

TEMANUMMER DE ØSTGRØNLANDSKE SEDIMENTBASSINER - et oliegeologisk feltlaboratorium

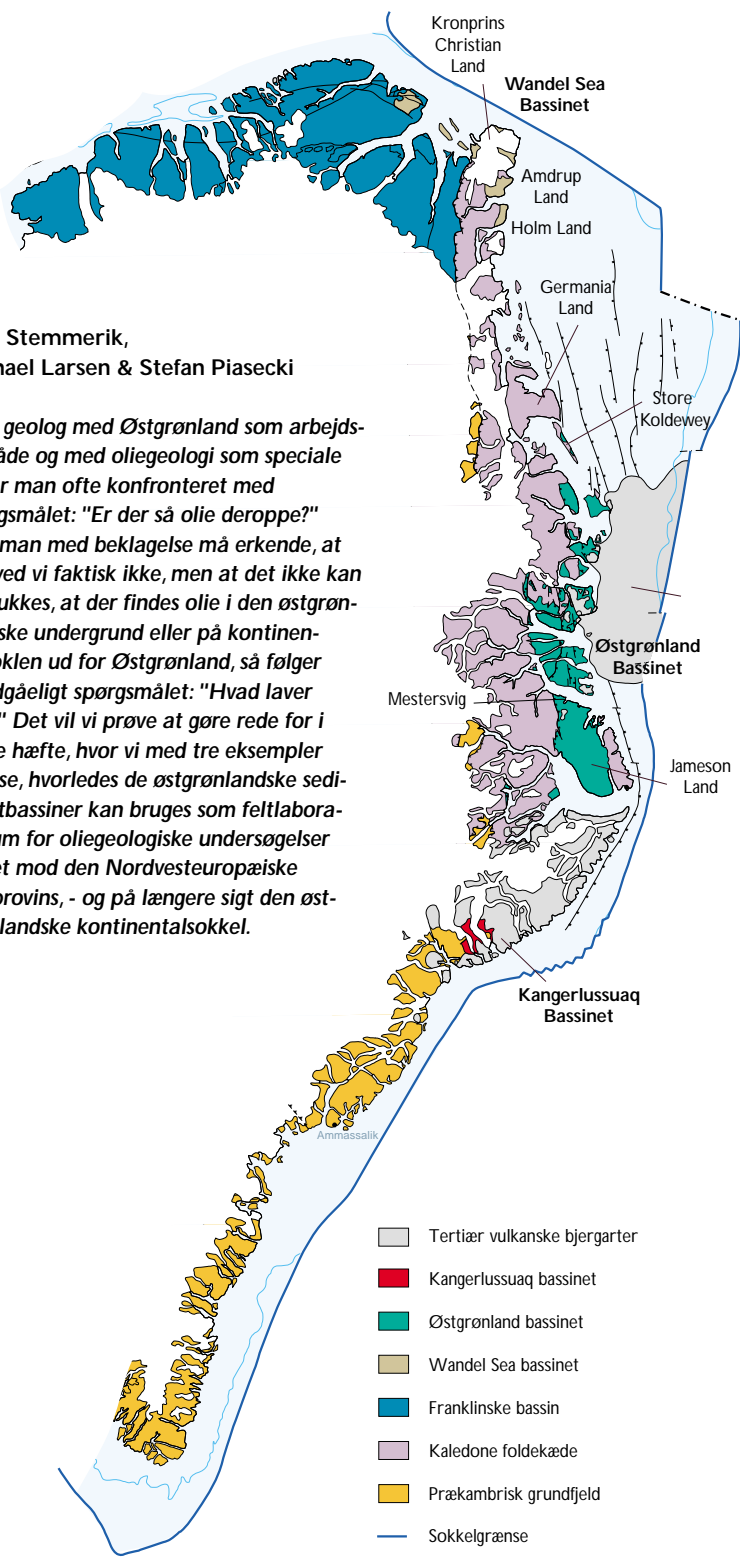
- Geologisk udvikling fra Karbon til Kridt
- Kangerlussuaq – et eksempel på en fuldskala model
- Jura stratigrafi i Østgrønland
- Karbon - Perm karbonatbjergarter

De østgrønlandske sedimentbassiner – et oliegeologisk feltlaboratorium



Lars Stemmerik,
Michael Larsen & Stefan Piasecki

Som geolog med Østgrønland som arbejdsområde og med oliegeologi som speciale bliver man ofte konfronteret med spørgsmålet: "Er der så olie deroppe?" Når man med beklagelse må erkende, at det ved vi faktisk ikke, men at det ikke kan udelukkes, at der findes olie i den østgrønlandske undergrund eller på kontinentalsoklen ud for Østgrønland, så følger uundgåeligt spørgsmålet: "Hvad laver I så?" Det vil vi prøve at gøre rede for i dette hæfte, hvor vi med tre eksempler vil vise, hvorledes de østgrønlandske sedimentbassiner kan bruges som feltlaboratorium for oliegeologiske undersøgelser rettet mod den Nordvesteuropæiske olieprovins, - og på længere sigt den østgrønlandske kontinentalsokkel.



- Tertiær vulkanske bjergarter
- Kangerlussuaq bassinet
- Østgrønland bassinet
- Wandel Sea bassinet
- Franklinske bassin
- Kaledone foldekæde
- Prækambrisk grundfjeld
- Sokkelgrænse

Den systematiske udforskning af Østgrønlands geologi i dansk regi startede helt tilbage i slutningen af 1920'erne med Lauge Kochs ekspeditioner. Resultaterne af denne tidlige udforskning bidrog væsentligt til, at Danmark vandt sagen mod Norge om Østgrønland ved Haag domstolen tilbage i 1933, og dermed bibeholdt Østgrønland som en del af det danske rigsfællesskab. Den geologiske udforskning af Østgrønland er således vigtig både af politiske grunde, og fordi resultaterne dannede basis for brydning af blymalm ved Mestersvig (1956-1962) og er det grundlag hvorpå mineral- og olieefterforskning er baseret, (se afsnittet Østgrønlands sedimentbassiner og samfundet). Foruden de direkte praktisk anvendelige aspekter, har de mange resultater, opnået gennem de sidste 60-70 år, gjort Østgrønland til et nøgleområde til forståelse af Nordatlantens geologiske historie. Mange af resultaterne er også anvendt i forbindelse med olieefterforskning og produktion i Nordvesteuropa.

Når man ser på et atlas forekommer det ikke specielt indlysende at sedimentbassinerne i Østgrønland skulle være interessante for nordvesteuropæiske oliegeologer. De nærmeste olieletter, ud for Norges vestkyst og i området vest for Shetlandsøerne ligger mere end 1500 km borte adskilt fra Grønland af Atlanterhavet. Ikke desto mindre har studierne af de østgrønlandske sedimentbassiner på mange måder bidraget til forståelsen af den nordvesteuropæiske olieprovins. Det skyldes tre faktorer:

(1) Atlanterhavet er i geologisk forstand et relativt ungt ocean. Fra Devontid og frem til slutningen af Kridttid lå Nordvesteuropa og Grønland meget tættere på hinanden end de gør i dag. Som det bliver gjort rede for senere var de yderste dele af Østgrønland, samt sokkelområderne øst for Grønland og vest for Norge dele af ét stort sammenhængende sedimentbassin i dette tidsrum, se figur 4 og 6;

Figur 1. Simplificeret geologisk kort over det østlige og nordlige Grønland visende udbredelsen af de tre sedimentbassiner omtalt i hæftet.

(2) Efter dannelsen af Atlanterhavet i den tidlige del af Tertiærtid blev den vestligste del af dette store sedimentbassin hævet. Denne hævnings var mange steder mere end 3 km. Hævningen har medført, at de sediment, der før lå dybt begravet, i dag findes i bjergene langs den Østgrønlandske yderkyst (figur 6). Resten af det store Karbon-Kridt sedimentbassin fortsatte med at synke, og bjergarter af denne alder findes i dag dybt begravet på den østgrønlandske kontinentalsokkel samt på kontinentalsoklen ud for Norge, Danmark og Storbritanien (se figur 4 og 6). Det er fra sedimentære bjergarter af denne alder, der produceres olie og gas i Nordvesteuropa;

(3) Og endelig den oliegeologiske arbejds metode, der i høj grad er baseret på analogier (se forklaringsboks s. 18 - 19).

For nemheds skyld begynder vi med at forklare den oliegeologiske arbejds metode. Den mest almindelige arbejds metodik inden for efterforskning efter kulbrinter er udviklingen af såkaldte "play"-modeller, der hver beskriver et sæt omstændigheder, der kan føre til dannelsen af udvindbare forekomster af olie eller gas i undergrunden. Udviklingen af disse modeller kræver kendskab til den stratigrafiske (tidsmæssige) og rumlige udbredelse af kildebjergarter og reservoirbjergarter. Desuden kræver det viden om bassinets indsynkningshistorie, samt dannelses tids punktet for de fælder, hvori olien eller gas sen formodes at være bevaret. Som beskrevet i boksen om analogstudier, er de fleste af de data olieindustrien benytter sig af geofysiske, der kun indirekte fortæller, noget om bjergarterne i undergrunden. Det er derfor vigtigt at inddrage undersøgelser fra områder, hvor de samtidige bjergarter er hævet og findes blottet på overfladen. Det kan nemlig give mere sikker viden om f.eks. alderen, udbredelsen og kvaliteten af mulige kildebjergarter. Ligeledes kan feltstudier i høj grad medvirke til en forbedret forståelse af fordelingen af reservoirbjergarter inden for et sedimentbassin. I en senere produktions fase kan analogstudier også bruges til at få et bedre kendskab til reservoirbjergarternes rumlige variation indenfor det enkelte



oliefelt, således at den størst mulige mængde olie kan produceres.

