udgivet med varierende skalaer, de fleste i 1:10 000 eller 1:20 000, men forskellige andre målestoksforhold forekommer også afhængigt af behovet i forbindelse med den pågældende publikation. En oversigt over disse kort findes i »Catalogue of Greenland publications and data« (Eriksen & Dawes 2000). Nogle af kortene findes i kataloget kun anført sammen med de bulletiner, hvor de er vedlagt som kortbilag. Enkelte kort er publiceret uden ledsagende tekst, f.eks. et detailkort (Fig. 16B) over den sydlige del af det ca. 1200 mill. år gamle intrusive Ilímaussaq kompleks fra Gardar regionen i Sydgrønland (Andersen et al. 1988).

## Kortlægningens forskningsmæssige resultater

Som tidligere nævnt er det geologiske kortlægningsarbejde i Grønland overalt blevet gennemført på et videnskabeligt grundlag kombineret med en geofag-

lig forskningsindsats. De observerede data og det indsamlede materiale er efter feltarbejdet blevet bearbejdet af de fagspecialister, der har gennemført kortlægningsarbejdet, og meget hyppigt er kredsen af bearbejdere endvidere blevet udvidet til også at omfatte specialister, der ikke har deltaget i feltarbejdet. Udgangspunktet for størstedelen af den meget store basisviden, man i dag har om Grønlands geologi, kan direkte henføres til GGU/GEUS's generelle kortlægningsaktiviteter. Gennem årene er der publiceret ca. 100 arealdækkende geologiske kort og op mod 1500 geovidenskabelige afhandlinger, hvoraf langt de fleste er engelsksprogede. Knap halvdel af disse publikationer er optaget i internationale publikationsserier.

Det er ikke muligt her at give en oversigt over alle de videnskabelige resultater, kortlægningen har ført med sig, men en bred indgang til de faglige problemstillinger findes i beskrivelsen til det geologiske kort i 1:2500000 (Henriksen et al. 2000). Jeg har derfor valgt i det efterfølgende kort at omtale fire forskellige emneområder, der viser spændvidden af den gennemførte indsats. De to første eksempler (A & B) knytter sig til den basale 1:100 000 kortlægning, og de to næste (C & D) er primært relateret til oversigtskortlægningen i 1:500 000.

#### A) Sydgrønlands grundfjeld Det ketilidiske orogen og Gardar Provinsens riftdannelse

Det sydlige Grønlands geologiske opbygning omfatter tre kronostratigrafiske hovedenheder: 1) den sydlige del af det arkæiske grundfjeldsskjold, der mod


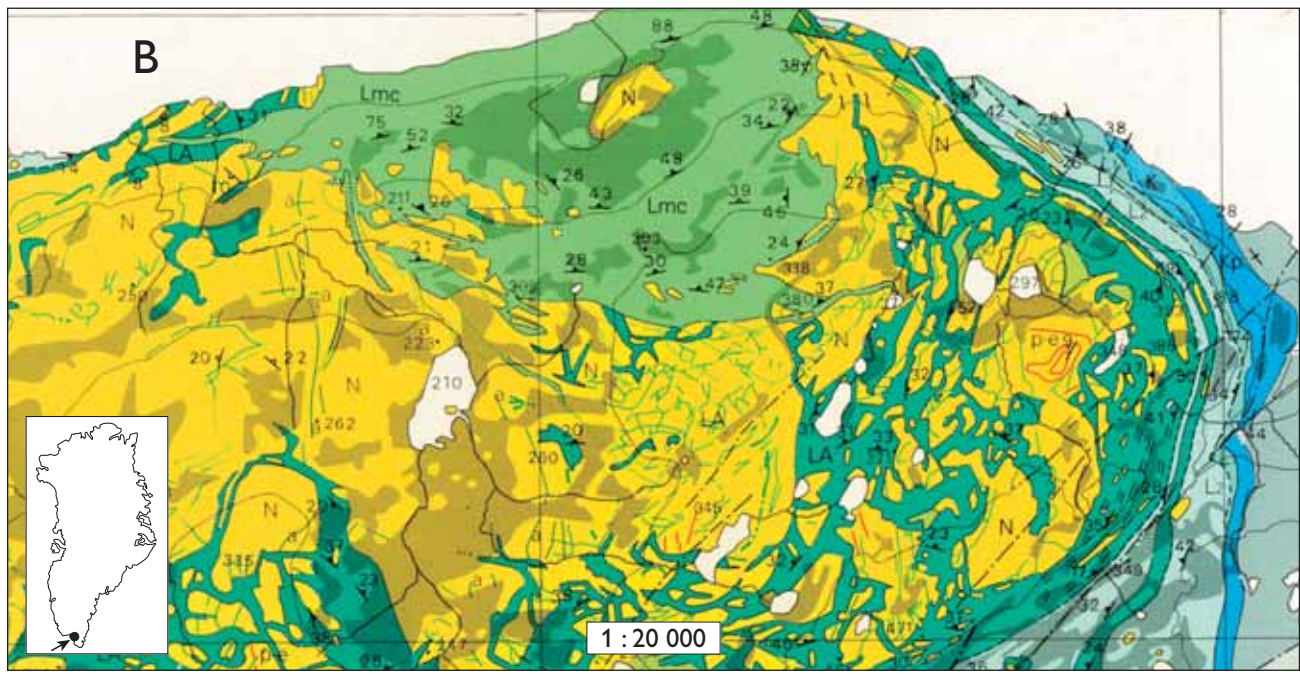
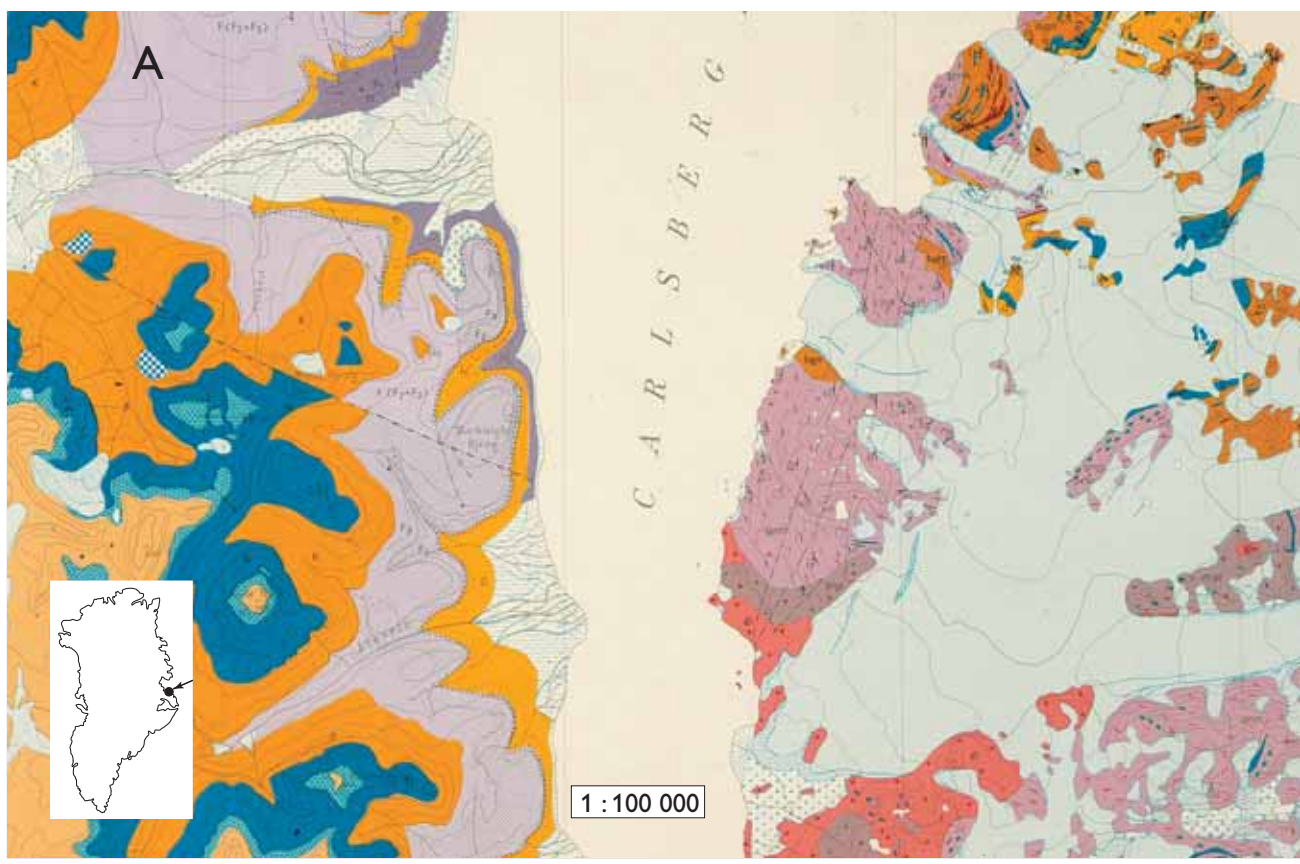


Fig. 16 A.: Geologisk kort i skala 1:100 000 fra en del af Carlsberg Fjord området nord for Scoresby Sund i det centrale Østgrønland. Udsnit af kortbladet Carlsberg Fjord, 71 Ø.1 Syd (Birkelund & Higgins 1980). Mod vest omfatter figuren dele af det mesozoiske Jameson Land Bassin med fladtliggende triassiske – jurassiske sedimenter (violette, gullige og blå farver), og mod øst forekommer foldede kaledoniske krystallinske komplekser i Liverpool Land med gnejser (gullige farver), migmatitiske gnejser (lyse violette farver) samt plutoniske granitoide enheder (rødlige farver).

B: Geologisk kort i skala 1:20 000 over et område i den sydlige del af Ilímaussaq intrusionen, Sydgrønland (se Fig. 18). Udsnit af detailkort publiceret af GGU (Andersen et al. 1988). Udsnittet viser en del af den lagdelte alkaline intrusion med apaitiske nefelinsyenitter i bunden (blålige farver) overlejret af mesokratiske nefelinsyenitter (lujavritter) vist med grønne farver, og øverst forekommer er serie lyse sodalite nefelinsyenitter (gule farver). Kortet er resultatet af en detaljeret blottingskartering i skala 1:10 000, hvor de overdækkede områder er angivet med en finprikket sort raster som overtryk.





syd grænser op til 2) det palæoproterozoiske ketilidiske orogen, der gennem sættes af 3) en mesoproterozoiske riftdannelse i Gardar Perioden (Kalsbeek et al. 1990). Den regionalgeologiske udforskning af denne del af Grønland går tilbage til første del af nittenhundredetallet, hvor N.V. Ussing (1912) undersøgte Gardar Provinsens intrusive komplekser, og hvor C.E. Wegmann (1938) foretog regionalgeologiske studier i hele regionen mellem Iviittut (61°30'N) og Narsaq Kujalleg (Frederiksdal, 60°N). I dette arbejde introducerede Wegmann betegnelserne »the Ketilides« og »Gardar Formation« opkaldt henholdsvis efter den gamle nordbobetegnelse Ketils Fjord for Tasermiut Fjord og efter nordboernes navn for bispesædet Gardar, der lå, hvor vi i dag finder byen Igaliku. GGU's systematiske kortlægningsarbejde i regionen blev gennemført i perioden 1956–63, og i tilknytning hertil blev der foretaget en lang række specielle undersøgelser inden for alle tre kronostratigrafiske enheder. Især blev der gennemført specielle studier af Gardar Provinsens mange alkaline intrusioner, der var petrologisk interessante, og der var særlig fokus på Ilímaussaq intrusionen i forbindelse med en målrettet uranefterforskning (Nielsen 1981). Den regionale kortlægningsindsats resulterede i publikation af fem kortblade i skala 1:100 000 i regionen 60°00'N–61°30'N fra vestkysten (Fig. 13B), medens østkysten ikke blev omfattet af kortlægningen. De specielle undersøgelser inden for Gardar Provinsen fortsattes efter 1963 af bl.a. britiske universitetsgrupper, der havde deltaget i GGU's kortlægningsarbejde (Upton & Emeleus 1987). Uranefterforskningen udvidedes i 1979–80 til at omfatte det meste af regionen. Dette resulterede bl.a. i en geokemisk kortlægning, der var baseret på den første systematiske geokemiske undersøgelse af bæksedimenter i Grønland (Armour-Brown et al. 1983). Som det seneste trin i den geologiske udforskning har GEUS i de senere år gennemført en ressourceevaluering baseret på en fornyet gennemgang af alt det gamle materiale fra kortlægnings- og uranefterforskningsperioden, suppleret med nyt feltarbejde fra 1992 til 1996 (Schjøth et al. 2000). Dette arbejde førte også til kartering og sammentegning af to nye 1:100 000 kortblade (Søndre Sermilik 60 V.3 Nord og Lindenow Fjord 60 Ø.1 Nord; henholdsvis Garde & Chadwick 1996 og Garde et al. 1998 a). Samtidig kunne der foretages en revision af det tidligere publicerede oversigtskort nr. 1 i skala 1:500 000; en ny version af dette oversigtskort indgår nu i ressourceevalueringens-rapporten (Schjøth et al. 2000).

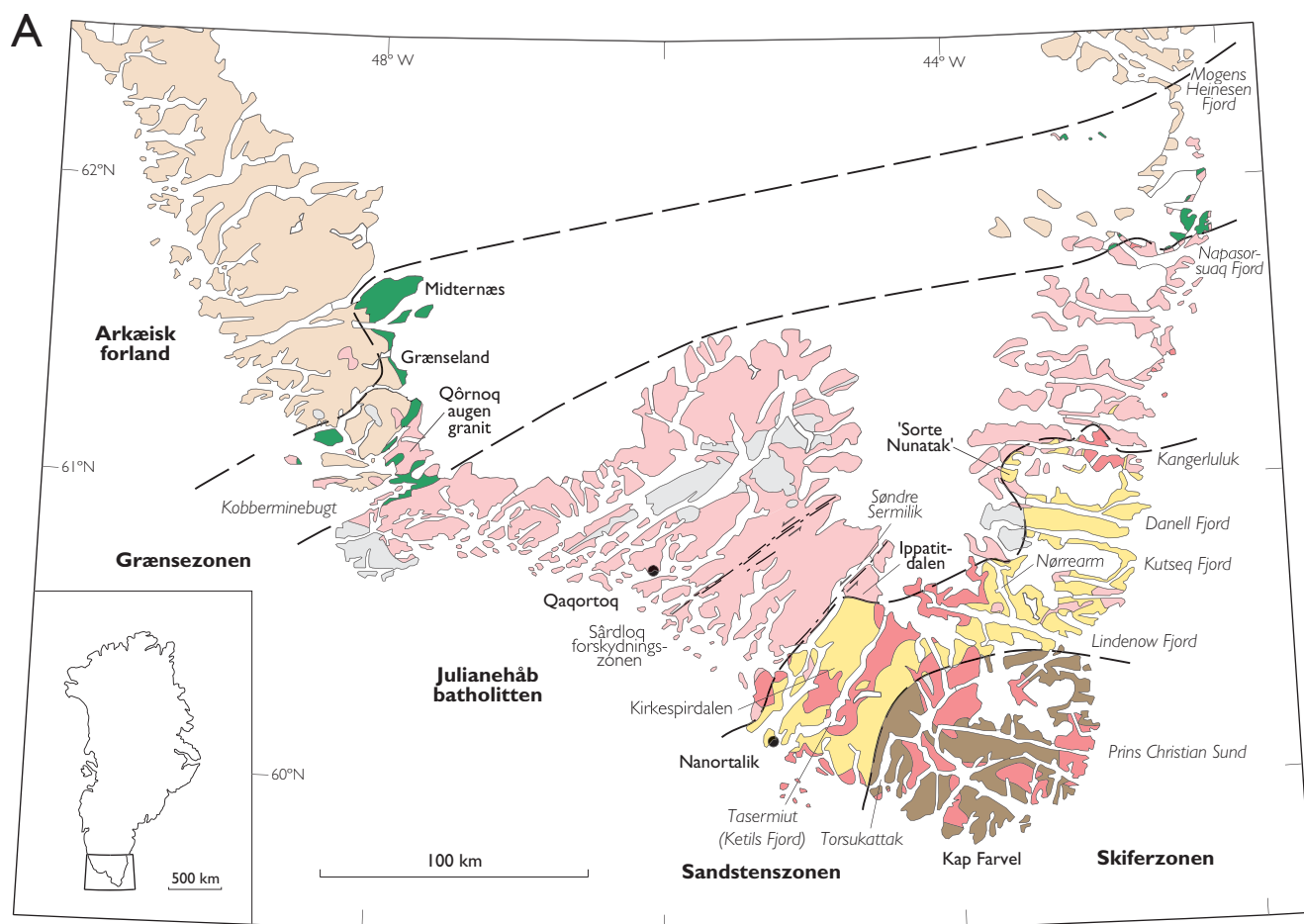
Efter genoptagelsen af det regionale arbejde blev det hurtigt realiseret, at der var behov for en nyvurdering af den geologiske opbygning og udviklingen af det ketilidiske orogen set i en pladetektonisk sammenhæng, da hele den primære kortlægning var fore-

gået, før de pladetektoniske tolkningsmodeller blev alment udbredt. Orogengrænsen mellem Ketiliderne og den arkæiske grundfjeldsblok var kendt fra Ivittuut regionen på vestkysten (Berthelsen & Henriksen 1975), medens den ækvivalente del af grænsen på østkysten ikke var blevet undersøgt. En anden mangel i de første undersøgelser var, at den allersydligste del af Grønland og den vanskeligst tilgængelige del af Ketiliderne ikke var blevet omfattet af den tidlige systematiske kortlægning. Det var derfor påkrævet, at de tidligere kombinerede almengemologiske og kortlægningsmæssige undersøgelser blev fulgt op af et supplerende feltarbejde, der gennemførtes i 1997 til 1999 (Garde et al. 1999, in press; Chadwick et al. 2000) primært for at forstå de pladetektoniske sammenhænge.

Den pladetektoniske nytolkning af det ketilidiske orogen i det sydlige Grønland tager udgangspunkt i de primære basisdata fra den oprindelige kortlægning. Med disse data har det været muligt at identificere bestemte nøgleområder og genbesøge disse, samt genkortlægge mindre områder, hvorfra de primære oplysninger var mangelfulde eller enkelte steder endog fejlagtige. Med denne nye indsats, der var mange gange mindre end det oprindelige kortlægningsarbejde, er det lykkedes at opdatere tolkningen af hele regionens opbygning til et nutidigt stadium, således at de oprindelige kort i skala 1:100 000 fortsat kan anvendes som et primært grundlag.

Ketilidernes geologiske dannelse og udvikling i det sydlige Grønland spænder tidsmæssigt fra ca. 1855–1725 mill. år, hvor dette ØNØ–VSV-lige orogensegment blev dannet ved en nyskabt tilvækst til et arkæiske kontinent, der i dag findes nord for Ketiliderne (Garde 1999; Garde et al. in press). I grænsezonen mod nord findes rester af svagt omdannede ketilidiske sedimenter og vulkanitter bl.a. i Ivittuut regionen (Vallen Group og Sortis Group, Bondesen 1970), men hovedparten af orogensegmentet domineres af den vidt udbredte (30 000 km<sup>2</sup>) Julianehåb batholit (Fig. 17A&B), der nu tolkes som rodzonen af en oprindelig øbue langs randen af det gamle kontinent mod nord. Tidlige forvitnings-dannede nedbrydningsprodukter fra denne øbue aflejredes i et bassin, hvor de udgør en mægtig serie sandsten aflejret nær øbuen og lerede sedimenter aflejret længere ude i bassinet. Disse sedimentære serier forekommer i dag i orogenets sydlige del som metamorfoserede skifre omdannet under amfibolit- til granulitfacies betingelser. Intrusion af granitter og lokal opsmeltning af sedimenterne førte til en udbredt dannelse af blandingsbjergarter (migmatitter) mellem sedimenter og granitoid bjergarter i denne sydligste del af orogenet. Det seneste trin i foldebæltets opbygning var dannelsen af en serie rapakivgranitter, der som mægtige





**Det Ketilidiske orogen**

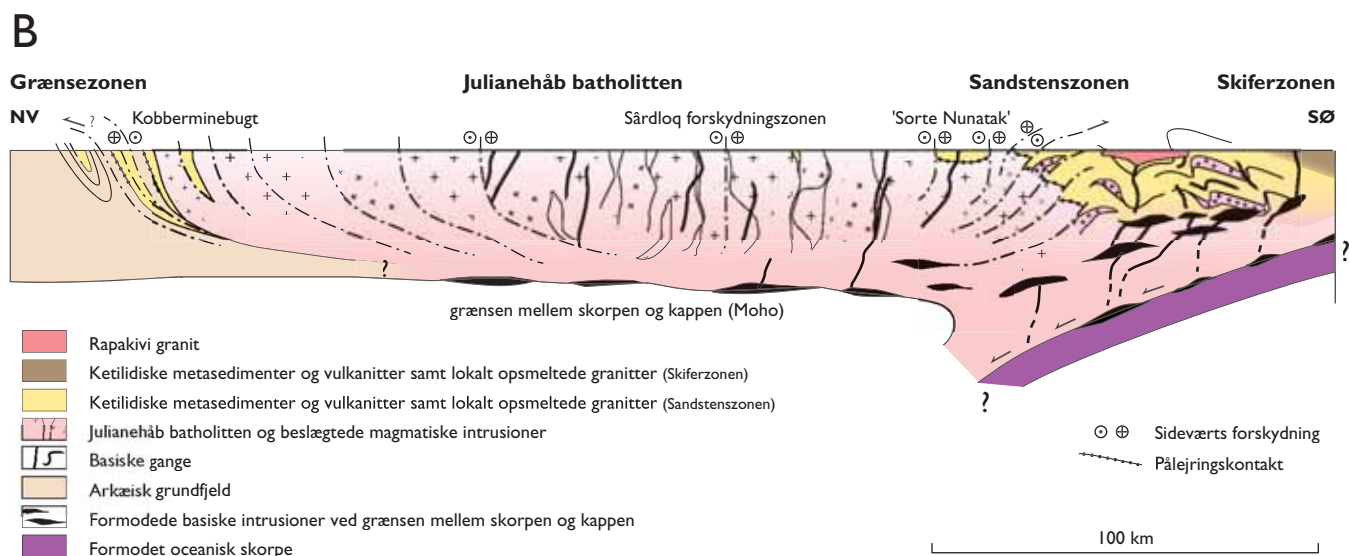
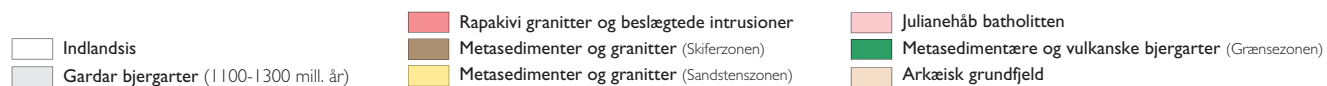


Fig. 17. Det ketilidiske orogen i det sydlige Grønland (efter Garde 1999).

A: Regionalt oversigtskort.

B: Skematisk tværsnit gennem orogenet med modelopfattelse af dets geotektoniske opbygning.

fladtliggende legemer intruderede i et højt skorpe-niveau for mellem 1755 og 1725 mill. år siden, i forbindelse med orogenets stabilisering ca. 30–60 mill. år efter hoveddeformationen og metamorfosen. Set i en større regional sammenhæng opfattes Ketiliderne i dag som dannet langs den frie sydkant af et nyligt sammensvejset palæoproterozoisk superkontinent, hvori de lidt ældre grønlandske palæoproterozoiske orogeneser (Nagsugtoquider, Rinkider m.fl.) alle indgik. Dette superkontinent kan også have omfattet det østlige og centrale Canada og måske også dele af Baltikum (Garde et al. in press). I figurene 17A og B vises en oversigt over Ketilidernes zonare opbygning og den pladetektoniske tolkning af foldebæltet (Garde et al. 1998 b; Garde 1999).

Gardar Provinsens opbygning og dens bjergarter og mineraler har med mellemrum været genstand for en specialiseret indsats lige siden den grundlæggende regionale kortlægning. Disse specielle undersøgelser har primært været fokuseret på intrusionernes petrologiske og mineralogiske forhold og i særlig grad har de alkaline intrusioner tiltrukket sig interesse (H. Sørensen in press), men også undersøgelser af bl.a. sedimenterne er blevet gennemført (Clemmensen 1988). Disse specielle undersøgelser har også resulteret i udgivelsen af en række detailkort af områder med Gardar bjergarter, sædvanligvis i form af bilag til GGU bulletiner (f.eks. Upton 1960, 1962; Emeleus 1964; Ferguson 1964).

Gardar perioden spænder tidsmæssigt over intervallet fra ca. 1300 til ca. 1120 mill. år siden (Kalsbeek et al. 1990; Paslick et al. 1993) og fremstår som en ØNØ–VSV orienteret riftdannelse gennem et stabilt grundfjeldsskjold (primært det ketilidiske orogen). Provinsen er karakteriseret af forkastningsdannelser,

aflejringer af sedimenter og basiske vulkanitter samt intrusioner af basiske gange og store alkaline intrusive komplekser (Fig. 18). Uden for selve riftzonen forekommer der talrige basiske gange i det tilgrænsende grundfjeld. Gardar Perioden kan opdeles i tre aldersgrupper. En ældste gruppe fra ca. 1300–1270 mill. år, en mellemgruppe fra ca. 1250–1200 mill. år og en sen gruppe fra ca. 1185–1120 mill. år. Den sene gruppe omfatter hovedparten af de intrusive komplekser med bl.a. den kendte Ilímaussaq intrusion med de stærkt alkaline (agpaitiske) nefelinsyenitter (Bailey et al. 1981). Den sydligste del af denne intrusion er blevet kortlagt i stor detalje på et ortofotogrundlag, og kortet er publiceret i skala 1:20 000, efter blotningskartering i felten i 1:10 000 (Fig. 16B). Denne detailkartering (Andersen et al. 1988) er et fint eksempel på, hvordan tolkning af intrusionens lagdelte opbygning er nøje koblet til de kortlægningsmæssige data.

## B) Kridt – Palæogen sedimenter og vulkanitter i Nuussuaq Bassinet i det centrale Vestgrønland

Kridt – Palæogen bjergarterne i regionen mellem 69°30'N og 72°N i Vestgrønland er repræsenteret på otte færdigkompilede geologiske 1:100 000 kortblade, hvoraf de syv er publiceret tidligere og et trykkes sent i 2001. Den første kortlægning fandt sted i 1960'erne, men det egentlige regionale kortlægningsarbejde inden for denne region påbegyndtes tidligt i 1970'erne (Rosenkrantz et al. 1974) og er med mellemrum blevet fortsat siden. Kortlægningen er i vid udstrækning foregået på flyfotografier ved anvendelse af fotogrammetriske principper og metoder, og

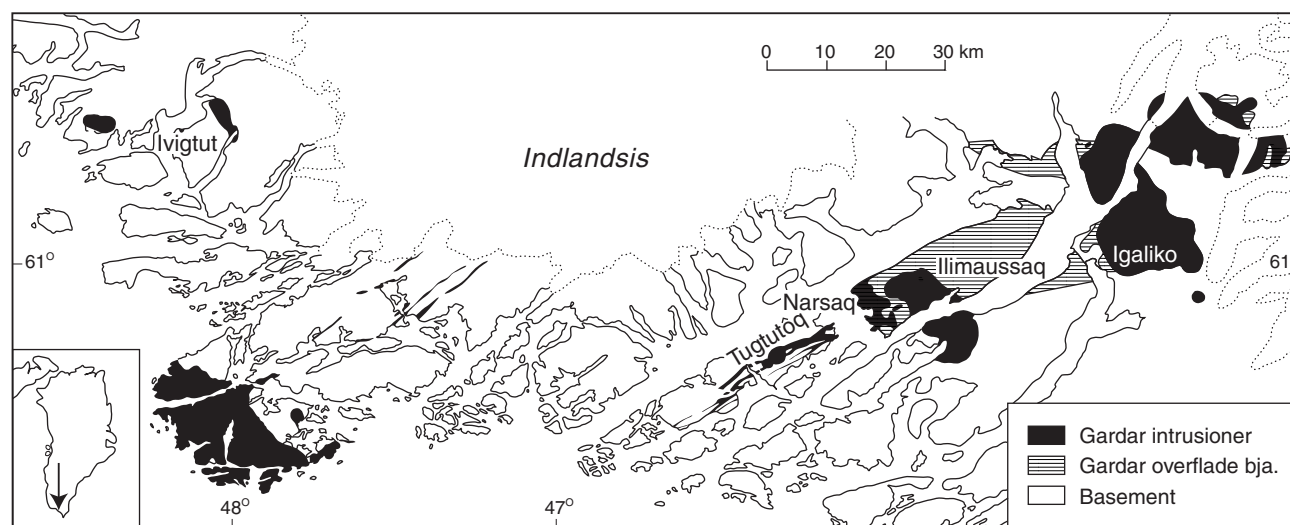


Fig. 18. Regionalt oversigtskort over Gardar Provinsen i det sydlige Grønland. Efter H.Sørensen in press.



arbejdet har gennem alle årene været koblet til en foto-geologisk metodeudvikling (Dueholm & Pedersen 1992). Dette har ført frem til, at de nyeste kortblade fra dette område repræsenterer en kortlægningskvalitet, der er bedre end fra de fleste andre steder i Grønland (Fig. 19). Omkostningsniveauet for feltarbejde har været meget moderat set i sammenligning med f.eks. arbejdet i grundfjeldet i det sydlige Vestgrønland, og det har kunnet gennemføres med forholdsvis få geolog-sæsoner pr. kortblad og har været baseret på en logistik med kuttertransport og begrænset helikopterstøtte.

En meget stor del af selve kortudtegningen har kunnet gennemføres fotogrammetrisk i laboratorierne i København. Forudsætningerne for denne rationelle arbejdsgang har selvfølgelig været, at luftbillederne rummer de fornødne data, at blotningsgraden er stor, og at geologien egner sig for flyfotoudtegning. Dette sidste er netop tilfældet i den omtalte region, hvor strukturer og stratigrafi i den velbandede serie med lagdelte sedimente og plateaubasalter fremgår med stor klarhed fra luftbillederne. Flyfotogrunderlaget med de regionale lodbilleder er i nogle områder blevet suppleret med serier af skråbilledfotografier fra håndholdte kameraer, optaget af geologerne selv under feltarbejdet. Herved er der skabt grundlag for en tredimensional fotogrammetrisk analyse af den geologiske opbygning af udvalgte dele af regionen, og samtidigt har en række detailstudier gjort det muligt med stor præcision at beskrive den dynamiske udvikling i bassinet. Medens det tidlige karteringsarbejde i basalterne udelukkende var baseret på litologiske principper, udvikledes senere en arbejds-metode, hvor lagseriernes geokemiske forhold også blev anvendt til at skelne mellem de forskellige stratigrafiske enheder. Som basis herfor blev der udført et meget stort antal geokemiske analyser på systematisk indsamlede prøveserier op gennem lagserierne, således at den nu opstillede og kortlagte basaltstratigrafi i høj grad afspejler en kombineret litologisk og geokemisk inddeling (L.M. Larsen & Pedersen 1990).

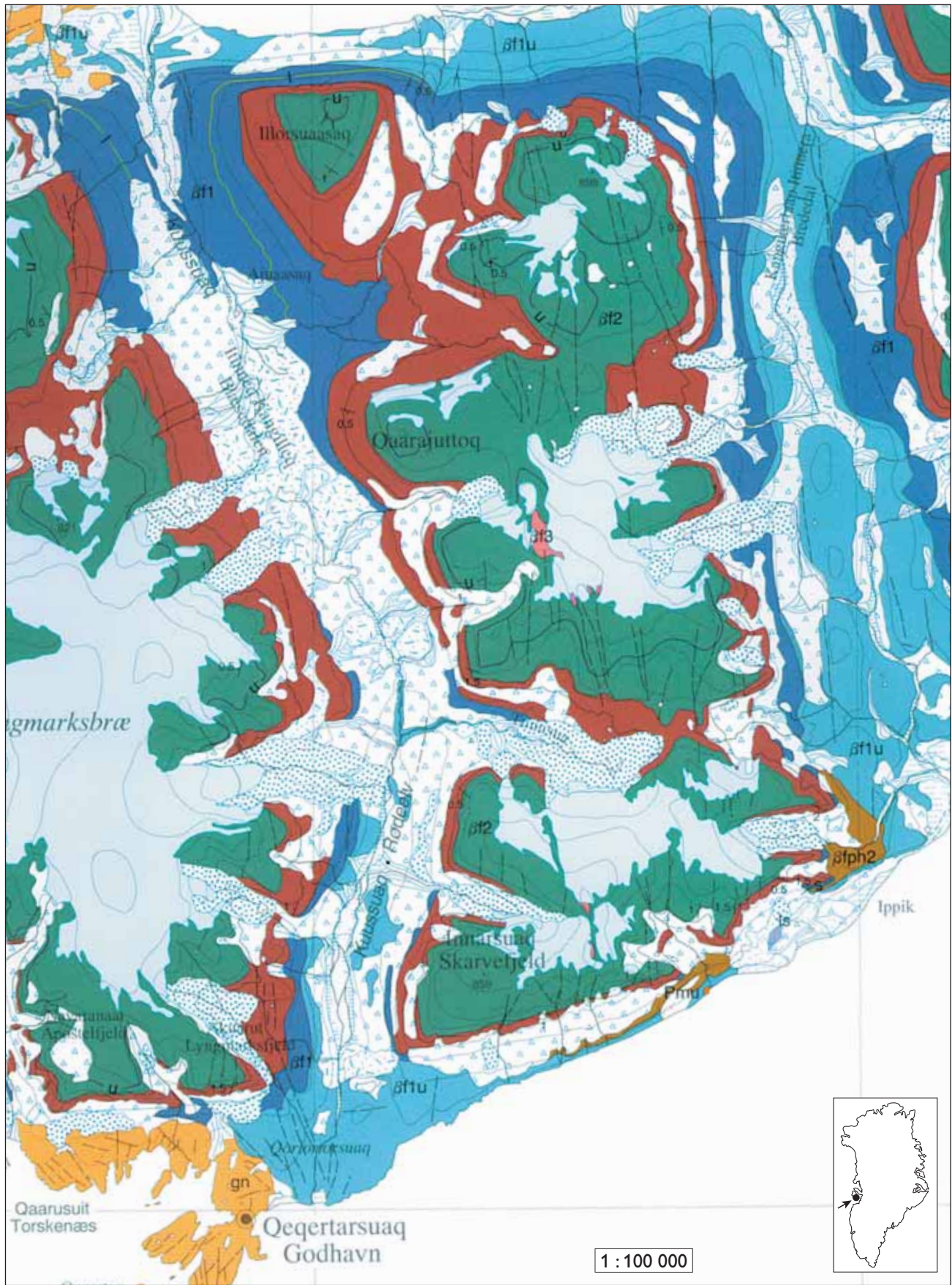
Samspillet mellem kortlægning og den fotogrammetriske metodeudvikling samt tolkning og forståelse af den geologiske opbygning har fra begyndelsen været forbilledlig. Projekterne har været baseret på et samarbejde mellem forskere ved GGU/GEUS, Geologisk Museum (Københavns Universitet) og Institut for Landmåling og Fotogrammetri (Danmarks Tekniske Universitet). Ud over disse kortlægningsaktiviteter og metodestudier er der i tilknytning til arbejdet gennemført en lang række stratigrafiske, sedimentologiske og geokemiske studier i sedimenterne og basalterne, således at der er opnået en detaljeret forståelse af bassinets udvikling (G.K. Pedersen &

Pulvertaft 1992; Dam & Sønderholm 1994, 1998; A.K. Pedersen et al. 1996; G.K. Pedersen et al. 1998; Storey et al. 1998; Dam et al. 2000).