Blottede sedimentbassiner har således nogle åbenlyse anvendelsesmuligheder som feltlaboratorium for oliegeolger strækkende sig fra udvikling af "play"-modeller til optimering af produktionen i allerede eksisterende fund. Betingelsen er naturligvis at de undersøgte områder er geologisk sammenlignelige, hvilket bringer os tilbage til historien om, hvordan området mellem Grønland og Norge så ud, inden Atlanterhavet blev dannet i begyndelsen af Tertiærtid.

Figur 2. Feltgeolog på arbejde i Wandel Sea bassinet i det nordøstligste Grønland. Geologen er ved at udfylde en prøveregisteringsseddel, der skal følge den indsamlede prøve ved analyser i laboratoriet mm. Bjergarterne i baggrunden er af Karbon alder.

Nordatlantens geologiske udvikling fra Karbon til Kridt



Figur 3. 350-400 m høj kystklint langs østkysten af Holm Land i det nordøstlige Grønland bestående af vekslende marine sandsten og kalksten overlejret af stejlvægsdannende kalksten. Sedimenterne er af Karbon alder og blev aflejret langs randen af et tropisk havområde, der også dækkede den nordlige del af den østgrønlandske shelf og Barentshavet (se figur 4a).

Den geologiske udvikling af det Nordatlantiske område er kompliceret, så her vil vi blot opridsede hovedtrækkene med fokus på de begivenheder, der er vigtige for forståelsen af de tre eksempler, vi har valgt fra Grønland.

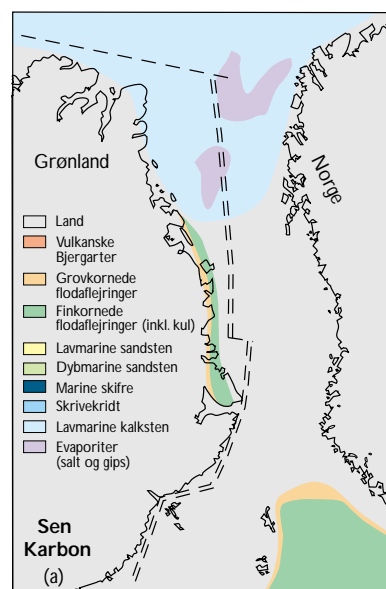
Sedimentære bjergarter af Karbon til Kridt alder findes blottet i et op til 100 km bredt bælte langs Østgrønlands yderkyst fra Jameson Land i syd til Store Koldewey i nord, samt i mindre områder om-

kring Kangerlussuaq i Sydøst Grønland og Kronprins Christian Land i det nordøstligste Grønland (se figur 1). Sedimenterne har været kendt siden begyndelsen af 1900-tallet, og har været studeret først af geologer tilknyttet Lauge Kochs ekspeditioner fra 1920'erne til 1950'erne, siden af geologer fra det tidligere Grønlands Geologiske Undersøgelse (GGU) og det nuværende GEUS, samt forskere fra Københavns Universitet. Den store viden, der herigennem er opbygget, har medført at

vi i dag har en ganske god fornemmelse af de blottede sedimentbassiners oliepotentiale, og at Østgrønland er nøgleområdet til forståelsen af den geologiske udvikling af det Nordatlantiske område fra Karbon tid (Kultiden) og fremefter.

G E O L O G I N Y T F R A G E U S 1 / 0 0

Figur 4a-d. Palæogeografiske rekonstruktioner af det nordatlantiske område inden dannelsen af Atlanterhavet. Kortene viser den formodede udbredelse af land og hav for fire tidsperioder, Karbon, Jura, Kridt og Paleocæn. Udbredelsen af de forskellige sedimentære miljøer er baseret på feltobservationer i Grønland og Svalbard og seismiske og borehuls data fra de norske shelfområder. Kortet over sen Karbon viser således et udbredt lavvandet havområde mod nord, hvor der blev aflejret forskellige typer kalksten. Den sydlige del af regionen var land, stedvist med store tropiske flodsletter. I Juratid trænger havet længere mod syd og der dannes en åben marin forbindelse mellem nord og syd. De østgrønlandske sedimentbassiner var dækket af et lavvandet marint havområde med stærke tidevandsstrømme. Aflejringer fra midt Jura er domineret af kystnære sandsten og finkornede bassinskifre. I Sen Kridttid var vandstanden i verdenshavene generelt højere end i dag og store dele af de tidligere landområder blev dækket af hav. Den dominerende aflejringsstype fra Kridttiden er finkornede bassinskifre, men lokalt findes sandsten afsat i dybmarike vifter. I Paleocæntid gennemgik hele det nordatlantiske område en voldsom forandring og store dele af de tidligere havområder blev til land. I den centrale brudzone mellem Grønland og Europa dannedes vulkaner hvorfra store mængder af basaltisk lava spredte sig ud. Den midtatlantiske spredningszone (stiplet linie på kortene) strækker sig fra syd mod nord og ender i en stor lateral forskydningszone langs hvilken Grønland og Svalbard-Barentshavet forskydes i hver sin retning.



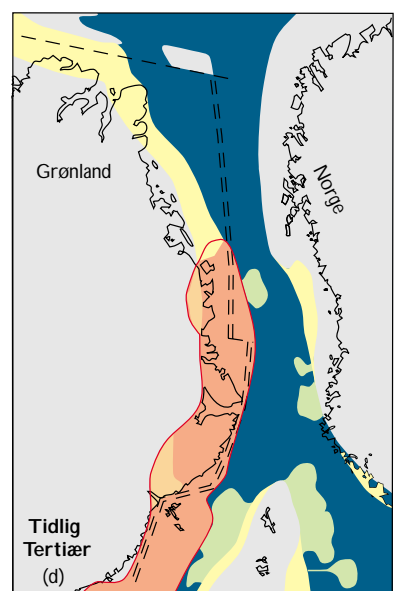
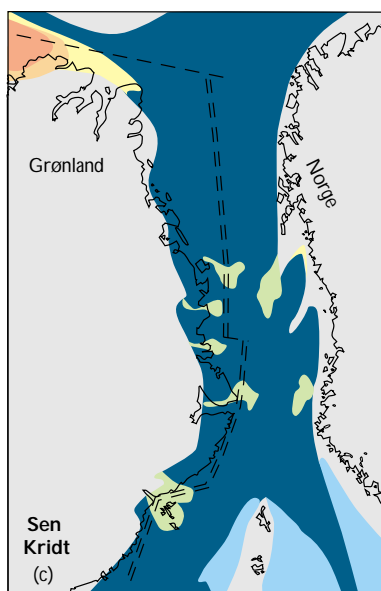
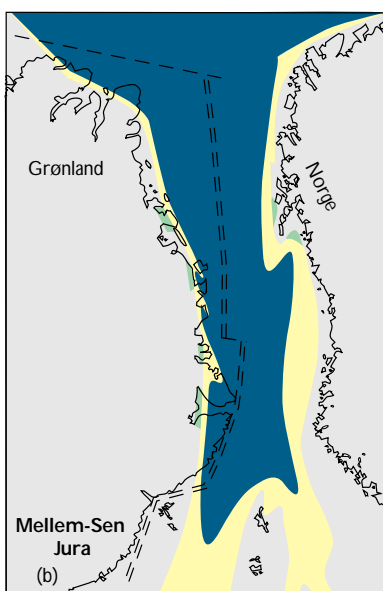