Den geologiske udvikling af Nuussuaq Bassinet s.l. med dets Kridt-Palæogen sedimente og palæogene basaltserie er baggrunden for en oliegeologisk interesse for denne region, efter påvisningen af olieudsivninger nær forkastningszoner i basalterne på det vestligste Nuussuaq, på Disko og i Svartenhuk Halvø området (Christiansen et al. 1994, 2000; Bojesen-Koefoed et al. 1999). Her kommer den geologiske kortlægning ind i billedet som et værdifuldt grundlag for tolkning og forståelse af regionens opbygning og potentiel. Det må dog klart erkendes, at kortlægningen af denne basalt dominerede region ikke oprindeligt var planlagt som baggrund for en efterfølgende oliegeologisk efterforskning.

Nuussuaq Bassinet begrænses mod øst af et tensionsbetinget forkastningssystem i NNV-lig retning langs randen af det prækambriske grundfjeldsskjold (Chalmers et al. 1999). I bassinet aflejredes først en mere end 8 km tyk sedimentlagpakke fra tidlig Kridt til seneste Kridt (Maastrichtien). I den sydlige del består sedimenterne af fluviatile deltiske aflejringer, men mod nord går de over i marine lerede sedimente. Allerede i tidlig Campanien blev området tektonisk ustabil, og indtil midten af Paleocæn afsattes en række klastiske sedimente med bl.a. en op til 2,5 km tyk serie af turbiditiske sandsten (Dam & Sønderholm 1994, 1998; Dam et al. 2000). Disse aflejringer dannedes i forbindelse med forkastningsbevægelser, hævning og erosion af dele af bassinets østlige randzone og det tilgrænsende grundfjeld.

Den vestgrønlandske basaltprovins er på land blotet fra Disko (ca. 69°N) til Svartenhuk Halvø (73°N), men der forekommer også basalter i store dele af det tilgrænsende sokkelområde. I offshore området, hvor udforskningen er sket i nær tilknytning til undersøgelserne på land (Chalmers et al. 1999), dækker basalterne en region, der er fem gange større end det blottede areal på land, svarende til i alt ca. 100 000 km<sup>2</sup> (Christiansen et al. 2000). Eruptionerne fandt sted i to faser/perioder: først i et tidsrum på ca. 1½ mill. år fra 60,7 +/- 0,5 til 59,4 +/- 0,5 mill. år (Storey et al. 1998) og senere i en periode for omkring 52,5 mill. år siden, hvilket er henholdsvis tidligste Selandian og tidlig Eocæn. Basalernes vertikale tykkelse på land er 2-3 km, men da depocentret flyttede sig sideværts med tiden, er den stratigrafiske mægtighed betydeligt større. De blottede lagseriers opbygning viser, at eruptionerne begyndte som submarine dannelser længst mod vest og resulterede i afsætninger af hyaloklastit breccier, der opad afløses af subaeriske flows. Herved opbyggedes en vestlig afgrænsning for en marin havarm, der snart efter blev afsnøret mod





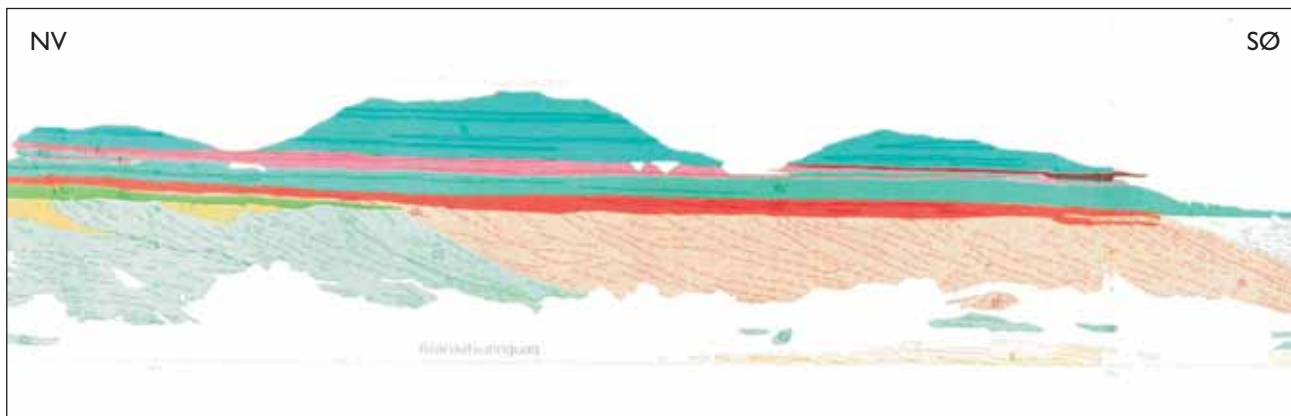


Fig. 20. Udsnit af et fotogrammetrisk kompileret ca. 75 km langt profil i skala 1:20 000 langs den sydvestlige kyst af Nuussuaq (ca. 70°15'N), i det centrale Vestgrønland (A. K. Pedersen et al. 1993). Udsnippet viser den nordvestlige ende af profilet på et sted, hvor subaeriske palæogene lavaer løb ud i en sø mod øst og dannede 700 m høje skråtstillede aflejringsflader (foresets) af hyaloklastiter. På figuren vises, hvorledes to members, angivet med henholdsvis grønne og rødlige farver, overgik fra fladtliggende subaeriske flows (stærkere farver) til skråtstillede østhældende hyaloklastiter (lysere farvetoner), da lavaerne løb ud i søen. Højere oppe i lagserien ses fladtliggende flows, der først længere mod øst (uden for det viste udsnit) løb ud i søen og dannede foresets. Det viste udsnit er 6,8 km langt, og højden på fjeldet er ca. 1400 m.

nord og udviklet til en sø (A.K. Pedersen et al. 1996). Vulkanismen fortsatte med ekstrusioner, der løb ud i søen mod øst, hvor der opbyggedes en aflejringsrampe med deltatisk struktur med op til 700 m høje skrålejringsflader (foresets), der viser, hvor dyb søen må have været. Deltadannelsen udviddede og flyttede sig mod øst, og gradvist opfyldtes søen af hyaloklastiske sedimenter fra basalterne mod vest og samtidigt aflejredes klastiske sedimenter fra grundfjeldet mod øst (G.K. Pedersen et al. 1998). Den trinvis indsnævring af søens areal kan følges gennem fem stadier.

Den detaljerede oplukning af den strukturelle opbygning af den vulkanske lagserie på Disko og Nuussuaq, med dens relationer til den samtidige marine havarm og senere sø mod øst, er resultatet af en sammenstyknings af feltmæssige, litologiske, geokemiske og fotogrammetriske data. Et af produkterne af dette arbejde er en meget nøjagtig fotogram-

metrisk udtegnings af et ca. 75 km langt profil langs Nuussuaqs sydvestkyst (Fig. 20). Profiludtegningerne er baseret på geologernes egne skråfotooptagelser, der er blevet geometrisk relateret til en fotogrammetriske kortudtegnings (A.K. Pedersen et al. 1993). Kun gennem anvendelse af denne metode har det været muligt med stor sikkerhed og præcision at belyse en meget speciel geologisk udvikling, der spænder over en kort periode på ca. 1½ mill. år for ca. 60 mill. år siden. Detailanalyse-mulighederne inden for serien er endog ikke udtømte med denne fremstilling, og for nyligt er der beskrevet en detaljeret udviklingsserie med vulkanske og tektoniske hændelser inden for et snævert tidssegment på kun ca. 5000 år (A.K. Pedersen et al. in press).

### C) De kaledoniske foldebjerge i Nordøstgrønland

Dette foldebælte opstod ved kollision mellem kontinenterne Laurentia og Baltica i tidsrummet mellem sen Ordovicium og tidlig Devon ved lukning af det mellemliggende Iapetus Ocean. Den vestlige del af foldebæltet udvikledes i Grønland med et 'mio-geosynklinalt' præg, medens østsiden i Skandinavien havde en mere 'eugeosynklinal' karakter, med forekomsten af basiske vulkanitter af oceanisk affinitet. Det systematiske arbejde i de kaledoniske foldebjerge i Grønland blev under Lauge Kochs ledelse initieret med »De Danske Ekspeditioner til Østgrønland 1926–58« (se side 22). GGU/GEUS har efterfølgende fra 1968–1998 nykarteret og delvist genkortlagt hele

← Fig. 19. Geologisk kort i skala 1:100 000 over den sydlige del af øen Disko i det centrale Vestgrønland. Udsnit af kortbladet Uiffaq, 69 V.1 Syd (A. K. Pedersen et al. 2000). Udsnippet viser den geologiske opbygning af en fladtliggende paleocæn basaltlagserie, der diskordant overligger et prækambrisk basement af gnejser. Farverne angiver: Gnejs (gul), samt Maligât Formationens basaltenheder vist nedefra og opefter med mellemblå, mørkeblå, brunlige, grønne og lyst rødlige farver. De kvartære dækbjergarter, hvor der skelnes mellem op til 10 typer, er vist med lyse blå raster. Dette kort, der i skrivende stund er det sidst udgivne GEUS kort i 1:100 000 serien, er kompileret fotogrammetrisk og repræsenterer en meget høj præcision med en nøjagtighed, der svarer til mindre end 10 m i naturen.



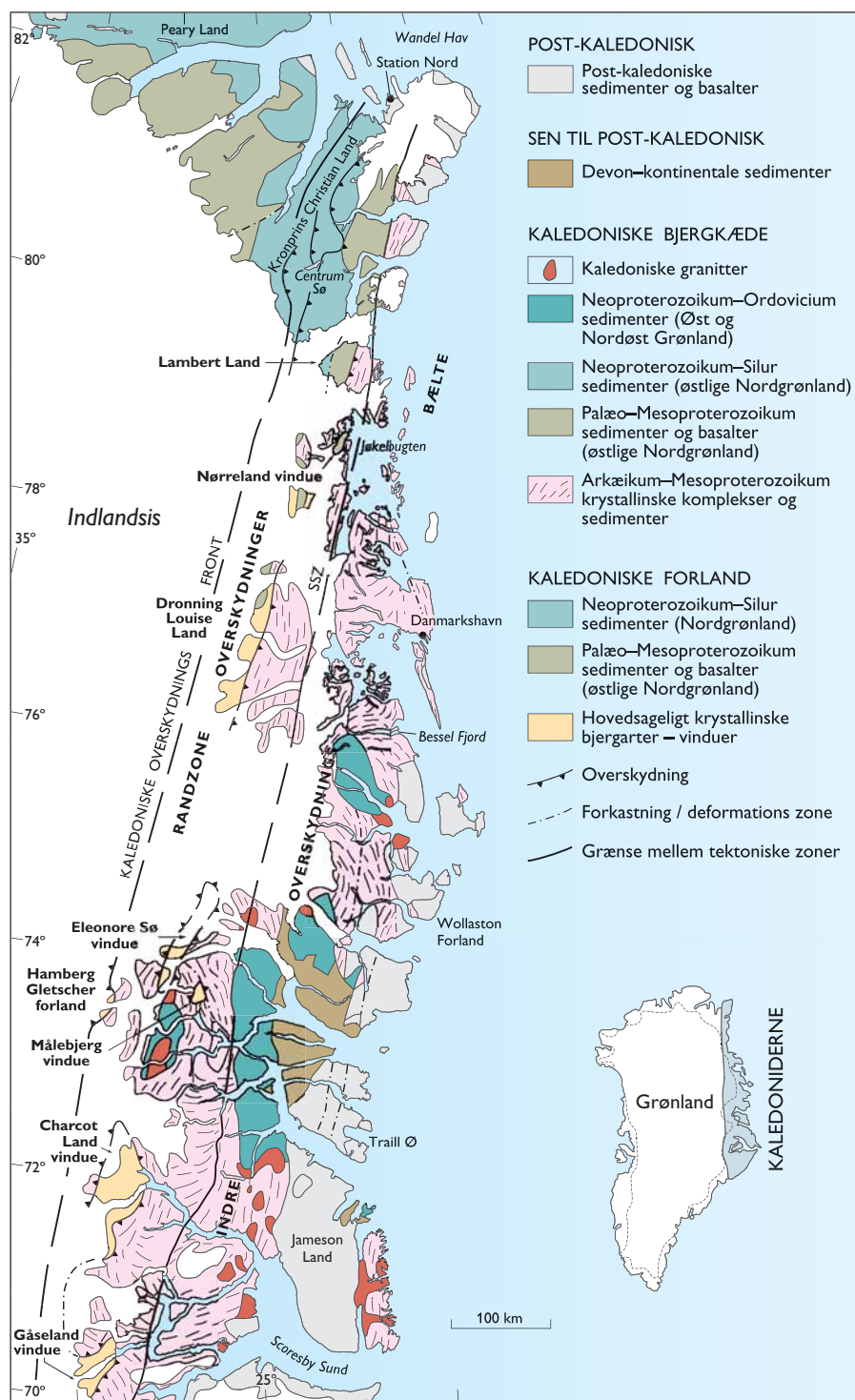


Fig. 21. Oversigtskort over det kaledoniske foldebælte i Nordøstgrønland. Efter Higgins & Leslie 2000.

foldebæltet fra Scoresby Sund regionen (70°N) i syd til Kronprins Christian Land (82°N).

De østgrønlandske kaledonider har en udstrækning på ca. 1300 km fra Scoresby Sund i syd til Kronprins Christian Land i nord (Fig. 21). Orogenet er udviklet som et nord-syd forløbende bælte langs randen af den nordøstlige del af det prækambriske grønlandske grundfjeldsskjold. Foldebæltet er komplekst

sammensat og indeholder basament segmenter fra flere tidligere orogener, samt en tyk neoproterozoisk – silur lagserie af lavtvands-afsatte sedimenter. Såvel basament enhederne som de overliggende sedimenter forekommer som store vestrettede overskydningsdækker, der er skudt ind over det grønlandske grundfjeldsskjold i forlandet, der i dag næsten er skjult under Indlandsisen. Forlandet er blottet i en

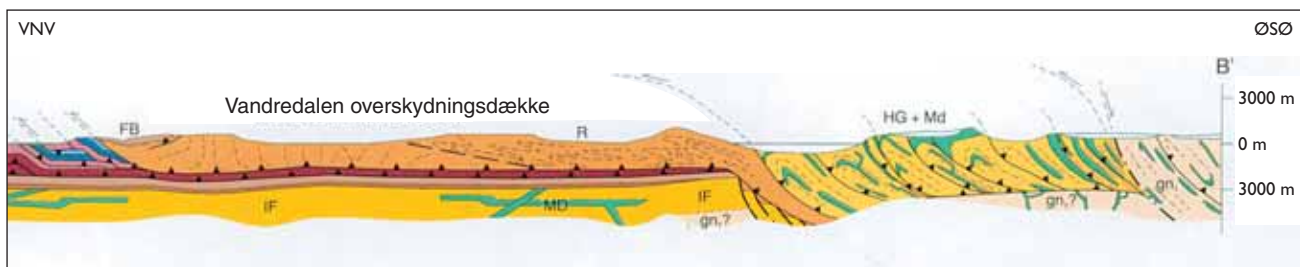
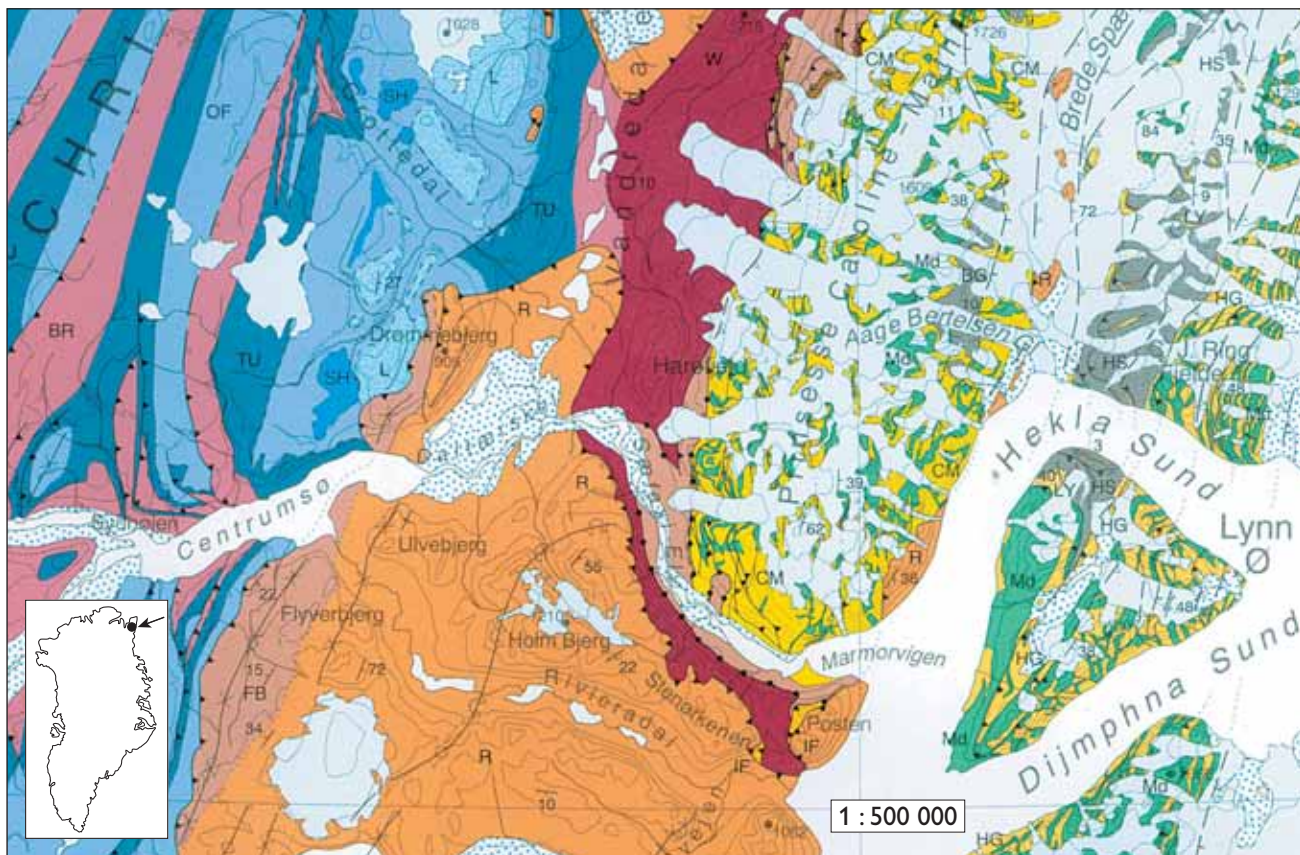


Fig. 22. Geologisk oversigtskort i skala 1:500 000 over dele af det centrale Kronprins Christian Land i den østligste del af Nordgrønland (ca. 80°00'–80°30'N). Udsnit af oversigtskort nr. 9, Lambert Land (Jepsen 2000). Dette kort er kompileret med anvendelse af en kombination af felddata og fotogrammetrisk udtegning, og teknisk er kortet udelukkende fremstillet med anvendelse af digitale metoder. Udsnittet viser mod øst et område med kraftigt kaledonisk foldede proterozoiske sedimenter (CM - gule farver) og basiske vulkanitter (Md & HS - grønne farver). Centralt i figuren forekommer et stort overskydningsdække med neoproterozoiske sandsten (R - lys brungul farve), der er transporteret hen over neoproterozoiske og nedre palæozoiske sedimenter (FB & W - lyse og mørke brunlige farver). Mod vest forekommer en serie mindre overskydninger med palæozoiske sedimenter (BR, TU & OF - lilla og blå farver). Figuren viser også et profil (1:500 000), der illustrerer den geologiske strukturelle opbygning, der er indeholdt i kortet. Profillinien skærer gennem det sydvestlige hjørne af kortudsnittet. Længst mod sydøst i profilet ses kaledonisk påvirkede nedre proterozoiske gnejser (gn) med amfibolitter (lys grønne).

række tektoniske vinduer, samt i nunatakzonen i randen af Indlandsisen.

Det præ-kaledoniske basement omfatter enheder fra tre tidligere orogener: 1) et arkæisk kompleks med ca. 2700–3000 mill. år gamle bjergartsenheder (Steiger et al. 1979; Henriksen 1985), 2) et palæoproterozoiske kompleks hvoraf en stor del består af nydannet granitisk skorpemateriale opstået for 1750–

2000 mill. år siden (Kalsbeek et al. 1993; Thrane in press) og 3) et mesoproterozoiske – ældste neoproterozoiske kompleks bestående af metamorfoserede og migmatitiserede klastiske sedimenter og granitoide intrusioner (Krummedal suprakrustal serien, Higgins 1988; Kalsbeek et al. 2000). Disse tre metamorfe krystallinske komplekser danner et sammensat basement-underlag for de sedimentære aflejringer i de to

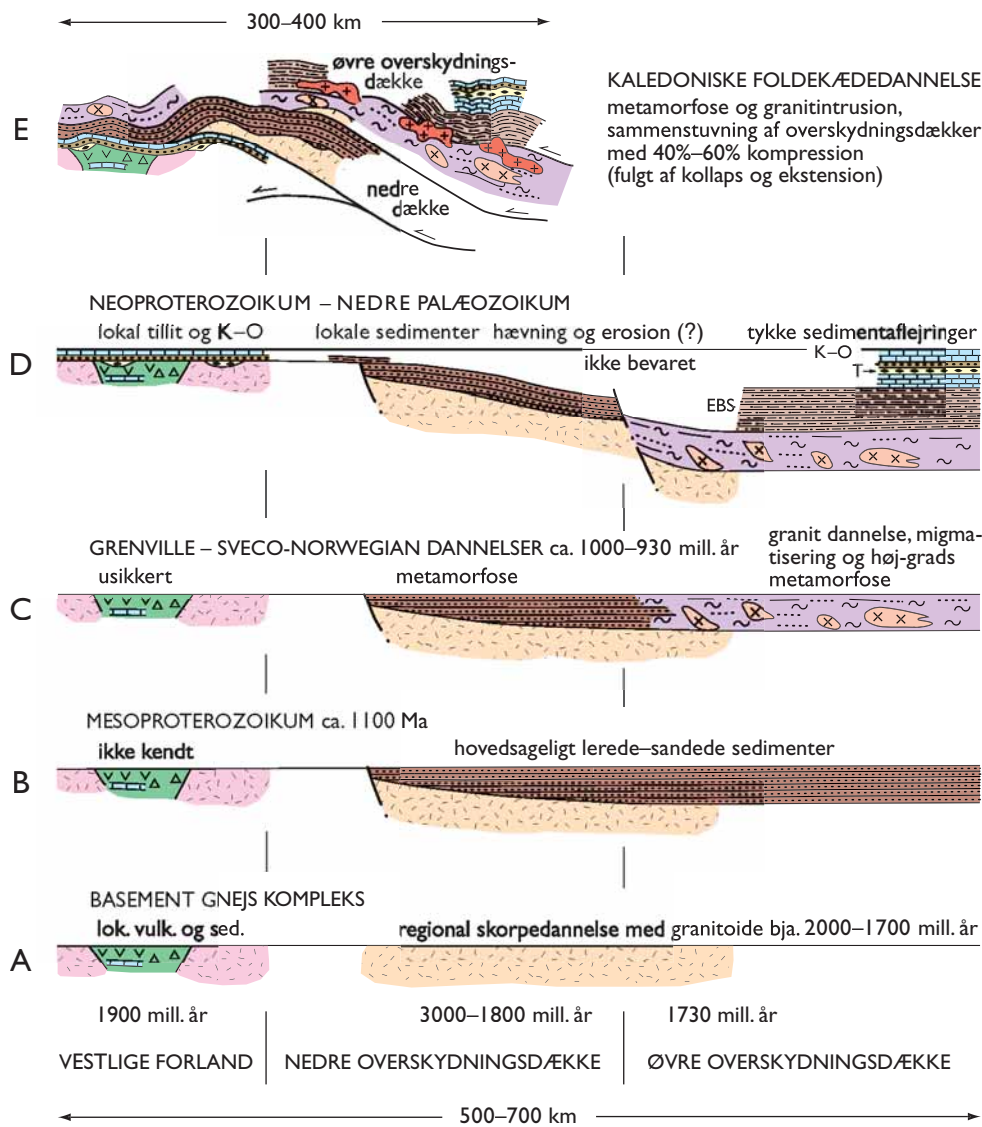


Fig. 23. Model for den trinvis udvikling af den sydlige del af det kaledoniske foldebælte i Nordøstgrønland. Figuren viser den tænkte geografiske placering af de mesoproterozoiske (B) og neoproterozoiske bassindannelser (D) øst for den nuværende kyst i Østgrønland og angiver, hvordan en mesoproterozoiske orogenese (C: Grenville epoke – ca. 1000 mill. år) har påvirket de tidlige bassinaflejringer. Resultatet af den kaledoniske overskydnings-tektonik ses på snit E, der repræsenterer den nuværende opbygning, som den er blevet udredet i forbindelse med kortlægningen. Efter Higgins & Leslie 2000, Higgins et al. 2001.

**Legende**

- |  |  |
|--|--|
| Kaledoniske granitter (ca 445–425 mill. år)                          | Metamorfe vulkanske og sedimentære bjergarter (ca 1900 mill. år) |
| Tidlig Neoproterozoiske granitter (ca 930 mill. år)                  | Prækambrisk grundfjeldsskjold (ca 1900 mill. år)                 |
| Kambrium–Ordovicium (K–O) karbonater. (ca 540–460 mill. år)          | Kaledoniske basemnt gnejser (ca 3000–1700 mill. år)              |
| Tillit gruppe (ca 610–560 mill. år)                                  |  |
| Kambriske sandsten (ca 540 mill. år)                                 |  |
| Eleonore Bay Supergruppe sedimenter (ca 850–610 mill. år)            |  |
| Krummedal sedimenter; metamorfe skifre (ca 1000 mill. år)            |  |
| Gnejser og migmatiter; Grenville – Sveco–Norwegian (ca 950 mill. år) |  |

store marine bassiner, der udvikledes langs randen af det grønlandske grundfjeldsskjold. Bassinet i den sydlige del af foldebæltet indeholder en 18,5 km tyk lagserie af lavtvandsdannelser, der tidsmæssigt spænder over ca. 400 mill. år fra den nedre del af Neoproterozoikum (Riphean) til den øverste del af Ordovicium. Aflejringsserien her omfatter den ca. 14 km mægtige Eleonore Bay Supergruppe (EBS), hvis nederste del består af siliciklastiske sedimenter og som

opad går over i en biogen karbonatdomineret del. Oven over EBS følger Tillit Gruppens glacigene aflejringer, der er af vendisk alder (Hambrey & Spencer 1987), og til sidst afsattes Kong Oscar Fjord Gruppens kambro-ordoviciske karbonatlagserie (Peel 1982; Smith et al. in press). Bassinet i den nordlige del af foldebæltet i Nordøstgrønland omfatter aflejringer af mesoproterozoiske sandsten og basalter (Collinson 1980, 1983; Kalsbeek & Jepsen 1984) samt en lagserie



af neoproterozoiske–silure sedimenter. Denne sidste del består i den nedre del af en klastisk sedimentserie (Rivieredal Group), afsat i et riftrelateret bassin (Higgins et al. 2001 a). Disse følges af Hagen Fjord Gruppens siliciklastiske og karbonatdominerede sedimenter fra den yngste del af Neoproterozoikum (Sønderholm & Jepsen 1991), og over disse igen forekommer en karbonatdomineret lagserie fra nedre Palæozoikum, der afsluttes med turbidit dominerede klastiske sedimenter fra øverste Silur (Fig. 22).

Ved den kaledoniske orogenese dannedes en række karakteristiske granitoide intrusioner af S-type primært opstået ved partiel opsmeltning af de mesoproterozoiske Krummedal sedimenter (Watt et al. 2000; Kalsbeek et al. 2001). Disse kaledoniske granitters udbredelse og forekomst er begrænset til den sydlige del af foldebæltet, hvor de kun findes i det øverste af de to meget store overskydningsdækker. Granitterne intruderede stedvis de neoproterozoiske Eleonore Bay Supergruppe sedimenter.

Foldebjergenes vestligste bælte er karakteriseret af en randzone med højtliggende overskydninger (»thin-skinned« strukturer), medens det indre overskydningsbælte er karakteriseret af dybtliggende »thick-skinned« strukturer med et lag af dækbjergarter (Fig. 21). En rekonstruktion af den sydlige del af foldebæltets tilblivelse viser, at overskydningerne sammenlagt repræsenterer op til flere hundrede kilometer store bevægelser, hvilket medfører en lateral forkortelse på 40–60% på tværs af orogenets længdeakse. Aflejringerne i det neoproterozoiske – ordoviciske bassin, må oprindeligt være afsat mindst 200 km øst for det område, hvor man i dag finder lagserien bevaret i forlandets tektoniske vinduer (Fig. 23; Higgins & Leslie 2000; Higgins et al. 2001 b). Den kaledoniske metamorfe påvirkning spænder vidt. Dele af sedimenterne fra Eleonore Bay Supergruppe til Kong Oscar Fjord Gruppe aflejringerne er næsten uomdannede, medens de krystallinske komplekser hyppigst har amfibolitfacies paragenerer. I den nordlige del af foldebæltet forekommer en region hvor eklogitfacies relikter viser, at dette segment har været udsat for omdannelser, der har fundet sted ca. 60 km nede i jordskorpen (Gilotti & Elvevold 1998; Elvevold & Gilotti 2000). Overskydningerne blev dannet senere end størstedelen af de regionale metamorfe påvirkninger, og overskydningsplanerne skærer derfor stedvis gennem de metamorfe faciesgrænser. Dette bevirker, at højmetamorfe enheder kan findes oven på enheder med en lavere metamorfosegrad, hvilket er en tektonisk betinget såkaldt invers metamorf zoner. Foldebæltets sene strukturelle udvikling præges af ekstensions- og aflastningsstrukturer, der opstår samtidigt med en generel hævnning og dannelse af et molassebassin i Devon–Karbon.

## D) Nedre Palæozoikum i Nordgrønland – det franklinske bassin og den ellesmeriske orogenese

Oversigtskortlægningen af Nordgrønland i årene 1978–1985 førte til den første regionalgeologiske analyse af sedimenterne i denne del af Grønland. Her forekommer aflejring i det store nedre palæozoiske franklinske bassin, der fra Grønland fortsætter mere end 1000 km vestover ind over de arktiske øer i Canada. Resultaterne fra Grønland omfatter en detaljeret stratigrafisk, palæontologisk og sedimentologisk undersøgelse af en Kambro-Silur sedimentær lagfølge. Mod syd består den af en shelfsekvens med en 3–4 km mægtig karbonatlagserie med lavtvandsaflejring, og mod nord består den af en mindst 8 km tyk serie af samtidigt aflejrte klastiske dybhavs-sedimenter. Bassinudviklingen fandt sted i et øst-vestgående strøg, der kan følges over mere end 800 km på tværs af Nordgrønland. I Grønland er bæltet op til 250 km bredt i N–S retning. De yngste bassin-aflejring i Nordgrønland er af nederste Devon alder, og herefter stoppes bassinudviklingen af den ellesmeriske orogenese, der primært påvirker dybhavsaflejringerne i den nordligste del af området. Tidspunktet for bjergkædedannelsen i Nordgrønland er ikke blevet fastlagt særlig nøjagtigt. Den begrænses stratigrafisk af sediment fra Nedre Devon og Øvre Karbon, men sammenligninger med Canada og Svalbard giver grund til at antage en alder på omkring sen Devon til tidlig Karbon (ca. 365–345 mill. år).