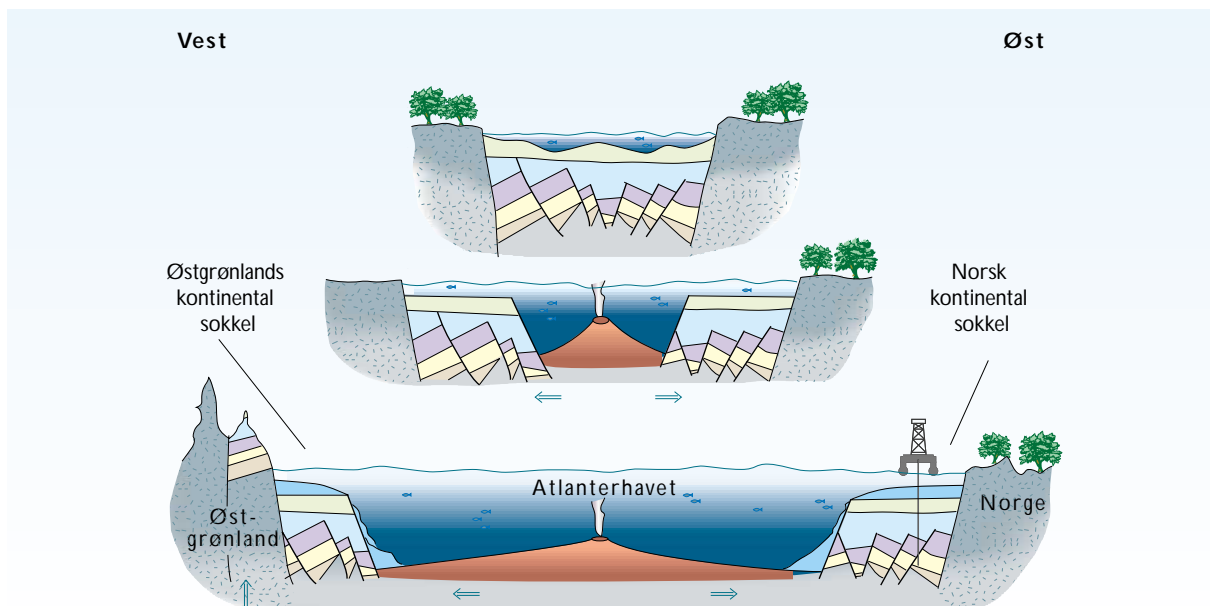
Figur 5. Det østgrønlandske sedimentbassin set fra øst. Lyse revkalksten af Perm alder overlejret af mørke marine dybvandsskifre. De rødlige og lilla bjergarter i baggrunden er ørkensedimenter af Trias alder, mens bjergtoppene i det nordlige Jameson Land består af lysere, gullige marine sandsten af Jura alder.

Sedimenterne blev aflejret langs vestranden af et stort indsynkningsområde, der også omfattede den østgrønlandske og norske kontinentalsokkel (figur 4a). Vestgrænsen af dette indsynkningsområde er en stor brudzone, der kan følges fra midt

på Østgrønland og hele vejen nordpå til Kronprins Christian Land. Den østlige afgrænsning er ikke lige så veldefineret, men lå formentlig ikke så langt fra Norges nuværende kystlinie (se figur 4a-d).

Indsynkningen af det nordatlantiske område startede i begyndelsen af Kultiden som følge af øst-vest orienteret strækning og deraf følgende udtynding af jordskorpen (rifting). I tidlig Karbontid var klimaet varmt og fugtigt i hele regionen. I de "hastigt" ind-





Figur 6. Schematisk udvikling af Atlanterhavet. Det øverste tværsnit viser situationen i slutningen af Kridttid lige før spredningen begyndte (svarende til figur 4c). Den øverste del af jordskorpen består af sedimentære lag af Karbon til Kridt alder, der ligger nogenlunde vandret kun forstyrret af forkastninger. Det midterste tværsnit svarer til situationen midt i Tertiær, hvor den oprindeligt sammenhængende jordskorpe er blevet delt, således at en del af det oprindelige sedimentbassin hænger på Europa mens resten hænger på Grønland. Det nydannede Atlanterhav består af vulkansk materiale. Nederst ses situationen som den er i dag. På den østgrønlandske side er der sket en lokal hævnig af en del af det gamle sedimentbassin således at bjergarterne i dag kan studeres i de østgrønlandske fjelde. Farvekoden svarer til figur 8.

synkende rift-bassiner blev der aflejret sand og ler tilført af store floder. I de sumpede områder omkring floderne blev der ophobet organisk materiale. Dette er senere i jordens historie blevet omdannet til kul. I den sydlige del af regionen, fra det nuværende Germania Land og sydpå fortsatte klimaet med at være varmt og fugtigt op gennem Karbontiden og aflejringen af flod- og søsedimenter fortsatte. Længere nordpå skete der store forandringer midt i Karbontiden. Havet trængte ind fra nord-øst og omdannede det nuværende Barentshav og den kystnære del af Nordgrønland til et lavvandet havområde. Den nordligste del af Nordatlanten var gennem den sene del af Kultiden og den tidlige del af Permtiden en del af en øst-vest gående karbonat shelf. - En forhistorisk udgave af Great Barrier Reef ud for Australiens østkyst, bare meget større. - Karbonat shelfen strakte sig langs nordranden af superkontinentet Pangea hele vejen fra nutidens Artisk Canada over Nordgrønland

østpå til Uralbjergene. Aflejringerne er domineret af forskellige former for kalksten afsat på lavt vand. Langs randen af dybere, mere hurtigt indsynkende bassiner blev der dannet kalkrev. Disse bassiner blev nu og da afsnøret og tykke saltaflejringer, lig dem vi kender fra den danske undergrund, blev dannet (se figur 4a). Dannelse af salt viser at klimaet var varmt og tørt i den nordlige del af regionen i dette tidsrum.

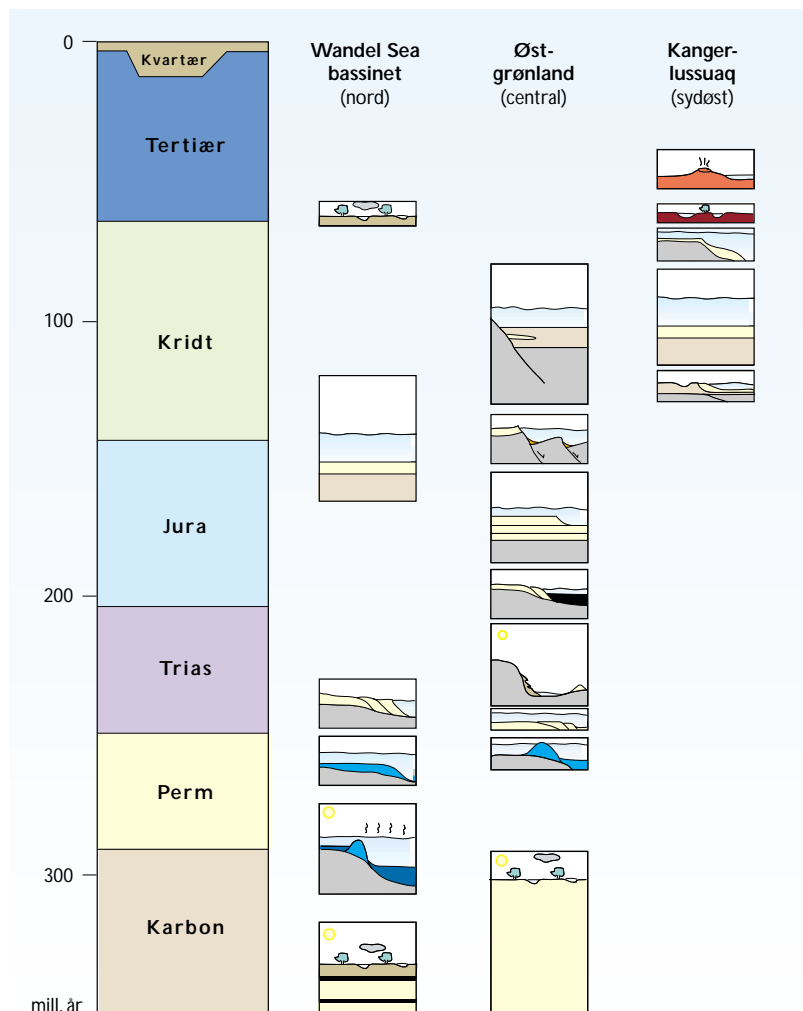
Midt i Permtiden bredte havet sig yderligere mod syd, og mod slutningen af Permtid var der dannet et smalt, langstrakt havområde, der strakte sig hele vejen fra Barentshavet og Nordgrønland ned til Danmark og Tyskland. I den nordlige del af dette område blev der aflejret en type kalksten, der peger på at klimaet var ligesom det, der findes langs sydkysten af Australien i dag. Længere mod syd, i Østgrønland, på den midtnorske kontinentalsokkel og i Nordvesteuropa var klima-

et varmere og mere tørt, og der blev aflejret kalksten, gips og salt. På dette tidspunkt var det meste af Danmark havdækket, og de tykke saltlag, der findes i undergrunden stammer fra denne periode.

I begyndelsen af Triastid trak havet sig tilbage fra Østgrønland og Nordvesteuropa. Gennem det meste af Trias var Østgrønland en gold afsveden ørken ligesom nutidens Sahara. Langs randen af dette ørkenbassin blev der aflejret grovkornede sandsten og konglomerater. Inde i midten af Jameson Land blev der aflejret mere

Figur 7. Geologlejr under etablering. Feltarbejdet i Grønland foregår fra tommands teltlejr i sommermånederne juli og august, hvor fjeldene er snefri. I baggrunden ses sedimenten af sen Perm alder. De røde bjergarter er konglomerater aflejret i floder. De er overlejret af hvid gips, der er dannet i afsnørede laguner som følge af inddampning af havvand. De øverste stejlvæggsdannende bjergarter er marine kalksten.





Figur 8. De østgrønlandske bassiners stratigrafi. Læs nærmere i teksten.