Bassinudviklingen i Nordgrønland omfatter en trinvis udvikling med syv stadier (Higgins et al. 1991), hvor de ældste shelfdannelser er fra tidligste Kambrium og består af siliciklastiske sedimenter (Fig. 24). Herefter skete der en tydelig differentiation i Nedre Kambrium mellem en lavtvandsafsat karbonatlagserie på shelfen mod syd og en dybtvands aflejring med lerede sedimenter i truget mod nord. Denne adskillelse fortsattes, stadig i Nedre Kambrium, med karbonataflejring på shelfen og med turbiditisk klastiske sedimenter i dybhavsområdet. Fra den øverste del af Nedre Kambrium til Mellem Ordovicium er der klar forskel på sedimentations-hastighederne på shelf og i dybhavstrug. På shelfen afsattes en tyk karbonatlagserie, medens der i truget aflejrtes en meget tyndere klastisk sedimentpakke, der vidner om en begrænset sedimenttilførsel (starved slope and trough). Dette mønster fortsatte videre gennem Mellem–Øvre Ordovicium, med en yderligere accentueret mangel på sedimenttilførsel i dybhavsregionen. På overgangen til Silur skete der en dramatisk ændring i bassinudviklingen. Mod nord begrænsedes shelfen af en karbonatrampe med udvikling af revdannelser og randafsætninger omkring disse. I truget nord der-

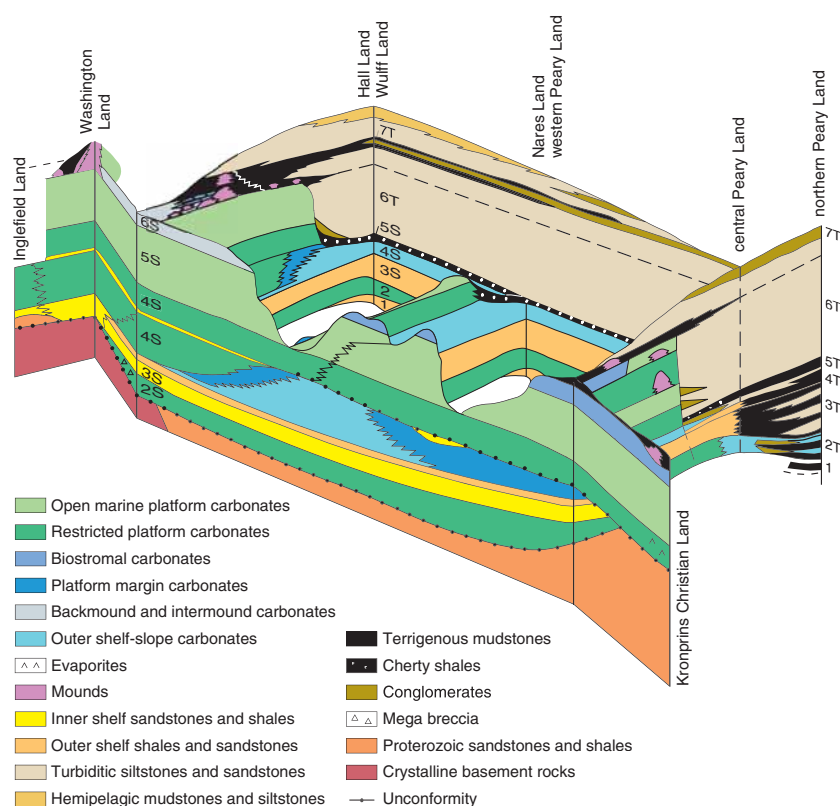


Fig. 24. Blokdiagram der viser opbygningen af det franklinske bassin i Nordgrønland. Mod syd findes en karbonat shelf, der blev dannet gennem fem stadier (2-6S) fra Kambrium-Silur. Shelfen går mod nord over i et samtidigt udviklet dybhavstrug med klastiske sedimenter, der opdeles i syv stadier (1-7T). Sedimentlagserien på shelfen er ca. 3-4 km tyk, medens den i truget mod nord bliver mindst 8 km mægtig. Blokdiagrammet spænder over ca. 700 km fra øst-vest og ca. 200 km fra syd-nord. Figuren er reproduceret fra en engelsksproget originalversion. Legenden viser de forskellige aflejringstyper. Det underliggende »basement« er vist med orange og mørkebrunt. I bassinet er karbonatbjergarterne vist med grønne og blå farver, medens sandsten og lerede bjergarter vises med gullige og brunlige farver. De meget finkornede muddersten er vist med sort. Efter Higgins et al. 1991.

for skete der en kolossal forøgelse af sedimenttilførslen fra sen Sen Llandovery med udvikling af en flere kilometer tyk serie af turbiditiske aflejringer. Denne hastigt forøgede sedimenttilførsel, med en materialetransport fra øst mod vest parallel med bassinets længdeakse, tolkes som forårsaget af erosion af opskudte overskydningsdækker fra den kaledoniske bjergkædedannelse i Nordøstgrønland (Surlyk & Hurst 1984). Den sidste del af bassinudviklingen fandt sted i den mellemste-øverste del af Silur, hvor de klastiske turbiditaflysninger fra truget bredte sig ind over shelfområderne og afløste karbonataflejringerne. Beregninger af sedimentvolumet i de silure turbiditaflejringer i Nordgrønland har vist, at disse hører til blandt verdens største med mere end to millioner km<sup>3</sup> turbiditiske sedimenter aflejret som et dybhavsfansystem over et område på mere end 1000×200 km (Surlyk 1995).

Den ellesmeriske foldning opstod ved kollision mellem Nordgrønland og et ukendt kontinent nord derfor. Foldebæltet har i dag både i Nordgrønland og i den nordlige del af Ellesmere Island (Canada), en øst-vestlig udstrækning med foldebjerge, der forløber parallelt med grænserne mellem de sedimentære facies i det franklinske bassin. I Nordgrønland er deformationerne mest intense mod nord, hvor der kan skelnes mellem tre foldefaser, og hvor bjergarterne er

blevet metamorfoserede i op til lav amfibolitfacies. Deformationerne aftager mod syd og når deres sydligste grænse omtrent i strøget, hvor shelf- og dybhavsaflejringerne mødte hinanden i bassinet før den seneste udvikling (Fig. 25). Der skelnes mellem tre tektoniske zoner. En nordligste zone (»orthotectonic zone«) med tre foldefaser og sydligt hældende aksialplaner (nordlig vergens), en mellemliggende zone (»divergence and imbricate zone«), hvor vergensen ændres og en sydlig zone (»thin-skinned fold and thrust zone«) med sydlig vergens (Soper & Higgins 1987). Strukturerne i den sydlige zone tolkes som dannet ved kompression af trugaflejringerne mod en stejl karbonatrampe (escarpment), der danner grænsen til karbonatplatformen.

Kortlægningen blev primært baseret på en systematisk fotogrammetrisk instrumentudtegnning i skala 1:100 000 (Hougaard et al. 1991). Disse primære kort blev anvendt som udgangspunkt for feltarbejdet, og senere blev de suppleret med feltdata og færdigkompilet fotogrammetrisk. I datagrundlaget indgik også en serie småbilled-flyfotos, der blev optaget langs kystprofiler og dalstrøg under GGU-feltarbejdet (Henriksen & Higgins 1991). Detaljeringsgraden og den geometriske nøjagtighed af de kompilede 1:500 000 kort betragtes som god, og det forventes, at de generelle kortlægningsresultater i denne region vil

kunne holde en årrække, selvom nyt feltarbejde erfaringsmæssigt altid medfører ny erkendelse.

Det samlede antal afhandlinger, der er blevet publiceret som resultat af kortlægningsprojektet i Nordgrønland, overstiger 200, hvilket klart viser, at målsætningen for den integrerede kortlægnings- og almengemologiske indsats til fulde er blevet opfyldt i denne del af Grønland.

## Øvrige geologiske kortlægningsopgaver

Foruden den egentlige geologiske kortlægning af Grønland der resulterer i »bjergartskort« (engelsk: Bedrock maps; svensk: Berggrundskartan; norsk: Berggrunnsgeologiske kart), har GGU/GEUS gennem årene foretaget andre typer kortlægning. Beskrivelsen af disse øvrige kortlægningsaktiviteter falder uden for denne artikels emneområde, men disse andre typer aktiviteter omtales kort nedenfor for fuldstændighedens skyld. En detaljeret oversigt over hvilke forskellige andre typer publicerede kort, disse aktiviteter har resulteret i, findes i GEUS' publikationskatalog (Eriksen & Dawes 2000).

### 1) Kwartærgeologiske kort

Fire oversigtskort i skala 1:500 000 samt et kort i skala 1:1 000 000 der alle har samme bladinddeling som de geologiske oversigtskort (Fig. 26A). Der foreligger en beskrivelse til kortet over Scoresby Sund regionen (kort nr. 12, Funder 1990). En oversigt over hele Grønland findes på et kort i 1:2 500 000 trykt i 1971.

### 2) Geokemiske kort

i skala 1:1 000 000. Serie på 26 atlasblade over Sydgrønland med beskrivelse fra 1992. Andre geokemiske kort findes sammen med de tematiske kort.

### 3) Aeromagnetiske og elektromagnetiske kort

(Fig. 26B). Kort fra den centrale og sydlige del af Vestgrønland fra Nuussuaq (71°N) i nord til sydspidsen af Grønland (ca. 60°N). Kortene har varierende målestoksforhold fra 1:20 000 til 1:250 000. Endvidere er der publiceret en serie regionale magnetiske anomali-

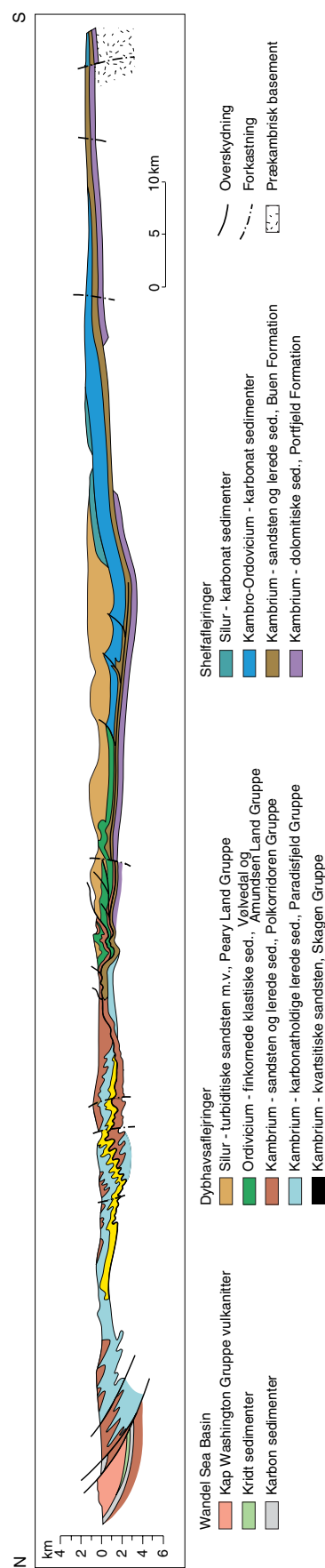


Fig. 25. Ca. 140 km langt profil gennem det nedre palæozoiske franklinske bassin i Nordgrønland ved ca. 40° Vest. Profiltværsnittet viser nordligst det palæozoiske ellesmeriske foldebælte og mod syd ufoldede kambro-silure karbonataflejringer. I den nordlige del ses, hvorledes foldernes hældning i den foldede zone skifter fra at være sydrettet længst mod nord til, via en neutral zone, at blive nordligt hældende længst mod syd op mod karbonatplattformen (Soper & Higgins 1987, 1990). Fra Henriksen et al. 2000.



kort fra Østgrønland fra ca. 60°–78°N med målestoksforhold 1:500 000 og 1:1 000 000. Derudover findes enkelte kort, der dækker områder i Nordgrønland. I alt findes over 300 forskellige farvetrykte aeromagnetiske og elektromagnetiske kort med beskrivelser og dataspecifikationer til mange af dem. Undersøgelsesresultater er publiceret fra 1984 til 2001.

#### 4) Tematiske kort

med regionale kompilationer af topografiske, geologiske, geokemiske og geofysiske data samt kort med oplysninger om mineraliseringer, informationer om flyfotografier og satellitbilleder. Disse data præsenteres som en større serie af enkelt-tema kort fra hver region. Hver serie omfatter typisk kort over 50–70 enkelt-temaer. De udgivne temakort serier dækker fire regioner, nemlig tre fra Vestgrønland (Sydlige Vestgrønland, Sydgrønland og Sydvestgrønland) og et fra Nordvestgrønland (Inglefield Land). Dette kortmateriale er ikke oplagstrykt, men leveres efter bestilling som plots eller på digitalt format.

#### 5) Maringeologisk kortlægning

Der er siden 1970'erne blevet gennemført en række kortlægningsaktiviteter i offshore områderne omkring Grønland, primært i forbindelse med olieefterforskning. Kortlægningen udgør ikke nogen systematisk arealdækkende aktivitet, så dækningsgraden er meget heterogen. De fleste data er fra områder ud for den centrale og sydlige del af Vestgrønland, men dertil kommer, at store dele af havområderne ud for Nordvest- og Østgrønland er blevet undersøgt på et rekognosceringsniveau. En samlet oversigt over offshore geologien er vist på og beskrevet sammen med det geologiske kort over Grønland i skala 1:2 500 000 (Henriksen et al. 2000), men offshore geologien indgår i øvrigt ikke i nogen systematisk kortserie.

De første offshore aktiviteter omfattede »shallow seismiske« dataindsamlinger i de vestgrønlandske sokkelområder (Denham 1974; Brett & Zarudzki 1979; Roksandi 1979) samt en generaliseret tolkning af olieindustriens seismiske data fra offshore Vestgrønland (Risum 1979). Østgrønland blev omfattet af det så-

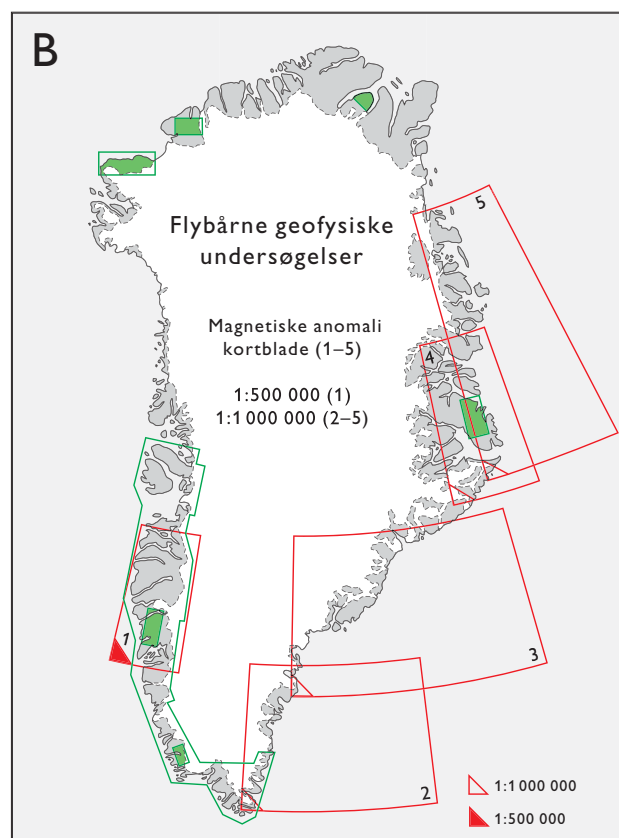
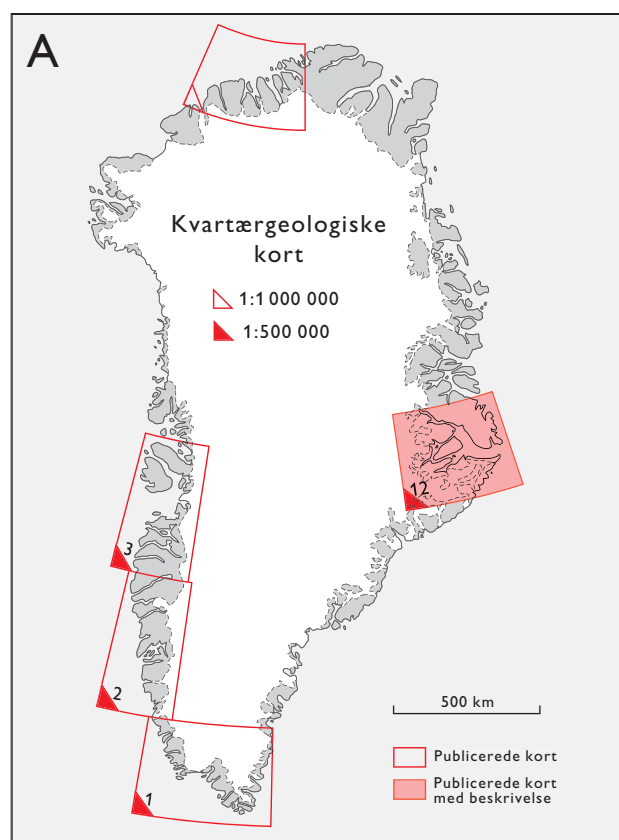


Fig. 26. Index der viser status for udgivelsen af nogle af de øvrige GEUS kort.

A: Kvartærgeologiske kort

B: Aeromagnetiske og elektromagnetiske kort. De sidste angives med grøn farve. Efter Dawes 2001.

kaldte North Atlantic D (NAD) project (H.C. Larsen 1985, 1990), der primært var baseret på flybårne geofysiske dataindsamlinger. I 1987 påbegyndtes en reprocessering og nyfortolkning af 70'ernes seismiske data fra offshore Vestgrønland suppleret med forskellige videnskabelige undersøgelser (Chalmers 1989; Chalmers & Laursen 1995). I 1990 indledtes en ny storstilet seismisk dataindsamling og tolkning fra offshore områderne i såvel Vest- som Østgrønland, først som offentligt finansierede aktiviteter og derefter med KANUMAS projektet som industribetalte undersøgelser (Chalmers et al. 1993, 1995; Whittaker 1996; Whittaker et al. 1997).

De hidtidige publicerede offshore kort findes kun som oversigtskort i forbindelse med videnskabelige afhandlinger, og der er ikke anført specielle geologiske offshorekort i GEUS' publikationskatalog (Eriksen & Dawes 2000).

## Kommende kortlægningsopgaver og udviklingstendenser

Den geologiske kortlægning i Grønland er stadig en af GEUS's hovedopgaver, også selvom oversigtskortlægningen for nyligt er blevet afsluttet. De regionale geologiske undersøgelser og arbejdet med 1:100 000 kortlægningen fortsættes i udvalgte områder, der skønnes at have et økonomisk geologisk potentiale, eller en særlig videnskabelig interesse. Kortlægningen fortsættes altså ikke som et kontinuerligt arealdækkende projektførløb, men som en ad hoc baseret aktivitet, der fortsat kombinerer den videnskabelige og almengæologiske indsats med den arealdækkende kortlægning. GEUS's planlagte kortlægningsopgaver for perioden 2001–2003 omfatter et udredningsarbejde i regionen mellem Sønder Strømfjord (66°N) og Disko Bugt (69°N) i Vestgrønland i det palæoproterozoiske nagssugtoqidiske orogen. Samtidigt gennemføres en ressourceevaluering i samme område på lignende måde, som den der blev foretaget i Sydgrønland fra 1992–96 (se side 28). Arbejdet vil resultere i kompilation og publikation af mindst to stk. 1:100 000 kortblade fra området omkring Nagssugtoq (Nordre Strømfjord, ca. 67°30'N).

Udviklingen af metoder til digital bearbejdning af geologiske kortlægningsdata er allerede langt fremskredet, og det bliver efterhånden rutine at opbygge databaser, der danner grundlag for kortkompilation og oparbejdning af felt- og laboratorieresultater.

Den digitale database vil løbende kunne opdateres og suppleres med ny viden, som kan lægges til grund for eventuelle justeringer og nyfortolkninger. Dette

vil indebære store fordele set i forhold til de nuværende konventionelt fremstillede kort, der fastfryser et billede af et bestemt vidensniveau på et givet tidspunkt. Indtil nu er hovedseriernes kort blevet oplagstrykt, men med plotterteknikkens udvikling vil kortene engang i fremtiden kunne bestilles som »print on demand« eller leveres direkte på et digitalt medie som CD-ROM eller via Internettet, hvorfor behovet for oplagstryk reduceres. Dermed vil en opdatering kunne indarbejdes løbende og indgå i produktformidlingen til omverdenen. Faren ved denne metode er helt klart, at man risikerer, at databaserne udvikler sig til blot at være en »data dump«, uden at nyttilførslen af data medfører en egentlig bearbejdning og en kompilation af resultaterne, så de kan anvendes af brugere uden for GEUS. Det er min overbevisning, at det trykte kort altid vil have en plads i systemet alene af den grund, at bearbejdningen frem mod de trykte kort er meget krævende, og fordi manuskriptkortene underkastes en ekstern referee bedømmelse før trykning. Kortene underkastes dermed de samme kvalitetskrav som andre videnskabelige publikationer.

Gennem de senere år er en række af de tidligere udgivne kort blevet konverteret til et digitalt format, så de har kunnet udgives på CD-ROM (J.B. Sørensen 1998). I første fase er 11 af de 14 tidligere udgivne oversigtskort i 1:500 000 blevet scannet og overført til en CD-ROM på et rasterformat. Ved hjælp af et indbygget »reader program«, kan CD'erne anvendes direkte på enhver PC. Hvor der foreligger kortbladsbeskrivelser, er disse også medtaget på CD'en, og der er blevet indlagt en række links i teksten (Fig. 27). I princippet er disse rasterkort kun digitale afbildninger af de trykte kort, og det er ikke muligt direkte at viderebearbejde de viste data.

Der er også foretaget en digitalisering af en række af de eksisterende 1:100 000 kortblade fra Vestgrønland. Data fra disse kort er blevet vektoriseret, hvilket indebærer, at brugerne selv kan viderebearbejde grundlaget f.eks. ved at tilføje egne nye data eller korrigerende eksisterende data. Man kan f.eks. flytte eller justere laggrænser eller forkastninger, og materialet er således et værdifuldt grundlag for en eventuel mineralprospektering, hvor mineselskaber kan anvende disse kort som grundlag for egne efterfølgende undersøgelser. Bearbejdningen forudsætter mulighed for anvendelse af et GIS programmel som ARC INFO eller ARC VIEW. Indtil videre er 14 1:100 000 kortblade overført til digitalt format på denne måde, og i nærmeste fremtid vil også oversigtskortet i 1:2 500 000 blive tilgængeligt i en digital vektoriseret version samtidig med, at beskrivelsen til kortet kan indeholdes på samme CD-ROM (J. B. Sørensen 2000). En oversigt over CD-ROM kortene findes i »Catalogue of Green-



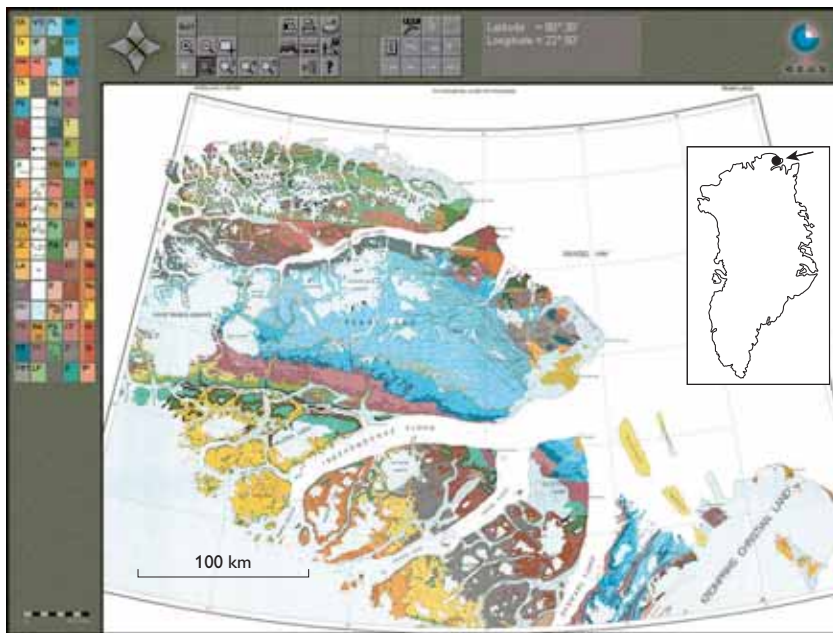


Fig. 27. Skærmafildning fra en CD-ROM udgave af 1:500 000 geologisk kort nr. 8, Peary Land. Denne udgave indeholder såvel kortdata som kortbladsbeskrivelse. Billedet viser, hvorledes der uden for kortrammen er anført en række knapper, der giver adgang til legende og til en række operative funktioner i CD-ROM serien.

land publications and data« (Eriksen & Dawes 2000).

Opsamlingen af kortlægningsdata på digitalt format er som tidligere nævnt foregået gennem en længere årrække ved den fotogrammetriske udtegnings og tolkning. Denne datamængde er i sig selv en tredimensional registrering af grænseforløb, forkastningsplaners rumlige placering, variation i litostratigrafiske enheders tykkelse m.v. Da det grønlandske landskab ofte har et betydeligt relief på op til nogle tusinde meter, er der med denne datagrube mulighed for at anskue forholdene rumligt og ekstrapolere geometrisk, så der kan opstilles modeller for de geologiske lagseriers forekomst og udbredelse. En yderligere udbygning af disse datasæt kan opnås ved fotogrammetrisk udtegnings af specielle profilsnit f.eks. langs velblottede dalstrøg. Gennem en fortætning af sådanne stejltstående profilsnit og ved kombination med fladedata vil man efterhånden kunne nå frem til opstilling af egentlige 3-D modeller for ufoldede lagserier, som f.eks. i de sedimentære bassinaflejringer og fra plateaubasalt-områderne.

En lignende arbejdsmetode kan næppe anvendes med udbytte i de foldede krystallinske grundfjeldsområder og i de palæozoiske foldebælter. Der er ganske vist blevet udarbejdet programmer til analyse af simple folder (Bengaard 1989), men med den nuværende viden er det nærmest umuligt at analysere de mere plastiske strukturer fra de dybere liggende regional-metamorfoserede komplekser, hvor også uregelmæssige plutoniske bjergarter indgår. I disse områder med krystallinske skifre, gnejser og granitoide bjergarter kan man kun få et indtryk af 3-D-bjergartsfordelingen i den øverste del af jordskorpen, gennem

en tolkning baseret på en overordnet kombination af overflade kortlægningsdata med interpretation af aeromagnetiske, gravimetrisk og eventuelle seismiske data.

Som konklusion kan anføres, at opstilling af geologiske 3-D-modeller baseret på kortlægningsdata er omtrent realiseret, når det drejer sig om områder med ufoldede lagdelte bjergartsserier i velblottede dele af Grønland, medens der givetvis vil gå en længere årrække, før noget tilsvarende kan realiseres i de foldede orogenkomplekser.

Uanset hvor raffinerede tolknings- og dataopsamlingsmuligheder der opnås i fremtiden, f.eks. ved flybåren multispectral scanning og instrumentel registrering og sondring mellem forskellige litologiske enheder, vil det fortsat være nødvendigt at udføre det helt grundlæggende arbejde ved geologernes direkte observationer i felten. Der vil fortsat være brug for den personlige iagttagelse og tolkning samt indsamling af prøver under feltarbejdet, så den lille mand med hammeren bliver ikke overflødig. Den basale geovidenskabelige indsats vil kunne gå hånd i hånd med en målrettet udnyttelse af nye værktøjer og digitale medier til formidling af resultaterne. Kortlægningen må udvikle sig i pagt med tiden – men den er som sådan kommet for at blive. Den tjener som en nødvendig forudsætning for forståelsen af den regionale geologiske opbygning og vil til enhver tid danne fundamentet for en videregående forskningsindsats. Hermed danner kortlægning basis for nogle af samfundets vigtige planlægningsopgaver og for forskellige økonomisk-geologiske aktiviteter for at udnytte de naturgivne ressourcer.

## Tak

Artiklen er foranlediget af, at forfatteren fik tildelt Danmarks Geologipris for år 2000. Indstillingen er foretaget af Dansk Geologisk Forening, og prisen er givet af GEUS. Jeg er begge stor tak skyldig for denne hædersbevisning, som jeg samtidig tager som udtryk for en anerkendelse af det arbejde, en stor gruppe danske og udenlandske geologer har udført i forbindelse med den geologiske kortlægning i Grønland gennem mere end halvtreds år.

Artiklen er udarbejdet efter, jeg i efteråret 2000 gik på pension efter i 47 år at have deltaget i grønlandskortlægningen. Jeg har i artiklen givet en oversigt, der er baseret på et stort antal kollegers arbejder, og jeg har bestræbt mig på at referere til deres originale resultater alle steder, hvor det var muligt. Da der imidlertid foreligger et meget stort antal afhandlinger om Grønlands geologi, har referencer til et stort antal af disse måttet udelades.

Manuskriptudkastet er blevet kommenteret af en række af mine kolleger, fra hvem jeg har fået mange værdifulde bemærkninger og supplerende oplysninger. Nævnt i alfabetisk rækkefølge har følgende kolleger bidraget: J.D. Friderichsen, A.A. Garde, A.K. Higgins, H.F. Jepsen, L.M. Larsen, C. Knudsen, T.C.R. Pulvertaft og W.L. Weng, alle fra GEUS, samt A.K. Pedersen fra Geologisk Museum, København. Jeg takker dem alle for deres konstruktive og positive bidrag, der har sikret, at mange enkeltheder er blevet korrigeret. Figureerne er udarbejdet med kompetent teknisk assistance fra fotograf Jakob Lautrup og tegner Helle Zetterwall; Ulla Redder har med omhu hjulpet med den tekniske tilretning af manuskriptets tekstbehandling samt opstilling af referencerne, hvilket har været en stor hjælp for mig.

Manuskriptet er blevet bedømt af to eksterne refereres – Niels Hald, Geologisk Museum, København og Eckart Håkansson, Geologisk Institut, København. Begge har foreslået en række mindre justeringer, som jeg har været meget glad for og som jeg i store træk har fulgt. Tidsskriftets redaktør Ida L. Fabricius har bidraget med en række konstruktive redaktionelle ændringsforslag, som jeg har fulgt og takker for.

Sidst, men ikke mindst, vil jeg gerne takke GGU/GEUS for mange års vedholdende og inspirerende støtte til den geologiske kortlægning og for den personlige opbakning, jeg har fået til arbejdet med disse opgaver Grønland rundt.

Manuskriptet publiceres med tilladelse fra Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS), der også har bidraget økonomisk til afholdelse af trykkeomkostningerne.

## Litteratur

- Allaart, J.H. 1975: Geologisk kort over Grønland, 1:500 000, Sydgrønland, sheet 1. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Allaart, J. H. 1982: Geologisk kort over Grønland, 1:500 000, Frederikshåb Isblink – Søndre Strømfjord, sheet 2. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Amour-Brown, A., Tukiainen, T., Wallin, B., Bradshaw, C. & Emeleus, C.H. 1983: Uranium exploration in South Greenland. Rapport Grønlands Geologiske Undersøgelse 115, 68–75.
- Andersen, S., Bohse, H. & Steenfelt, A. 1988: The southern part of the Ilímaussaqa complex, South Greenland: 1:20 000 (geologisk kort). København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Bailey, J.C., Larsen, L.M. & Sørensen, H. 1981: Introduction to the Ilímaussaqa intrusion with summary of the reported investigations. Rapport Grønlands Geologiske Undersøgelse 103, 5–17.
- Bengaard, H.-J. 1989: Geometrical and geological analysis of photogrammetrically measured deformed sediments of the fjord zone, central East Greenland. Open file Series. Grønlands Geologiske Undersøgelse 89/6, 101 pp.
- Bengaard, H.-J. & Henriksen, N. 1984: Geologisk kort over Grønland, 1:500 000, Scoresby Sund, sheet 12. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Bengaard, H.-J. & Henriksen, N. 1986: Geologisk kort over Grønland, 1:500 000, Peary Land, sheet 8. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Bengaard, H.-J. & Larsen, P. H. 1992: Upper Proterozoic (Eleanore Bay Supergroup) to Devonian, central fjord zone, East Greenland: 1:250 000 (geologisk kort). København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Bengtson, T. 1983: The mapping of Northern Greenland. Photogrammetric Record 11(62), 135–150.
- Berthelsen, A. & Henriksen, N. 1975: Geological map of Greenland 1:100 000, Ivigtut 61 V. 1 Syd. Descriptive text. The orogenic and cratogenic geology of a Precambrian shield area. Copenhagen: Geological Survey of Greenland (also Meddelelser om Grønland 186(1)) 169 pp.
- Birkelund, T. & Higgins, A. K. 1980: Geologisk kort over Grønland, 1:100 000, Carlsberg Fjord 71 Ø.1 Syd. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Bojesen-Koefoed, J.A., Christiansen, F.G., Nytoft, H.P. & Pedersen, A.K. 1999: Oil seepage onshore West Greenland: evidence of multiple source rocks and oil mixing. In Fleet, A.J. & Boldy, S.A.R. (eds) Petroleum geology of Northwest Europe. Proceedings of the 5th Conference, 305–14. London: Geological Society.
- Bondesen, E. 1970: The stratigraphy and deformation of the Precambrian rocks of the Grænseland area, South-West Greenland. Bulletin Grønlands Geologiske Undersøgelse 86, 210 pp. (also Meddelelser om Grønland 185(1)).
- Brett, C.P. & Zarudzki, E.F.K. 1979: Project Westmar – a shallow marine geophysical survey on the West Greenland continental shelf. Rapport Grønlands Geologiske Undersøgelse 87, 29 pp.
- Chadwick, B. & Coe, K. 1983: Geologisk kort over Grønland, 1:100 000, Buksefjorden, 63 V.1 Nord. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Chadwick, B., Garde, A.A., Grocott, J., McCaffrey, K.J.W. &