G E O L O G I N Y T F R A G E U S 1 / 0 0

finkornede sedimenter i midlertidige søer omkranset af store ørkenklitter. Længere mod nord og øst, i nutidens Nordgrønland, Barentshavet og den nordlige del af den norske kontinentalsokkel fandtes et vidtstrakt shelfhav, hvor sand blev afsat i store deltaer. Mod slutningen af Trias blev klimaet mere fugtigt og i Østgrønland afløses ørken-sedimenterne af ferskvands-aflejringer. På overgangen mellem Trias og Jura var hele Jameson Land dækket af en kæmpe sø, omkranset mod nord, øst og vest af landområder. Herfra byggede deltaer sig ud i søen. I tidlig Juratid trænger havet igen ind over

Jameson Land for senere i Juratid at sprede sig over det meste af Østgrønland. Det meste af Nordatlanten var i Juratid dækket af et lavvandet shelfhav. I Østgrønland transporterende floder fra nord sand ind i bassinerne, hvor det blev omlejret af bølger og tidevandstrømme. Tilsvarende sandsten udgør i dag en af de vigtigste reservoirenheder på den norske kontinentalsokkel. Et relativt højt havniveau kombineret med lille tilførsel af sand fra de omkringliggende landområder skabte i den sene del af Juratid perfekte forhold for aflejring af ler, og store mængder af organisk materiale fra alger blev bevaret på havbunden. Aflejringerne fra denne tidsperi-

ode er således karakteristiske sorte skifre rige på organisk stof, kendt under navnet "Kimmeridge Clay". Disse skifre udgør den mest betydningsfulde kildebjergart for olie i hele den Nordatlantiske olieprovins.

Mod slutningen af Juratid og i tidlig Kridttid skete der en fornyet strækning af skorpen og nye store forkastninger blev dannet mange steder, blandt andet i den nordlige del af Østgrønland. Langs disse brudzoner blev der aflejret grove sandsten og konglomerater.

Kridtiden var en forholdsvis rolig periode, hvor finkornede muddersten blev aflejret over det meste af det Nordatlantiske område. I Kangerlussuaq mod syd oversvømmede havet for første gang det krystalline grundfjeld i tidlig Kridttid og skabte det sydligste af de Østgrønlandske sedimentbassiner. Endnu længere mod syd, i Danmark hvor klimaet var varmere og sedimenttilførselen mindre blev det finkornede skrivekridt aflejret, som bl.a. kan ses i Stevns Klint og Møns Klint.

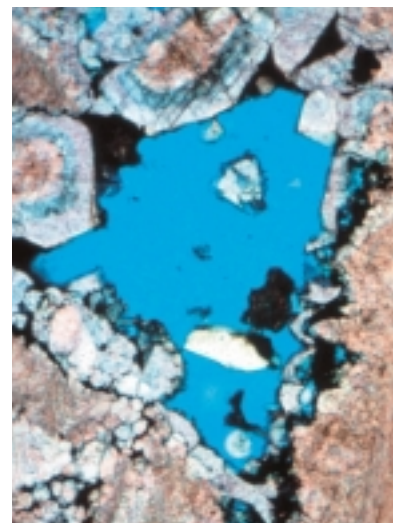
Den ovenfor skitserede udvikling af området mellem Grønland og Norge kan virke ganske voldsom, men den forløb over et tidsrum på cirka 290 millioner år; derfor opfattes situationen af geologer som forholdsvis stabil. Den helt store forandring i det Nordatlantiske område sker først i starten af Tertiær tid for ca. 55 millioner år siden. På dette tidspunkt medførte strækningen at jordskorpen gik i stykker, og det nordamerikanske kontinent sammen med Grønland begyndte at bevæge sig bort fra det europæiske kontinent (kontinentaldrift), se figur 6. I begyndelsen af Tertiærtid førte dette til voldsom vulkansk aktivitet langs den sydlige del af Østgrønland og de tilstødende shelfområder samt langs den vestlige kant af det, der i dag er den europæiske kontinentalsokkel. De vulkanske bjergarter, der udgør Færøerne stammer fra dette tidsrum. Der findes også spor af vulkanisme i den nordvestlige del af Irland og Skotland. Senere flyttede det vulkanske center ud i det sprækkesystem, der kendes under betegnelsen Den Midatlantiske Ryg, hvor der fortsat er vulkansk aktivitet, bedst kendt fra Island.



Figur 9. Fjeldene i forgrunden består af sandsten og konglomerater af Karbon alder aflejret i floder langs vestranden af det østgrønlandske bassin. Fjeldene i baggrunden består af ældre, deformerede bjergarter dannet i forbindelse med den Kaledone foldning for ca. 430 mio.år siden. De karbone flodsedimenter er af samme alder som de marine kalksten som er vist på figur 3.

Den Midtatlantiske Ryg har et uregelmæssigt forløb ned gennem det gamle sedimentbassin; kontinenternes drift har betydet at områder, der før lå ganske tæt ved hinanden i dag er vidt adskilte. Resterne af det gamle sedimentbassin kender vi i dag fra Østgrønland, hvor senere hævnning har ført til blotlægning i kystzonen samt fra sokkelområderne vest for Nordvesteuropa og øst for Grønland. Det er fra bjergarter af denne alder, der i dag produceres olie og gas i Nordvesteuropa. Og det er bjergarter af denne alder, der knyttes forhåbninger til ved olieeftersøgningen i den østgrønlandske region. Som det kan ses af rekonstruktionerne i figur 4a-d er der store forskelle i den geologiske udvikling fra syd mod nord i Østgrønland, og det er derfor vigtigt at forstå sedimentbassinernes udviklingshistorie før de bruges som analoger. Det ville f.eks. ikke være rigtigt at bruge de øvre karbone sedimenter i Østgrønland

som analog for sedimenterne i Barentshavet, fordi sedimenterne i Østgrønland, som det fremgår af figur 4a, blev aflejret af floder, mens sedimenterne i Barentshavet er dannet i havet. Til gengæld har det vist sig at de øvre karbone sedimenter på Kronprins Christian Land er en rigtig god analog for Barentshavet, hvilket vi skal se et eksempel på senere. Fra rekonstruktionerne er det også klart at Færøerne tidligere lå meget tæt på Kangerlussuaq Bassinet i Sydøstgrønland, hvorfor dette bassin må formodes at være en god analog for de ukendte shelfområder omkring Færøerne, - og her vil vi begynde med vores eksempler.



Figur 10. Olierester (sort) i porøs kalksten af Perm alder taget igennem mikroskop. Det klare blå område midt i billedet er et hulrum. Højden af billedet er 2,3 mm.

Kangerlussuaq – et eksempel på en fuldskala model



Figur 11. Fjeldene i Kangerlussuaq området er opbygget af størknede lavastrømme dannet i forbindelse med opsprækning og kontinentalspredning i Nordatlanten. Under de lagdelte basaltiske lavastrømme findes en kilometer tyk lagserie af sandsten og skifre. Disse lag fortæller historien om land og havs fordeling fra Kridttid til Tertiærtid og kan bruges som analog til bassinudviklingen i sokkelområdet omkring Færøerne. I baggrunden ses det 3693 m høje Gunnbjørn Fjeld.

Færøerne har netop åbnet for olieeftersforskning på den omkringliggende kontinentalsokkel, og inden for den nærmeste tid skal olieselskaberne give deres bud på, hvilke dele af soklen, de er interesserede i, og på hvilke vilkår. Eftersom der endnu ikke er boret efter olie på den færøske kontinentalsokkel, findes der ikke oplysninger, der kan fortælle, hvad de mønstre, der ses på de seismiske data betyder (se forklaringsboks s. 18-19). Olieselskaberne er derfor nødt til at benytte sig af analoger, når de skal lave geologiske modeller for området. Det er disse modeller, der danner grundlag for at vurdere, hvor chancen for oliefund er størst.

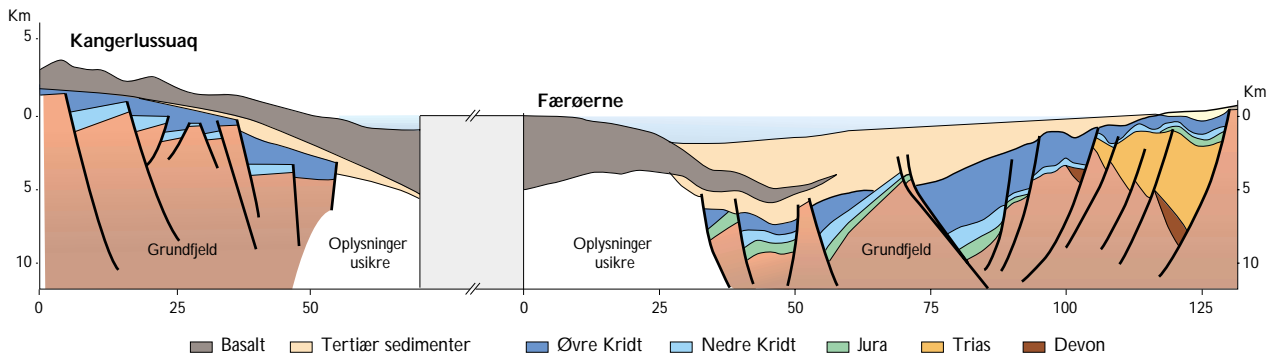
Nærmeste sted at hente viden fra er det Britiske sokkelområde vest for Shetlandsøerne, hvor der både findes spredte efterforskningsboringer og seismiske data. I søgen efter direkte geologisk viden har selskaberne i stigende grad rettet blikket mod

de sedimentære bassiner i Østgrønland. Geologiske modeller for dannelsen af Atlanterhavet (såkaldte pladetektoniske modeller) gør det muligt at fastlægge, hvor det færøske sokkelområde var placeret i forhold til Grønland og Europa i begyndelsen af Tertiærtid, umiddelbart inden kontinentalspredningen førte til åbningen af Nordatlanten. Resultatet af denne øvelse er overraskende for de fleste, idet det viser sig at nærmeste nabo til det Færøske sokkelområde var Kangerlussuaq området i det sydlige Østgrønland (figur 4a-d).