- Hamilton, M.A. 2000: Ketilidian structure and rapakivi suite between Lindenow Fjord and Kap Farvel, South-East Greenland. *Geology of Greenland Survey Bulletin* 186, 50–59.
- Chalmers, J.A. 1989: A pilot seismo – stratigraphic study on the West Greenland continental shelf. *Rapport Grønlands Geologiske Undersøgelse* 142, 16 pp., 9 plates.
- Chalmers, J.A. & Laursen, K.H. 1995: Labrador Sea: the extent of continental and oceanic crust and the timing of the onset of seafloor spreading. *Marine and Petroleum Geology* 12, 205–217.
- Chalmers, J.A., Pulvertaft, T.C.R., Christiansen, F.G., Larsen, H.C., Laursen, K.H. & Ottesen T.G. 1993: The southern West Greenland continental margin: rifting history, basin development, and petroleum potential. In Parker, J. R. (ed.) *Petroleum geology of Northwest Europe. Proceedings of the 4th Conference*, 915–931. London: Geological Society.
- Chalmers, J.A., Dahl-Jensen, T., Bate, K.J. & Whittaker, R.C. 1995: Geology and petroleum prospectivity of the region offshore southern West Greenland – a summary. *Rapport Grønlands Geologiske Undersøgelse* 165, 13–21.
- Chalmers, J.A., Pulvertaft, T.C.R., Marcussen, C. & Pedersen, A.K. 1999: New insight into the structure of the Nuussuaq Basin, central West Greenland. *Marine and Petroleum Geology* 16, 197–224.
- Christiansen, F.G., Marcussen, C., Larsen, H.C. & Stemmerik, L. 1991: Petroleum potential of Jameson Land, East Greenland, 61 pp. Unpublished report. Copenhagen: Geological Survey of Greenland.
- Christiansen, F.G., Dam, G., Piasecki, S. & Stemmerik, L. 1992: A review of Upper Palaeozoic and Mesozoic source rocks from onshore East Greenland. In Spencer, A.M. (ed.) *Generation, accumulation and production of Europe's hydrocarbons. Special Publication of the European Association of Petroleum Geoscientists* 2, 151–161.
- Christiansen, F.G., Dam, G. & Pedersen, A.K. 1994: Discovery of live oil at Marraat, Nuussuaq: field work, drilling and logging. *Rapport Grønlands Geologiske Undersøgelse* 160, 57–63.
- Christiansen, F.G., Dalhoff, F., Bojesen-Koefoed, J.A., Chalmers, J.A., Dam, G., Marcussen, C., Nøhr-Hansen, H., Nielsen, T., Pedersen, A.K., Riisager, P. & Sønderholm, M. 2000: Petroleum geological activities in West Greenland in 1999. *Geology of Greenland Survey Bulletin* 186, 88–96.
- Clemmensen, L.B. 1980: Triassic lithostratigraphy of East Greenland between Scoresby Sund and Keiser Franz Josephs Fjord. *Bulletin Grønlands Geologiske Undersøgelse* 139, 56 pp.
- Clemmensen, L.B. 1988: Aeolian morphology preserved by lava cover, the Precambrian Mussartût Member, Eriksfjord Formation, South Greenland. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 37, 105–116.
- Collinson, J.D. 1980: Stratigraphy of the Independence Fjord Group (Proterozoic) of eastern North Greenland. *Rapport Grønlands Geologiske Undersøgelse* 99, 7–23.
- Collinson, J.D. 1983: Sedimentology of unconformities within a fluvio-lacustrine sequence; Middle Proterozoic of eastern North Greenland. *Sedimentary Geology* 34, 145–166.
- Dam, G. & Sønderholm, M. 1994: Lowstand slope channels of the Itilli succession (Maastrichtian – Lower Paleocene), Nuussuaq, West Greenland. *Sedimentary Geology* 94, 49–71.
- Dam, G. & Sønderholm, M. 1998: Sedimentological evolution of a fault-controlled Early Paleocene incised valley system, Nuussuaq Basin, West Greenland. In Shanley, K.W. & McCabe, P.J. (eds) *Relative role of eustasy, climate and tectonism in rocks. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication* 59, 109–121.
- Dam, G. & Surlyk, F. 1998: Stratigraphy of the Neill Klintner Group; a Lower – lower Middle Jurassic tidal embayment succession, Jameson Land, East Greenland. *Geology of Greenland Survey Bulletin* 175, 80 pp.
- Dam, G., Nøhr-Hansen, H., Pedersen, G.K. & Sønderholm, M. 2000: Sedimentary and structural evidence of a new early Campanian rift phase in the Nuussuaq Basin, West Greenland. *Cretaceous Research* 21, 127–154.
- Dawes, P.R. 1987: Topographical and geological maps of Hall Land, North Greenland. Description of a computer-supported photogrammetrical research programme for production of new maps, and the Lower Palaeozoic and surficial geology. *Bulletin Grønlands Geologiske Undersøgelse* 155, 88 pp.
- Dawes, P.R. 1991: *Geologisk kort over Grønland, 1:500 000, Thule, sheet 5*. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Dawes, P.R. 1997: The Proterozoic Thule Supergroup, Greenland and Canada: history, lithostratigraphy and development. *Geology of Greenland Survey Bulletin* 174, 150 pp.
- Dawes, P.R. 2001: The year's publications: a review with listing for 2000. In Higgins, A.K. & Secher, K. (eds) *Review of Greenland activities 2000. Geology of Greenland Survey Bulletin* 189, 11–23.
- Dawes, P.R., Frisch, T., Garde, A.A., Iannelli, T.R., Ineson, J.R., Jensen, S.M., Pirajno, F., Sønderholm, M., Stemmerik, L., Stouge, S., Thomassen, B. & van Gool, J.A.M. 2000: Kane Basin 1999: mapping, stratigraphic studies and economic assessment of Precambrian and Lower Palaeozoic provinces in north-western Greenland. *Geology of Greenland Survey Bulletin* 186, 11–28.
- Denham, L.R. 1974: Offshore geology of northern West Greenland (69°–74°N). *Rapport Grønlands Geologiske Undersøgelse* 63, 24 pp.
- Dueholm, K.S. & Coe, J.A. 1989: GEOPROGRAM. Program for geologic photogrammetry. *Compass* 66, 59–64.
- Dueholm, K.S. & Pillmore, C.L. 1989: Computer-assisted geologic photogrammetry. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 55, 1191–1196.
- Dueholm, K.S. & Pedersen, A.K. (eds) 1992: *Geological analysis and mapping using multi-model photogrammetry. Rapport Grønlands Geologiske Undersøgelse* 156, 72 pp.
- Dueholm, K.S., Garde, A.A. & Pedersen, A.K. 1993: Preparation of accurate geological and structural maps, cross sections or block diagrams from colour slides, using multi-model photogrammetry. *Journal of Structural Geology* 15, 933–937.
- Ellitsgaard-Rasmussen, K. 1996: En stjerne fødes. Beretning om GGU's tilblivelse. *Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport* 1996/102, 76 pp.
- Elvevold, S. & Gilotti, J.A. 2000: Pressure-temperature evolution of retrogressed kyanite eclogites, Weinschenk Island, North-East Greenland Caledonides. *Lithos* 53, 127–147.
- Elvevold, S., Escher, J.C., Frederiksen, K.S., Friderichsen, J.D., Gilotti, J.A., Henriksen, N., Higgins, A.K., Jepsen, H.F., Jones, K.A., Kalsbeek, F., Kinny, P.D., Leslie, A.G., Robertson, S., Smith, M.P., Thrane, K. & Watt, G.R. 2000: Tectonic architecture of the East Greenland Caledonides 72°–74°30'N.



- Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2000/88, 34 pp.
- Emeleus, C.H. 1964: The Grønnedal – Ika alkaline complex, South Greenland. The structure and geological history of the complex. *Bulletin Grønlands Geologiske Undersøgelse* 45, 75 pp.
- Eriksen, B. & Dawes, P. R. 2000: Catalogue of Greenland publications and data. København: Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, 59 pp.
- Escher, A. 1971: Geologisk kort over Grønland, 1:500 000, Søndre Strømfjord – Nûgssuaq, sheet 3. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Escher, J.C. 1984: Geologisk kort over Grønland, 1:100 000, Tasiussaq 73 V.1 Syd. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Escher, J.C. 1985a: Geologisk kort over Grønland, 1:500 000, Upernavik Isfjord, sheet 4. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Escher, J.C. 1985b: Geologisk kort over Grønland, 1:100 000, Ussing Isfjord 73 V.1 Nord. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Escher, J.C. 1985c: Geologisk kort over Grønland, 1:100 000, Kuvdlorsuaq 74 V.1 Syd & Nord. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Escher, J.C. 1990: Geologisk kort over Grønland, 1:500 000, Skjoldungen, sheet 14. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Escher, J.C. 1995: Geologisk kort over Grønland, 1:100 000, Ataa 69 V.3, Nord. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Escher, J.C. 2001: Geologisk kort over Grønland, 1:500 000, Kong Oscar Fjord, sheet 11. København: Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Escher, J.C. & Pulvertaft, T.C.R. 1995: Geological map of Greenland 1:2 500 000. Copenhagen: Geological Survey of Greenland.
- Ferguson, J. 1964: Geology of the Ilímaussaq alkaline intrusion, South Greenland. Description of map and structure. *Bulletin Grønlands Geologiske Undersøgelse* 39, 82 pp.
- Funder, S. 1987: Quaternary geology and landforms of the coast of Jameson Land, East Greenland. 1:125 000 (kvartergeologisk kort). København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Funder, S. 1990: Quaternary map of Greenland, 1:500 000, Scoresby Sund, sheet 12. Descriptive text 24 pp., 1 map. Copenhagen: Geological Survey of Greenland.
- Garde, A.A. 1989: Geologisk kort over Grønland, 1:100 000, Fiskefjord 64 V.1 Nord. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Garde, A.A. 1994: Precambrian geology between Qarajoq Isfjord and Jakobshavn Isfjord, West Greenland. 1:250 000 (geologisk kort). København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Garde, A.A. 1997: Accretion and evolution of an Archaean high-grade grey gneiss – amphibolite complex: the Fiskefjord area, southern West Greenland. *Geology of Greenland Survey Bulletin* 177, 115 pp.
- Garde, A.A. 1999: Guldfund og pladetektonik. Den ketilidiske bjergkædedannelse i Sydgrønland. 19 pp. *Nyt fra GEUS*, Temanummer nr. 3. København: Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Garde, A.A. & Chadwick, B. 1996: Geologisk kort over Grønland, 1:100 000, Søndre Sermilik, 60 V.3 Nord. København: Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Garde, A.A., Chadwick, B., Grocott, J. & Swager, C.P. 1998 a: Geologisk kort over Grønland, 1:100 000, Lindenow Fjord 60 Ø.1 Nord. København: Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Garde A.A., Chadwick, B., Grocott, J., Hamilton, M.A., McCaffrey, K.J.W. & Swager, C.P. 1998 b: An overview of the Palaeoproterozoic Ketilidian orogen, South Greenland. In Wardle, R.J. & Hall, J. (eds) *Lithoprobe Eastern Canadian Shield Onshore-Offshore Transect (ESCOOT)*, Report of 1998 Transect Meeting. University of British Columbia, Lithoprobe Report 68, 50–66.
- Garde, A.A., Grocott, J. & McCaffrey, K.J.W. 1999: New insights on the north-eastern part of the Ketilidian orogen in South-East Greenland. *Geology of Greenland Survey Bulletin* 183, 23–33.
- Garde, A.A., Hamilton, M.A., Chadwick, B., Grocott, J. & McCaffrey, K.J.W. in press: The Ketilidian orogen of South Greenland: Geochronology and tectonics, magmatism and forearc accretion during Palaeoproterozoic oblique convergence.
- Gilotti, J.A. & Elvevold, S. 1998: Partial eclogitization of the Ambolten gabbro norite, North-East Greenland Caledonides. *Schweizerische Mineralogische und Petrologische Mitteilungen* 78, 273–292.
- Haller, J. 1970: Tectonic map of East Greenland (1:500 000). *Meddelelser om Grønland* 171(5), 286 pp.
- Haller, J. 1971: Geology of the East Greenland Caledonides, 415 pp. London; New York: Interscience Publishers.
- Haller, J. 1983: Geological map of northeast Greenland 75°–82°N lat. 1:1 000 000. *Meddelelser om Grønland* 200(5), 22 pp.
- Hambrey, M.J. & Spencer, A.M. 1987: Late Precambrian glaciation of central East Greenland. *Meddelelser om Grønland Geoscience* 19, 50 pp.
- Henderson, G. 1970: Geologisk kort over Grønland, 1:100 000, Marmorilik 71 V.2 Syd. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Henderson, G. 1971a: Geologisk kort over Grønland, 1:100 000, Nûgâtsiaq 71 V.2 Nord. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Henderson, G. 1971b: Geologisk kort over Grønland, 1:100 000, Pangnertôq 72 V.2 Syd. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Henderson, G. & Pulvertaft, T.C.R. 1987: Geological map of Greenland, 1:100 000, Marmorilik 71 V.2 Syd, Nûgâtsiaq 71 V.2 Nord, Pangnertôq 72 V.2 Syd. Descriptive text, 72 pp. With maps and plates. Copenhagen: Geological Survey of Greenland.
- Henriksen, N. 1985: The Caledonides of central East Greenland 70°–76°N. In Gee, D.G. & Sturt, B.A. (eds) *The Caledonide orogen – Scandinavia and related areas*, 1095–1113. London: Wiley & Sons Ltd.
- Henriksen, N. 1986: Geological map of Greenland, 1:500 000, Scoresby Sund, sheet 12. Descriptive text, 27 pp., 1 map. Copenhagen: Geological Survey of Greenland.
- Henriksen, N. 1989: Geologisk kort over Grønland, 1:500 000, Nyeboe Land, sheet 7. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Henriksen, N. 1992: Geological map of Greenland, 1:500 000, Nyeboe Land, sheet 7, Peary Land, sheet 8. Descriptive text, 40 pp., 2 maps. Copenhagen: Geological Survey of Greenland.

- Henriksen, N. 1996: Conclusion of the 1:500 000 field mapping in eastern North Greenland. *Bulletin Grønlands Geologiske Undersøgelse* 172, 42–48.
- Henriksen, N. 1997: Geologisk kort over Grønland, 1:500 000, Dove Bugt, sheet 10. København: Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Henriksen, N. 1999: Conclusion of the 1:500 000 mapping project in the Caledonian fold belt in North-East Greenland. *Geology of Greenland Survey Bulletin* 183, 10–22.
- Henriksen, N. & Higgins, A.K. 1988: Geological map of Greenland 1:100 000, Rødefjord 70 Ø.3 Nord and Kap Leslie 70 Ø.2 Nord. Descriptive text. 34 pp. Copenhagen: Geological Survey of Greenland.
- Henriksen, N. & Higgins, A.K. 1991: The North Greenland Project. In Peel, J.S. & Sønderholm, M. (eds) *Sedimentary basins in North Greenland*. *Bulletin Grønlands Geologiske Undersøgelse* 160, 9–24.
- Henriksen, N., Perch-Nielsen, K. & Andersen, C. 1980: Geological map of Greenland 1:100 000, Sydlige Stauning Alper 71 Ø.2 Nord and Frederiksdal 71 Ø.3 Nord. Descriptive text. 46 pp. Copenhagen: Geological Survey of Greenland.
- Henriksen, N., Higgins, A.K., Kalsbeek, F. & Pulvertaft, T.C.R. 2000: Greenland from Archean to Quaternary. Descriptive text to the Geological map of Greenland 1:2 500 000. *Geology of Greenland Survey Bulletin* 185, 93 pp., 1 map.
- Higgins, A.K. 1982: Geological map of Greenland 1:100 000, Charcot Land 71 Ø.4 Nord and Krummedal 71 Ø.4 Syd. Descriptive text. 26 pp. Copenhagen: Geological Survey of Greenland.
- Higgins, A.K. 1986: Geologisk kort over Grønland 1:100 000, Harder Fjord 83 Ø. Syd. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Higgins, A.K. 1988: The Krummedal supracrustal sequence in East Greenland. In Winchester, J.A. (eds) *Later Proterozoic stratigraphy of the northern Atlantic regions*, 86–96. Glasgow: Blackie & Son; New York: Chapman & Hall.
- Higgins, A.K. (ed.) 1994: *Geology of North-East Greenland*. Rapport Grønlands Geologiske Undersøgelse 162, 209 pp.
- Higgins, A.K. & Leslie, A.G. 2000: Restoring thrusting in the East Greenland Caledonides. *Geology* 28, 1019–1022.
- Higgins, A.K., Ineson, J.R., Peel, J.S., Surlyk, F. & Sønderholm, M. 1991: Lower Palaeozoic Franklinian Basin of North Greenland. In Peel, J.S. & Sønderholm, M. (eds) *Sedimentary basins of North Greenland*. *Bulletin Grønlands Geologiske Undersøgelse* 160, 71–139.
- Higgins, A.K., Smith, M.P., Soper, N.J., Leslie, A.G., Rasmussen, J.A. & Sønderholm, M. 2001 a: The Neoproterozoic Hekla Sund Basin, eastern North Greenland: a pre-Iapetan extensional sequence thrust across its rift shoulders during the Caledonian orogeny. *Journal of the Geological Society (London)*, 158, 487–499.
- Higgins, A.K., Leslie, A.G. & Smith, M.P. 2001 b: Neoproterozoic-Lower Palaeozoic stratigraphical relationships in the marginal thin-skinned thrust belt of the East Greenland Caledonides: Comparisons with the foreland in Scotland. *Geological Magazine* 138, 143–160.
- Hofer, E. 1957: *Arctic Riviera, North East Greenland*. 127 pp. Berne: Kümmerly & Frey, Geographical Publishers.
- Hougaard, G., Jepsen, H.F. & Neve, J.K. 1991: GGU's photogeological laboratory: aerial photogrammetry – a valuable geological mapping tool in Greenland. Rapport Grønlands Geologiske Undersøgelse 152, 29–32.
- Håkansson, E., Heinberg, C., & Stemmerik, L. 1991: Mesozoic and Cenozoic history of the Wandel Sea Basin area, North Greenland. In Peel, J.S. & Sønderholm, M. (eds) *Sedimentary basins of North Greenland*. *Bulletin Grønlands Geologiske Undersøgelse* 160, 153–164.
- Jepsen, H. F. 2000: Geologisk kort over Grønland, 1:500 000, Lambert Land, sheet 9. København: Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Jepsen, H.F. & Dueholm, K.S. 1978: Computer supported geological photointerpretation. Rapport Grønlands Geologiske Undersøgelse 90, 146–150.
- Jepsen, H.F. & Henriksen, N. 1986: Geologisk kort over Grønland 1:100 000, J. C. Christensen Land 81 Ø. Nord. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Jepsen, H.F., Henriksen, N., Hurst, J.M. & Peel, J.S. 1983: Washington Land and Daugaard-Jensen Land. 1:250 000 (geologisk kort). København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Kalsbeek, F. (ed.) 1989: *Geology of the Ammassalik region, South-East Greenland*. Rapport Grønlands Geologiske Undersøgelse 146, 106 pp.
- Kalsbeek, F. (ed.) 1999: *Precambrian geology of the Disko Bugt region, West Greenland*. *Geology of Greenland Survey Bulletin* 181, 179 pp.
- Kalsbeek, F. & Garde, A.A. 1989: Geological map of Greenland, 1:500 000, Frederikshåb Isblink – Søndre Strømfjord, sheet 2. Descriptive text, 36 pp. Copenhagen: Geological Survey of Greenland.
- Kalsbeek, F. & Jepsen, H.F. 1984: The late Proterozoic Zig-Zag Dal Basalt Formation of eastern North Greenland. *Journal of Petrology* 25, 644–664.
- Kalsbeek, F., Larsen, L.M. & Bondam, J. 1990: Geological map of Greenland, 1:500 000, Sydgrønland, sheet 1. Descriptive text, 36 pp. Copenhagen: Geological Survey of Greenland.
- Kalsbeek, F., Nutman, A.P. & Taylor, P.N. 1993: Palaeoproterozoic basement province in the Caledonian fold belt of North-East Greenland. *Precambrian Research* 63, 163–178.
- Kalsbeek, F., Thrane, K., Nutman, A.P. & Jepsen, H.F. 2000: Late Mesoproterozoic to early Neoproterozoic history of the East Greenland Caledonides: evidence for Grenvillian orogenesis? *Journal of the Geological Society (London)* 157, 1215–1225.
- Kalsbeek, F., Jepsen, H.F. & Nutman, A. P. 2001: From source migmatites to plutons: tracking the origin of c. 435 Ma S-type granites in the East Greenland Caledonian orogen. *Lithos* 57, 1–21.
- KMS 1994: [Topographic map of] Kalaallit Nunaat, Grønland, 1:2 500 000. Copenhagen: Kort- og Matrikelstyrelsen.
- Koch, L. 1926: Report on the Danish Bicentenary Jubilee Expedition north of Greenland 1920–23. *Meddelelser om Grønland* 70,1(1), 1–232.
- Koch, L. 1932: Map of North Greenland, scale 1:300 000, surveyed by Lauge Koch in the years 1917–23, 18 sheets. København: Geodætisk Institut.
- Koch, L. & Haller, J. 1971: Geological map of East Greenland 72°–76°N. Lat. (1:250 000). *Meddelelser om Grønland* 183, 26 pp., 13 maps.
- Larsen, H.C. 1985: Petroleum geological assessment of the East Greenland shelf (Project NAD – East Greenland). NAD final report no. 8, 78 pp, 18 encl. Unpublished report Geological Survey of Greenland, Copenhagen. GEUS Report File 16976.
- Larsen, H.C. 1990: The East Greenland shelf. In Grantz, A., Johnson, L. & Sweeney, J.F. (eds) *The Arctic Ocean region*.