Kangerlussuaq området er relativt udforsket sammenlignet med områderne i det centrale Østgrønland. Området deler navn med Grønlands internationale lufthavn i Vestgrønland, men er i modsætning hertil et lidet gæstfrit område. Dette skyldes især områdets utilgængelighed med høje snedækkede bjerge, bl.a. Grønlands høje-

ste; det 3693 m høje Gunnbjørn Fjeld. Bjergmassiverne er isoleret af store gletschertunger, der løber fra indlandsisen og ned til kysten. Området er mest kendt for forekomsten af guld i et stort magmatisk kompleks "Skærugaards Intrusionen". Som vi skal se i det følgende har området dog på det seneste fået stigende betydning i jagten på det "sorte guld".

Undersøgelserne i Kangerlussuaq området viser at indsyknningen og aflejringen af sedimenter startede meget senere i dette område end i bassinerne længere nordpå i Østgrønland, nemlig først i begyndelsen af Kridttiden (figur 13). De ældste sedimenter i området er således sandsten af tidlig Kridt alder. Sandstenene er grovkornede til tider grusede og med tydelige krydslejringer, som viser at lagene er aflejret i floder og tidevandskanaler (figur 14a). Lagene afspejler et gradvist stigende havniveau og mængden af

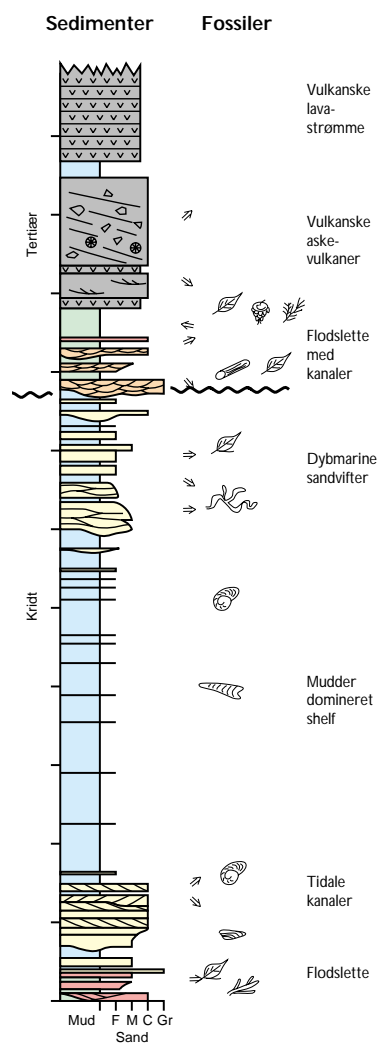


Figur 12. Bjergarterne i det færøske sokkelområde er foreløbigt kun kortlagt indirekte ved hjælp af seismik. Og store dele er stadig ukendte pga. et tykt basalt dække som skygger for de seismiske bølger. Ved hjælp af analogstudier fra Østgrønland håber geologerne at kunne skabe en bedre forståelse for områdets udvikling og mulighederne for at finde olie i de dybt begravede lag. Her ses til højre et geologisk tværsnit af den færøske sokkel baseret på seismiske data. Til sammenligning ses til venstre et tværsnit af Kangerlussuaq Bassinet baseret på feltobservationer.

sand i forhold til ler aftager opad. Marine fossiler som ammonitter og belemnitter (vættelys) bliver almindelige og sandstene viser tydelige gravespor fra muslinger og krebsdyr. Til sidst, i sen Kridttid var der dybt vand og en mudret havbund over hele området.

På overgangen mellem Kridttid og Tertiærtid begyndte store sanddominerede vifter at bygge sig ud over den mudderdominerede bassinbund (figur 14b). Vifterne var domineret af turbiditer som blev afsat fra turbulente tyngdestrømme (undersøiske slamstrømme). At land befandt sig ikke så langt mod nord ses af, at sandstene indeholder aftryk af blade og kviste. Vanddybden var dog stadig betragtelig og selv under kraftige storme nåede bølgerne ikke dybt nok til at forstyrre sedimenterne på bunden.

Mod slutningen af Paleocæntid skete imidlertid en dramatisk ændring af bassinet. Fra at have været et havdækket område igennem det meste af Kridt perioden omdannes Kangerlussuaq bassinet til et landområde. Mægtige floder skar sig ned gennem de hævede sediment og store mængder af sand og grus blev transporteret mod kysten (figur 14c). Lokalt dannedes sumpede flodsletter og lavvandede søer. Landet var dækket af vegetation og aftryk af blade, kogler og stykker af træ er almindelige i lagene fra denne tid. Den store mængde af materiale, der blev fjernet

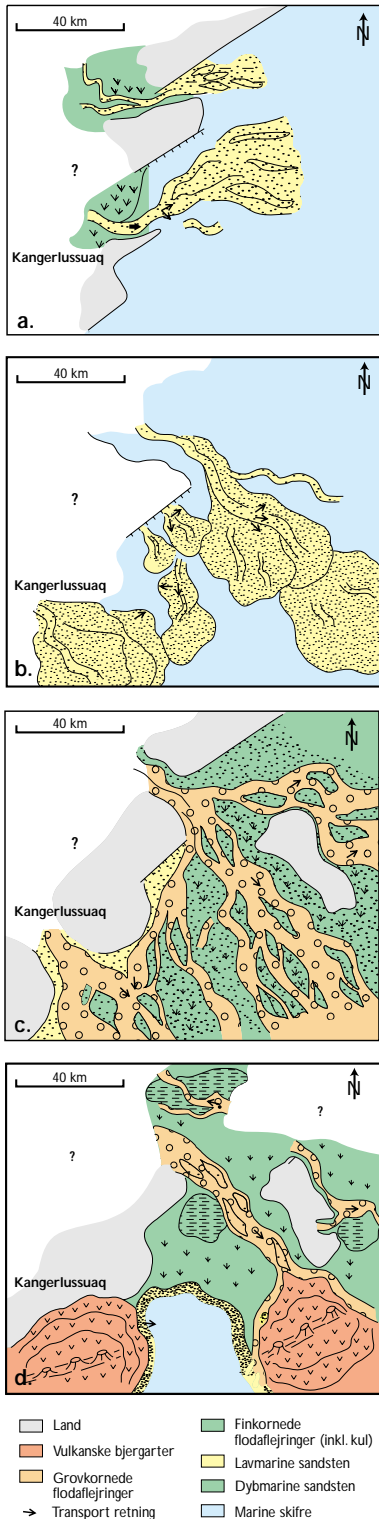


fra Kangerlussuaq området, blev ført med floderne videre ud i det havdækkede område sydøst for Grønlands kyst og sandsynligvis helt ud til de områder, der i dag danner kontinentalsoklen vest for Færøerne.

Grønland var ikke det eneste sted som oplevede en voldsom hævnning og et skift fra hav til land i slutningen af Paleocæntid. Lignende hændelser er beskrevet fra Norge og Storbritannien. At hele det Nordatlantiske område blev hævet på dette tidspunkt skyldes, at et legeme af meget varmt magma bevægede sig op under lithosfæren og dermed løftede de overliggende lag. Kontinentalpredningen som førte til dannelsen af Nordatlantiske hav var begyndt.

I Kangerlussuaq området betød den fortsatte strækning af skorpen, at den flere steder bristede, hvorved en række mindre bassiner blev dannet og hævnningen blev afløst af hurtigt indsynkning. Dette skete samtidig med de første vulkanudbrud og snart dækkede basaltiske lavastrømme fra disse vulkaner hele Kangerlussuaq området (figur 14d). Geokemisk ligner basaltlagene i Kangerlussuaq de færøske basalter så me-

Figur 13. Ved hjælp af en sedimentologisk log kan geologiske informationer som kornstørrelse, strukturer, aflejningsmiljø og indholdet af fossiler vises i skematisk form. I lagsøjlen er de ældste lag nederst og figuren kan betragtes som et lodret snit (boring) igennem Kangerlussuaq Bassinet.



Figur 14. På baggrund af geologiske data og detaljeret kortlægning er det muligt at fremstille en serie palæogeografiske kort for området. På kortene er de forskellige aflejringsmiljøer angivet med hver deres farve. Ud fra sedimentologiske strukturer og kornstørrelses variationer er det også muligt at tolke i hvilken retning floder og havstrømme bevægede sig. Kortene viser tydeligt fordelingen af sand og ler i de forskellige tidsperioder. **a)** Tidlig Kridt: sandsten aflejret i floder og tidevandskanaler. **b)** Sen Kridt – tidlig Tertiær: Dyb marin mudderet bassinbund med sanddominerede vifter. **c)** Paleocæn: kraftig bassinhævning og overgang fra marine til kontinentale miljøer. Konglomerater og sand afsat i flettede floder. **d)** Sen Paleocæn: Indsynkning og gennembrud af de første vulkaner. Senere i Paleocæntid dækkedes hele området af basaltiske lavastrømme.

get, at man med stor sandsynlighed kan sige at de stammer fra det samme vulkanprovins.

Vægten af de enorme mængder af lava fik jordskorpen til stadighed at synke ind (isostasi) og Kangerlussuaq området var ikke meget over havniveau i den tidlige del af Tertiærtid. Den samlede tykkelse af lavadækket var op mod 6 km og da toppen lå tæt ved havniveau betød det at sedimenterne blev begravet dybere og dybere. Den dybe begravelse er grunden til, at der ikke findes olie i Kangerlussuaq bassinet. Olie nedbrydes ved de høje temperaturer dybt i jordskorpen. I det færøske område er lavadækket derimod tyndere. Det er tyndest længst mod syd på den færøske kontinentalsoklen, i størst afstand fra den Nordatlantiske spredningsryg, så her er der formentlig de bedste muligheder for at finde olie (figur12).

Hvordan der ser ud under lavadækket på den Færøske sokkel og om vores forudsigelser holder stik, vil vi først få at vide, når de første borerer er kommet ned gennem basaltlagene. Men med Kangerlussuaq området som model kan vi give et kvalificeret bud på den færøske kontinentalsokkels geologiske udvikling og forudsige sand/ler fordelingen igennem tid. Der er dermed skabt mulighed for, med større sandsynlighed at udpege mulige kilde- og reservoirtbjergarter. Alt sammen oplysninger som bruges i olieselskabernes vurdering af området.

Et oplagt eksempel på, hvordan konkret viden fra Kangerlussuaq kan bruges i forbindelse med udarbejdelse af "play"-modeller for den færøske sokkel, er at se på betydningen af det voldsomme opløft, som vi har beskrevet fra Kangerlussuaq i Paleocæntid. Fra sedimenterne ved vi at

Kangerlussuaq området var dækket af store floder og at disse transporterede store mængder af groft materiale tværs over den Østgrønlandske sokkel i en sydøstlig retning. Vi ved ikke hvordan dette materiale blev afsat, men det er sandsynligt at floderne mundede ud i en række store deltaer. Herfra kunne sandet blive omarbejdet og transporteret af kystnære strømme eller fortsætte som tyngdestrømme videre ud på dybt vand. Observationerne i Kangerlussuaq kan således bruges til at sandsynliggøre, at chancerne for at finde gode reservoirsandsten i den færøske undergrund er bedst i lag af netop denne alder. Uden viden fra Kangerlussuaq ville dette ikke være til at forudsige.



Figur 13. Den enes død den andens brød. Næringen fra en død moskusokse hjælper planterne til at overleve i de gøldede egne af Nordgrønland.

Jura stratigrafi i Østgrønland – et geologisk redskab; også til olieeftersforskning.



Figur 15. Jura sedimenter i det centrale Jameson Land. Den markante sorte enhed midt i billedet består af cirka 100 m tykke marine skifre af Mellem Jura alder.

Stratigrafi, egentlig beskrivelse af jordlagene i en lagserie, er en grundlæggende geologisk arbejdsmetode til at udrede jordens geologiske historie. Stratigrafiske undersøgelser er grundlaget for inddelingen af den geologiske lagserie i enheder baseret på deres egenskaber; enhederne afspejler en dannelses- og tidsmæssige rækkefølge. De basale stratigrafiske principper blev fastlagt allerede i 1669 af vores kendte og hellige landsmand Niels Steensen (Nicolaus Steno), men det er først i løbet af de sidste cirka 150 år, at der er blevet etableret en konsekvent opdeling af klodens bjergarter i krono(tids)-stratigrafiske enheder, f.eks. Juratid. Den yngre del af jordens historie omfattende de sidste ca. 545 millioner år er opdelt i tolv af sådanne enheder, systemer. Den del af jordens historie vi beskæftiger os

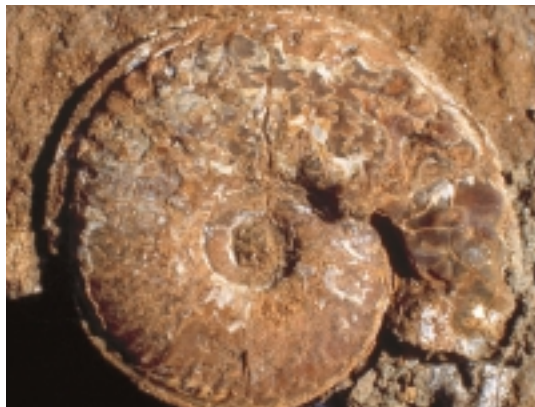
med her i hæftet, omfatter systemerne Karbon til Tertiær (figur 8, side 8).

Oprindeligt skete bestemmelsen af bjergarternes alder på basis af indholdet af synlige forsteninger (makrofossiler), f.eks. bruges vættelys (belemnitter) som vi kender fra stranden ved Møns Klint til at aldersbestemme Kridttidens bjergarter. Senere, med olieindustriens vækst og behovet for at aldersbestemme bjergarterne i borer, blev det nødvendigt at udvikle nye dateringsmetoder, baseret på mikrofossiler. For at forstå sammenhængen mellem den oprindelige stratigrafiske opdeling, og den der er baseret på mikrofossiler, er det nødvendigt at studere lagserier, hvor der optræder både makrofossiler og mikrofossiler.

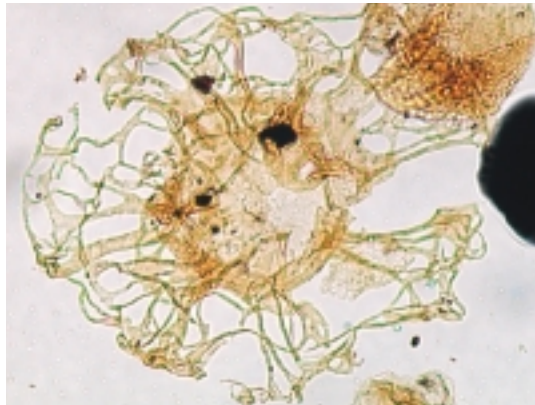
Den jurassiske lagserie i Østgrønland er enestående på grund af sin udstrækning og blotningsgrad. De naturgivne forhold kombineret med mange års udforskning giver en solid platform for udvikling af nye geologiske forskningsfelter og discipliner; fra de sidste årtier kan nævnes sekvensstratigrafi, isotop stratigrafi og dinoflagellat stratigrafi. Derfor vender geologerne ofte tilbage til de samme områder for at afprøve nye metoder eller ideer.

Som nævnt i indledningen er Østgrønlands sedimentbassiner hævet flere kilometer op over havet i løbet af nyere geologisk tid (dvs. de sidste cirka 25 millioner år), og sedimenter af Jura alder findes blottet i mange fjelde. De store, forholdsvis nemt gendelige ammonitter er gode ledetråde i felten, hvor profiler gennem sedimenterne

Figur 16. Ammonitter er relativt store, "snegleagtige" skaller fra uddøde blækspruttelignende dyr. Ammonitternes ydre former ser generelt ensartet ud, men indvendig er skallerne opdelt i kamre, ofte med stærkt foldede vægge. Foldemønstret er en vigtig karakter for identificeringen af ammonitterne. Ammonitten er ca. 7 cm i diameter.



Figur 17. Dinoflagellat cyster er mikroskopiske organiske skaller fra én-cellede alger (dinoflagellater) som også i dag udgør en væsentlig del af havenes plankton. De er således basis af fødekæden, men kan også gøre skade ved lokale algeopblomstringer som på grund af nogle arters giftighed kan føre til fiskedød, muslingeforgiftninger osv. Dinoflagellaterne danner cyster som led i deres livscyklus, og cysten bliver aflejret på havbunden sammen med ler og finsand. Bredden af billedet er ca. 80 µm.



i bjergskråningerne kan afsøges og de ammonitførende lag findes og følges kilometervis til siderne. Dette gør det let at indsamle sedimentprøver med mikrofossiler i de lag, hvor ammonitterne optræder.

Jura ammonit stratigrafi

I bjergarter fra Juratiden har det vist sig at forstenede blæksprutter, kaldet ammonitter er meget anvendelige til aldersbestemmelse. Derfor foregik den oprindelige datering af Jura bjergarterne ved hjælp af ammonitter. Ammonitterne var, som nutidens dyr er, påvirket af havmiljø og klima og reagerede på samme måde som f.eks. torsken, der i dag forsvinder fra Grønland og Færøerne, fordi havstrømmene ændrer kurs og havvandets temperatur ændres. Derfor optræder ammonitter i faunaprovinser, som afspejler overordnede jurassiske klimabælter.

Det smalle Jura hav strakte sig, som det ses af figur 4b fra Nordsø-området til det po-

lare bassin. I den nordlige del af dette hav var vandet køligt, sandsynligvis som nutidens Vesterhav, og de ammonitarter, der levede der, tilhører det der kaldes den boreale ammonitfauna. Længere mod syd, i Nordsø området var vandet varmere, som i nutidens Middelhav, og andre arter af ammonitter levede der. De tilhører den subboreale ammonitfauna.