- The geology of North America L, 185-210. Boulder, Colorado: Geological Society of America.
- Larsen, H.C. & Marcussen, C. 1992: Sill-intrusion, flood basalt emplacement and deep crustal structure of the Scoresby Sund region, East Greenland. In Storey, B.C., Alabaster, T. & Pankhurst, R.J. (eds): *Magmatism and the causes of continental break-up*. Geological Society of London, Special Publications 68, 365–386.
- Larsen, J.G. 1983: *Geologisk kort over Grønland, 1:100 000, Igdlorssuit 71 V.1 Syd*. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Larsen, J.G. & Grocott, J. 1991: *Geologisk kort over Grønland, 1:100 000, Svartenhuk 71 V.1 Nord*. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Larsen, L.M. & Pedersen, A.K. 1990: Volcanic marker horizons in the Maligât Formation on Disko and Nûgssuaq, and implications for the development of the southern part of the West Greenland basin in the early Tertiary. *Rapport Grønlands Geologiske Undersøgelse* 148, 65–73.
- Larsen, L.M. & Pedersen, A.K. 2000: Processes in high-Mg, high-T magmas: evidence from olivine, chromite and glass in Palaeogene picrites from West Greenland. *Journal of Petrology* 41, 1071–1098.
- Larsen, L.M., Waagstein, R., Pedersen, A.K. & Storey, M. 1999: Trans-Atlantic correlation of the Palaeogene volcanic successions in the Faeroe Islands and East Greenland. *Journal Geological Society of London* 156, 1081–1095.
- Larsen, M., Hamberg, L., Olaussen, S. & Stemmerik, L. 1996: Cretaceous – Tertiary pre-drift sediments of the Kangerlussuaq area, southern East Greenland. *Bulletin Grønlands Geologiske Undersøgelse* 172, 37–41.
- Larsen, M., Bjerager, M., Nedkvitne, T., Olaussen, S. & Preuss, T. 2001: Pre-basaltic sediments (Aptien-Paleocene) of the Kangerlussuaq Basin, southern East Greenland. In Higgins, A.K. & Secher, K. (eds) *Review of Greenland activities 2000*. *Geology of Greenland Survey Bulletin* 189, 99–106.
- Medioni, R. 1989: Geological mapping in western Europe. *Geochronique* no 32, 12–26. Paris: Bureau de Recherches Géologique et Minières; Société Géologique de France.
- Michelsen, O., Christensen, W.K., Surlyk, F. & Thomsen, E. 1996: Stratigrafisk terminologi i dansksprogede artikler. København: *Geologisk Tidsskrift* 2, 1–20.
- Myers, J.S., Dawes, P.R. & Nielsen, T.F.D. 1988: *Geologisk kort over Grønland, 1:500 000, Kangerdlugssuaq, sheet 13*. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Möller, P., Hjort, C. & Ingólfsson, O. (eds) 1991: *The last interglacial-glacial cycle: Preliminary report on the PONAM fieldwork in Jameson Land and Scoresby Sund, East Greenland*. *Lundqua Report* 33, 181 pp.
- Nielsen, A. 2000: Topografiske kort fra Grønland, *Topografisk Atlas Grønland*, 76–81. København: Det Kongelige Danske Geografiske Selskab og Kort & Matrikelstyrelsen.
- Nielsen, B.L. 1981: Exploration history of the Kvanefjeld uranium deposit, Ilimaussaq intrusion, South Greenland. In: IAEA (ed.) *Uranium exploration case histories*, 353–388. Vienna: International Atomic Energy Agency.
- Nielsen, T.F.D. 1987: Tertiary alkaline magmatism in East Greenland: a review. In Fitton, J.G. & Upton, B.G.J. (eds) *Alkaline igneous rocks*. Geological Society Special Publication (London) 30, 489–515.
- Nielsen, T.F.D., Hansen, H., Brooks, C.K., Leshner, C.E. & field parties 2001: The East Greenland continental margin, the Prinsen af Wales Bjerger and new Skaergaard initiatives. In Higgins, A.K. & Secher, K. (eds) *Review of Greenland activities 2000*. *Geology of Greenland Bulletin* 189, 83–98.
- Noe-Nygaard, A. & Ramberg, H. 1961: Geological reconnaissance map of the country between latitudes 69°N and 63°45'N, West Greenland. *Meddelelser om Grønland* 123(5), 9 pp.
- Olesen, N.Ø. 1984: *Geologisk kort over Grønland, 1:100 000, Agto 67 V.1 Nord*. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Paslick, C.R., Halliday, A.N., Davies, G.R., Mezger, K. & Upton, B.G.J. 1993: Timing of Proterozoic magmatism in the Gardar Province, southern Greenland. *Geological Society of America Bulletin* 105, 272–278.
- Pedersen, A.K. & Ulff-Møller, F. 1987: *Geologisk kort over Grønland, 1: 100 000, Mellemfjord, 69 V.1 Nord*. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Pedersen, A.K. & Dueholm, K.S. 1992: New methods for the geological analysis of Tertiary volcanic formations on Nuussuaq and Disko, central West Greenland, using multi-model photogrammetry. *Rapport Grønlands Geologiske Undersøgelse* 156, 19–34.
- Pedersen, A.K., Larsen, L.M. & Dueholm, K.S. 1993: Geological section along the south coast of Nuussuaq, central West Greenland, 1:20 000, coloured sheet. Copenhagen: Geological Survey of Greenland.
- Pedersen, A.K., Larsen, L.M., Pedersen, G.K. & Dueholm, K.S. 1996: Filling and plugging of a marine basin by volcanic rocks: the Tunoqqu Member of the Lower Tertiary Vaigat Formation on Nuussuaq, central West Greenland. *Bulletin Grønlands Geologiske Undersøgelse* 171, 5–28.
- Pedersen, A.K., Ulff-Møller, F., Larsen L.M., Pedersen, G.K. & Dueholm, K.S. 2000: *Geologisk kort over Grønland, 1:100 000, Uiffaq 69 V.1 Syd*. København: Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Pedersen, A.K., Larsen, L.M., Riisager, P. & Dueholm, K.S. in press: Rates of volcanic deposition, facies changes and movements in a dynamic basin: the Nuussuaq Basin, West Greenland, around the C 27 n – C 26 r transition. In Jolley, D.W. & Bell, B.R. (eds) *The North Atlantic Igneous Province: Stratigraphy, tectonics, volcanic and magmatic processes*. Geological Society, London. Special Publications.
- Pedersen, A.K., Larsen, L.M., Ulff-Møller, F., Pedersen, G.K. & Dueholm, K.S. 2001: *Geologisk kort over Grønland 1:100 000, Pingu 69 V.2 Nord*. København: Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Pedersen, G.K. & Pulvertaft, T.C.R. 1992: The nonmarine Cretaceous of the West Greenland basin, onshore West Greenland. *Cretaceous Research* 13, 263–272.
- Pedersen, G.K., Larsen, L.M., Pedersen, A.K. & Hjortkjær, B.F. 1998: The syn-volcanic Naajaat lake, Paleocene of West Greenland. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 140, 271–287.
- Pedersen, S.A.S. 1981: The application of computer-assisted photogrammetric methods in the structural analysis of part of the North Greenland Fold Belt. *Journal of Structural Geology* 3, 3, 253–264.
- Pedersen, S.A.S. & Henriksen, N. 1986 a: *Geologisk kort over Grønland, 1:100 000, Wandel Dal 82 Ø. Syd*. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Pedersen, S.A.S. & Henriksen, N. 1986 b: *Geologisk kort over Grønland, 1:100 000, Nordkronen 82 Ø. Nord*. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Peel, J.S. 1982: The Lower Paleozoic of Greenland. In Embry,



- A.F. & Balkwill, H.R. (eds) Arctic geology and geophysics. Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir 8, 309–330.
- Risum, J.B. 1979: Seismic mapping of the lower Tertiary sediments offshore West Greenland between 66° and 68°N. Rapport Grønlands Geologiske Undersøgelse 95, 50–53.
- Roksandic, M.M. 1979: Geology of the continental shelf off West Greenland between 61°15' and 64°00' N: an interpretation of sparker seismic and echo sounder data. Rapport Grønlands Geologiske Undersøgelse 92, 15 pp.
- Rosenkrantz, A. 1970: Marine Upper Cretaceous and lowermost Tertiary deposits in West Greenland. Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening 19, 406–453.
- Rosenkrantz, A., Münther, V. & Henderson, G. 1974: Geologisk kort over Grønland, 1:100 000, Agatdal 70 V.1 Nord. København: Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Schjøth, F., Garde, A.A., Jørgensen, M.S., Lind, M., Moberg, E., Nielsen, T.F.D., Rasmussen, T.M., Secher, K., Steenfelt, A., Stendal, H., Thorning, L. & Tukiainen, T. 2000: Mineral resource potential of South Greenland: the CD-ROM. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2000/57, 36 pp. 1 CD-ROM.
- Sharpe, M. 1973: Unpublished geological field map, 1:20 000, from the Færingehavn region. GEUS map archive (63 V.1, no. 52). Copenhagen: Geological Survey of Denmark and Greenland.
- Smith, M.P., Rasmussen, J.A., Robertson, S., Higgins, A.K. & Leslie, A.G. in press: Lower Palaeozoic stratigraphy of the East Greenland Caledonides. *Geology of Greenland Survey Bulletin*.
- Soper, N. J. & Higgins, A. K. 1987: A shallow detachment beneath the North Greenland fold belt: implications for sedimentation and tectonics. *Geological Magazine* 124, 441–450.
- Soper, N. J. & Higgins, A. K. 1990: Models for the Ellesmerian mountain front in North Greenland: a basin margin inverted by basement uplift. *Journal of Structural Geology* 12, 83–97.
- Steiger, R. H., Hansen, B. T., Schuler, C. H., Bär, M. T. & Henriksen, N. 1979: Polyorogenic nature of the southern Caledonian fold belt in East Greenland; an isotopic age study. *Journal of Geology* 87, 475–495.
- Storey, M., Duncan, R. A., Pedersen, A. K., Larsen, L. M. & Larsen, H. C. 1998: <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar geochronology of the West Greenland Tertiary volcanic province. *Earth and Planetary Science Letters* 160, 569–586.
- Surlyk, F. 1990: Timing, style and sedimentary evolution of Late Palaeozoic – Mesozoic extensional basins of East Greenland. In Hardman, R. F. P. & Brooks, J. (eds) *Tectonic events responsible for Britain's oil and gas reserves*. Geological Society Special Publication (London) 55, 107–125.
- Surlyk, F. 1991: Sequence stratigraphy of the Jurassic – lowermost Cretaceous of East Greenland. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 75, 1468–1488.
- Surlyk, F. 1995: Deep-sea fan valleys, channels, lobes and fringes of the Silurian Peary Land Group, North Greenland. In Pickering, K. et al. (eds) *Atlas of Deep Water Environments: Architectural style in turbidite systems*, 124–138. London: Chapman & Hall.
- Surlyk, F. & Hurst, J.M. 1984: The evolution of the early Paleozoic deep-water basin of North Greenland. *Geological Society of America Bulletin* 95, 131–154.
- Sønderholm, M. & Jepsen, H.F. 1991: Proterozoic basins of North Greenland. In Peel, J.S. & Sønderholm, M. (eds) *Sedimentary basins of North Greenland*. Bulletin Grønlands Geologiske Undersøgelse 160, 49–69.
- Sørensen, H. (ed.) in press: The Ilimaussaq alkaline complex, South Greenland: status of mineralogical research and new results. *Geology of Greenland Survey Bulletin*.
- Sørensen, J.B. 1998: Conversion of existing geological maps of Greenland to digital format. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 1998/128, 24 pp.
- Sørensen, J.B. 2000: Status rapport vedrørende projekt »Konvertering af geologiske kort til digitalt format« Upubliceret notat (GEUS-notat nr.: 11–MI–00–01), 3 pp. København: Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Thrane, K. in press: U-Pb zircon ages and geochemical data from the crystalline basement complexes of the East Greenland Caledonides: evidence of Palaeoproterozoic subduction. *Precambrian Research*.
- Upton, B.G.J. 1960: The alkaline igneous complex of Kúngnat Fjeld, South Greenland. Bulletin Grønlands Geologiske Undersøgelse 27, (also Meddelelser om Grønland 123(4)), 145 pp.
- Upton, B.G.J. 1962: Geology of Tugtutôq and neighbouring islands, South Greenland. Part 1. Bulletin Grønlands Geologiske Undersøgelse 34, (also Meddelelser om Grønland 169(8)), 60 pp.
- Upton, B.G.J. & Emeleus, C.H. 1987: Mid-Proterozoic alkaline magmatism in southern Greenland: the Gardar province. In Fitton, J.G. & Upton, B.G.J. (eds) *Alkaline igneous rocks*. Geological Society Special Publication (London) 30, 449–471.
- Ussing, N.V. 1912: Geology of the country around Julianehaab, Greenland. Meddelelser om Grønland 38, 1–376.
- Watt, G.R., Kinny, P.D. & Friderichsen, J.D. 2000: U-Pb geochronology of Neoproterozoic and Caledonian tectonothermal events in the East Greenland Caledonides. *Journal of the Geological Society (London)* 157, 1031–1048.
- Wegmann, C.E. 1938: Geological investigations in southern Greenland 1. On the structural divisions of southern Greenland. Meddelelser om Grønland 113(2), 148 pp.
- Weng, W.L. 1995: Grønland 1:2 500 000. *Tidsskriftet Grønland* 2, 66–69.
- Whittaker, R.C. 1996: A preliminary seismic interpretation of an area with extrusive Tertiary basalts offshore central Greenland. Bulletin Grønlands Geologiske Undersøgelse 172, 28–31.
- Whittaker, R.C., Hamann, N.E. & Pulvertaft, T.C.R. 1997: A new frontier province offshore northern West Greenland: structure, basin development and petroleum potential of the Melville Bay area. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 81, 978–998.