De ammonitter, der findes i de jurassiske sedimenter i Østgrønland tilhører for det meste den boreale fauna, som kom ind i området fra nord. Det vil sige, at de østgrønlandske ammonitter er tæt knyttet til de ammonitfaunaer, der findes i jurassiske sedimenter i Sibirien, Svalbard og Canada. I kortere perioder op gennem Juratid ændrede klimaforholdene sig til det gunstigere, og ammonitter fra den sydlige, subboreale faunaprovin næde frem til Østgrønland og blandede sig med de boreale ammonitter. Men selv i perioder med havforbindelse

mod syd var ammonitfaunaerne domineret af de boreale arter.

Den østgrønlandske ammonit stratigrafi er standard stratigrafi for hele den boreale fauna provins, fordi den er veldokumenteret, og fordi alle de kendte stratigrafiske ammonit varianter er fundet her. Desuden er der den fordel, at den boreale ammonit stratigrafi i Østgrønland kan knyttes sammen med den sydlige, subboreale ammonit stratigrafi fra Nordvesteuropa, fordi horisonter med blandede faunaer optræder i Østgrønland.

Jura dinoflagellat stratigrafi

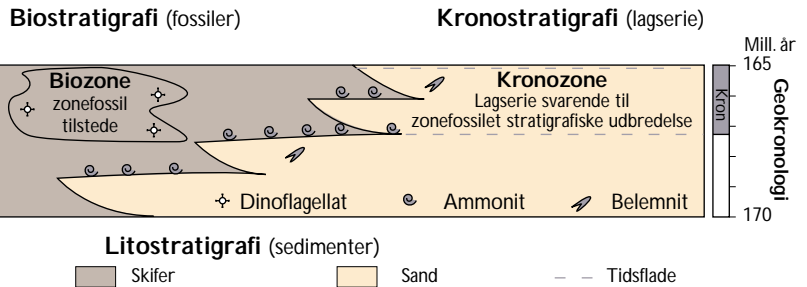
Ammonitter findes yderst sjældent i olieindustriens efterforskningsboringer, og kan ikke anvendes som stratigrafisk redskab alene af den grund at det meste af materialet, som kommer op til overfladen er knust ned til millimeter størrelse. Som tidligere nævnt er det bedste redskab til bestemmelse af de gennemborede lags alder små, mikroskopiske fossiler. Til aldersbestemmelse af sedimenter fra Juratiden i boringer fra Nordvesteuropa bruges især dinoflagellat cyster, dvs. rester af planktoniske alger, der svævede i vandmasserne og dryssede ned på havbunden når de døde. Således er aldersbestemmelsen af de dybt begravede Jura sedimenter på den norske kontinental sokkel baseret på dinoflagellater.

Et spejlbillede (analogi) af offshoreområderne ud for det mellemste Norge findes i Østgrønland. Her kan den tidsmæssige udbredelse af de enkelte jurassiske dinoflagellater kædes sammen med den boreale ammonit stratigrafi idet dinoflagellaterne findes i de samme lag som ammonitterne. I Østgrønland har det vist sig, at der er forskelle i den tidsmæssige udbredelse af visse dinoflagellat arter fra syd mod nord over de næsten 700 km kyststrækning, hvorfra der kendes Jura sedimenter. Denne nord-syd variation i dinoflagellat arternes tidsmæssige udbredelse gør, at den i Nordsøen etablerede dinoflagellat stratigrafi i mange tilfælde giver upræcise eller i værste fald forkerte dateringer, hvis den anvendes i boringer fra den midt-norske kontinental sokkel – eller i Østgrønland.

Selv om dinoflagellaterne er marint plankton og teoretisk følger havstrømmene rundt i havet, så viser resultaterne fra undersøgelserne i Østgrønland, at deres udbredelse var lige så tydeligt påvirket af datidens miljø og klima, som ammonitterne og nutidens fisk er. Den nordlige, boreale dinoflagellat flora er markant fattigere på arter end den flora som kendes fra det sydlige, subboreale område; den adskiller sig desuden ved at have sine egne karakteristiske arter, hvoraf en del har deres sydligste forekomst i Østgrønland. Disse variationer ses tydeligt i Østgrønland. Mængden af "sydlige" arter (diversitet) mindskes mod nord, antal eksemplarer af dinoflagellat cyster (tæthed/densitet) mindskes mod nord og varigheden af deres optræden i lagserien formindskes mod nord. Samtidig trænger "nordlige" arter ned i Østgrønland.

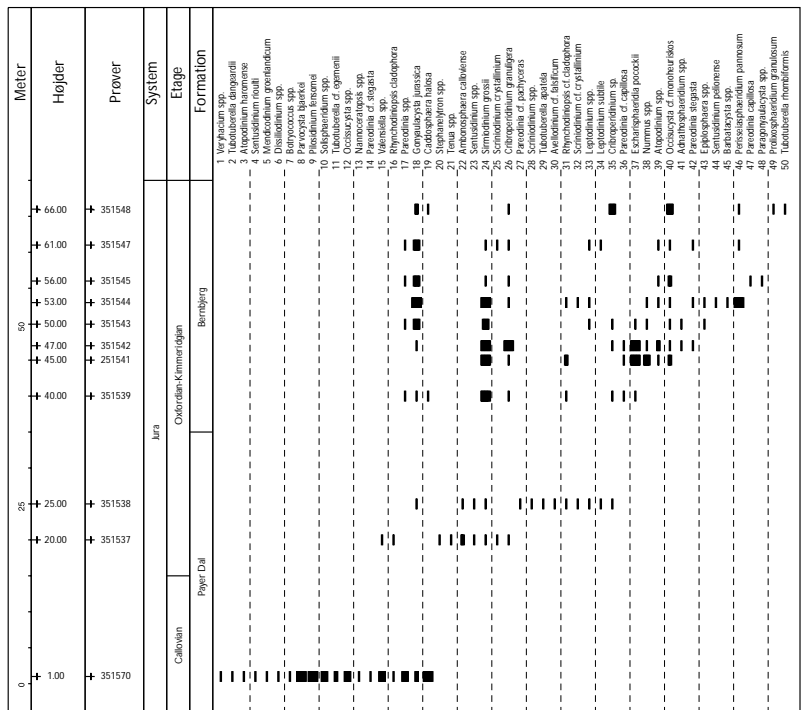
Når Jura lagserien i Østgrønland analyseres ved hjælp af sekvensstratigrafiske metoder og resultaterne heraf sammenlignes med dinoflagellat data, er det tydeligt at de rigeste dinoflagellat floraer findes i de dele af lagserien, hvor en relativ havstigning medfører overskylning af kystområderne. Sedimenter og organisk materiale fra land når ikke rigtig ud i bassinet på dette tidspunkt, hvorved dinoflagellaterne koncentrerer i finkornede sedimenter. Grovere sedimenter og organisk materiale fra land skylles langt ud i bassinet under den efterfølgende udbygning af kysten, og mængden af dinoflagellater i bundsedimenterne bliver derfor forholdsvis mindre.

Det er som regel tidligt i den transgressive fase at markante nye arter eller opblomstringer af specielle arter ses første gang. Der er derfor god sammenhæng mellem de enheder, der kan opstilles ved brug af den sekvensstratigrafiske metode og de biostratigrafiske data. De sekvensstratigrafiske enheder afspejler regionale eller globale ændringer i havniveau; de enkelte, afgrænsede enheder genkendes på deres fossilindhold over store afstande. Dette betyder, at korrelationen er mere sikker i disse intervaller, og underbygger således dinoflagellaternes anvendelighed som stratigrafisk redskab i olieboringer



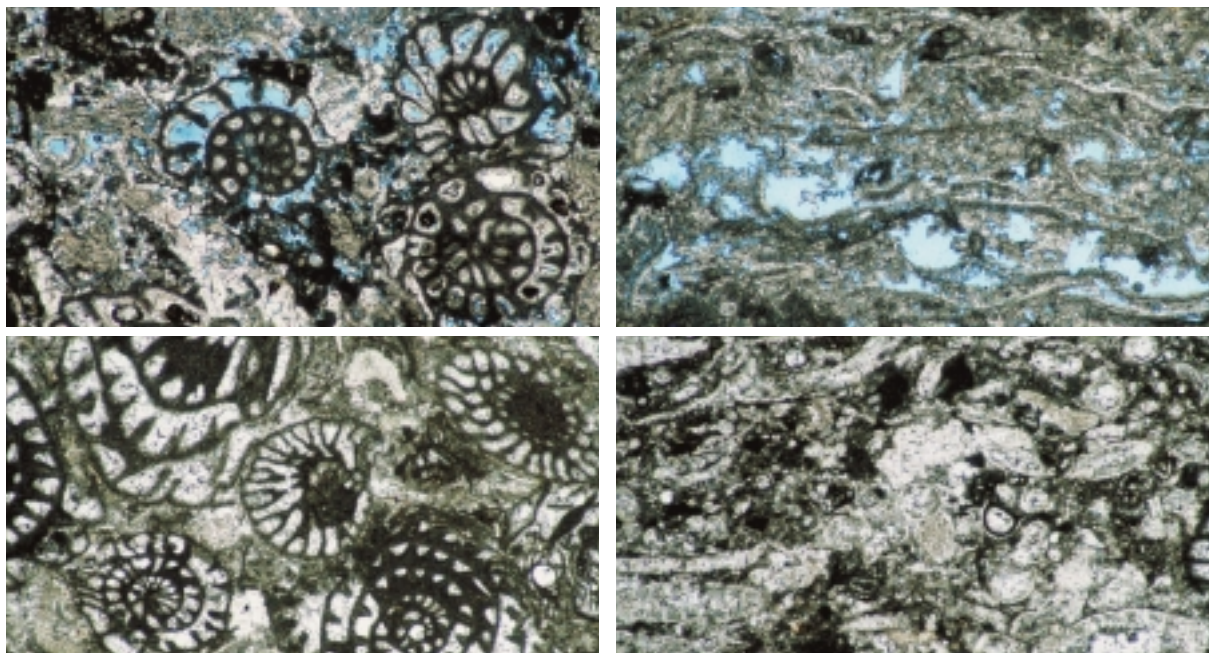
Figur 18. Her illustreres sammenhængen mellem de stratigrafiske enheder i biostratigrafi, litostratigrafi, kronostratigrafi og geokronologi. Stratigrafi i sedimentære bassiner er baseret på meget forskellige geologiske discipliner så som palæontologi (fossile dyr og planter), sedimentologi (sand og lers aflejningsforhold) og geofysik (målte fysiske parametre). Hver af disse fagdiscipliner bidrager til en stratigrafisk helhed, som igen gør det muligt at udforske og belyse et sedimentbassins geologiske historie og sammenligne hændelser og enheder basinerne imellem. Resultatet er det som i gamle dage hed historisk geologi (jordens historie). Den sidst tilkomne stratigrafiske metodik er sekvens stratigrafi, som er en dynamisk stratigrafi, hvor sedimentære enheder (sekvenser) afgrænset af tidslinier er fortolket som dannet ved relative havniveauændringer, som i visse tilfælde kan have sammenhæng med overordnede astronomiske forhold (Milankovich cykler). Se Geologi, Nyt fra Geus Nr. 1, 1998.

Parallelt med stratigrafi baseret på fossiler eller bjergarter, er der en geologisk kronologi, en tidsskala, på basis af absolutte dateringer som udregnes ved måling ved radioaktive isotopers henfald. Absolutte dateringer kan udføres på specielle geologiske enheder især vulkanske bjergarter. Det er et overordentligt kompliceret puslespil, at få de absolutte aldre knyttet sammen med de zonefossiler som bruges i biostratigrafien til relative dateringer. Fossilerne er til gengæld almindelige i sedimentære bjergarter og desuden billigere at bearbejde, samt meget præcise og mere detaljerede end noget andet redskab til datering af geologiske lagserier.



Figur 19. Udbredelse af fossiler i en lagserie afbildes ofte skematisk ved at vise i hvilke prøver fossilet er fundet, og dermed hvortfra og hvortil i lagserien det forekommer. Dette "range-chart" er biostratigrafernes arbejdsredskab. Af figuren ses det at dinoflagellatarterne 1-14 kun forekommer i prøve 351570, mens f.eks. arterne 49 og 50 kun forekommer i den øverste prøve (351548), og derfor er yngre.

Karbon - Perm karbonatbjergarter i Nordgrønland – en kilde til forståelsen af reservoirbjergarter i Barentshavet



Figur 20. Fotos af karbonatbjergarter taget i et mikroskop. De to øverste billeder viser bjergarter, der er bevaret som dolomit. De har høj porøsitet, her blå som følge af kunstig farvning af indstøbningsmidlet, og er gode reservoirbjergarter. De to nederste billeder viser samme typer karbonatbjergarter som ovenfor, men bevaret som kalcit. Alle tidligere porerum er fyldt med kalcit og bjergarterne har ingen porøsitet, hvilket gør dem til dårlige reservoirbjergarter. De spiralformede dyr på billederne til venstre er store foraminiferer. De lange trådformede organismer på billederne til højre er kalkalger. Billedernes bredde svarer til 2.5 mm.

Som medlemmer af Danmarksekspeditionen fandt I. P. Koch (onkel til den mere kendte Lauge Koch) og A. Wegener (fader til teorien om kontinentaldrift) helt tilbage i 1907 sedimentære bjergarter af Karbon og Perm alder blottet langs de sydlige og østlige kyster af det, de døbte Holm Land og Amdrup Land i det nordøstligste Grønland (se figur 1). Meget få af de efterfølgende, hundeslæde baserede ekspeditioner fandt vej forbi denne fjerne del af Grønland, så det var først i forbindelse med den systematiske geologiske kortlægning af området i 1980'erne og 1990'erne, at bjergarterne blev detaljeret undersøgt. Dette arbejde omfattede bl.a. opmåling af talrige sedimentære profiler, indsamling af prøver til analyser i laboratoriet samt indsamling af fossiler til aldersbestemmelse af lagene. Materialet blev indsamlet for at udrede regionens geologiske udviklingshistorie, for derigennem at muliggøre en vurdering af

oliepotentialet i sedimentbassinet samt på den tilstødende kontinentalsoinkel.

Dette arbejde faldt sammen med at den norske olieindustri begyndte at lede efter olie i Barentshavet. I løbet af 1980'erne og 1990'erne blev der indsamlet tusindvis af kilometer af seismiske data fra Barentshavet. Som beskrevet i boksen om analog studier giver disse data kun en indirekte viden om bjergarterne i undergrunden. Således repræsenterer de mønstre, der ses på den seismiske linie i figur 21 ændringer i bjergarternes fysiske egenskaber i intervaller af 20 m til måske op til 100 m tykkelse. Det er kun muligt at få et mere detaljeret indblik i bjergarternes rumlige variationer ved at bore. På nuværende tidspunkt er der færre end 15 borer, der har gennemboret bjergarter af Karbon eller Perm alder i Barentshavet. Heraf er det kun få, hvori der er taget kerner fra dette interval. Selv om dis-

se borer naturligvis giver mange vigtige oplysninger om bjergarternes sammensætning og alder, repræsenterer de alligevel et meget begrænset datagrundlag. Det har derfor vist sig at være gavnligt, at inddrage informationer fra de omkransende landområder i den videre efterforskning.

Det blev hurtigt klart, at de karbone og perm kalkbjergarter, der findes blottet langs Holm Lands og Amdrup Lands kyster udgør en væsentlig baggrund for bedre at kunne vurdere reservoirmulighederne i de samtidige kalkbjergarter i Barentshavet. Grunden til dette er, at kalkbjergarterne i Grønland er blottet i 300-400 m høje kystfjælde, hvor det er muligt at følge de enkelte lag op til 5 km til siderne. Det betyder at det er muligt, meget detaljeret, at undersøge de enkelte kalklags rumlige udbredelse. Ligeledes er det muligt at studere, hvorledes kalkbjergarterne ændrer sam-

mensætning ud til siderne, størrelsen og udbredelsen af rev og mange andre ting af betydning for vurdering af bjergarternes egenskaber som reservoir for olie.

Dannelse og bevaring af porøsitet (hulrum) i kalkbjergarter er meget mere kompliceret end i sandsten. I de fleste sandsten er der et enkelt forhold mellem begravelsesdybde og porøsitet, dvs. som en tommelfinger regel kan man regne med at jo dybere en sandsten bliver begravet jo mindre porøs er den. Dette er ikke tilfældet med kalkbjergarter. Nogle kalksten omdannes så de er helt tætte allerede på overfladen, mens andre omdannes så de bliver mere porøse. De fleste kalksten aflejres i havet og består af en blanding af fragmenter af kalkskallede organismer, f.eks. muslinger, og kalk udfældet direkte fra havvand. Alt efter vandtemperaturen vil sedimentet være domineret af kalkskallede organismer med skaller lavet af mineralet aragonit (f.eks. kalkalger og foraminiferer, typisk for tropiske til varmt subtropisk miljøer) eller mineralet calcit (f.eks. bryozoa og sølliljer, typisk for køligere, tempererede miljøer). Det kemisk udfældede kalk veksler tilsvarende. Denne forskel i primær mineralogi har stor betydning for den senere omdannelse af bjergarten. Calcit er det kemisk mest stabile af de to mineraler. Kalksten domineret af calcit udsættes derfor for mindre opløsning end bjergarter domineret af aragonit. Undersøgelser af de grønlandske kalkbjergarter, sammenholdt med data fra borerier i Barentshavet og oplysninger fra Svalbard, viser at der er en klar sammenhæng mellem den primære mineralogi og bjergartens alder. Således er alle kalksten af midt til sen Perm alder opbygget af fragmenter af bryozoa, sølliljer og brachiopoder og består udelukkende af calcit, - i overensstemmelse med formodningen om at de blev aflejret i et tempereret havområde. Disse kalksten er alle tætte og har ingen betydning som reservoirbjergart.

Det er således muligt, ved at kombinere data fra Grønland og Svalbard med de sparsomme data fra borerierne i Barentshavet, at fremvise et tilbagevendende mønster, der medfører at en stor del af kalkbjergarterne i Barentshavet kan afskrives som mu-

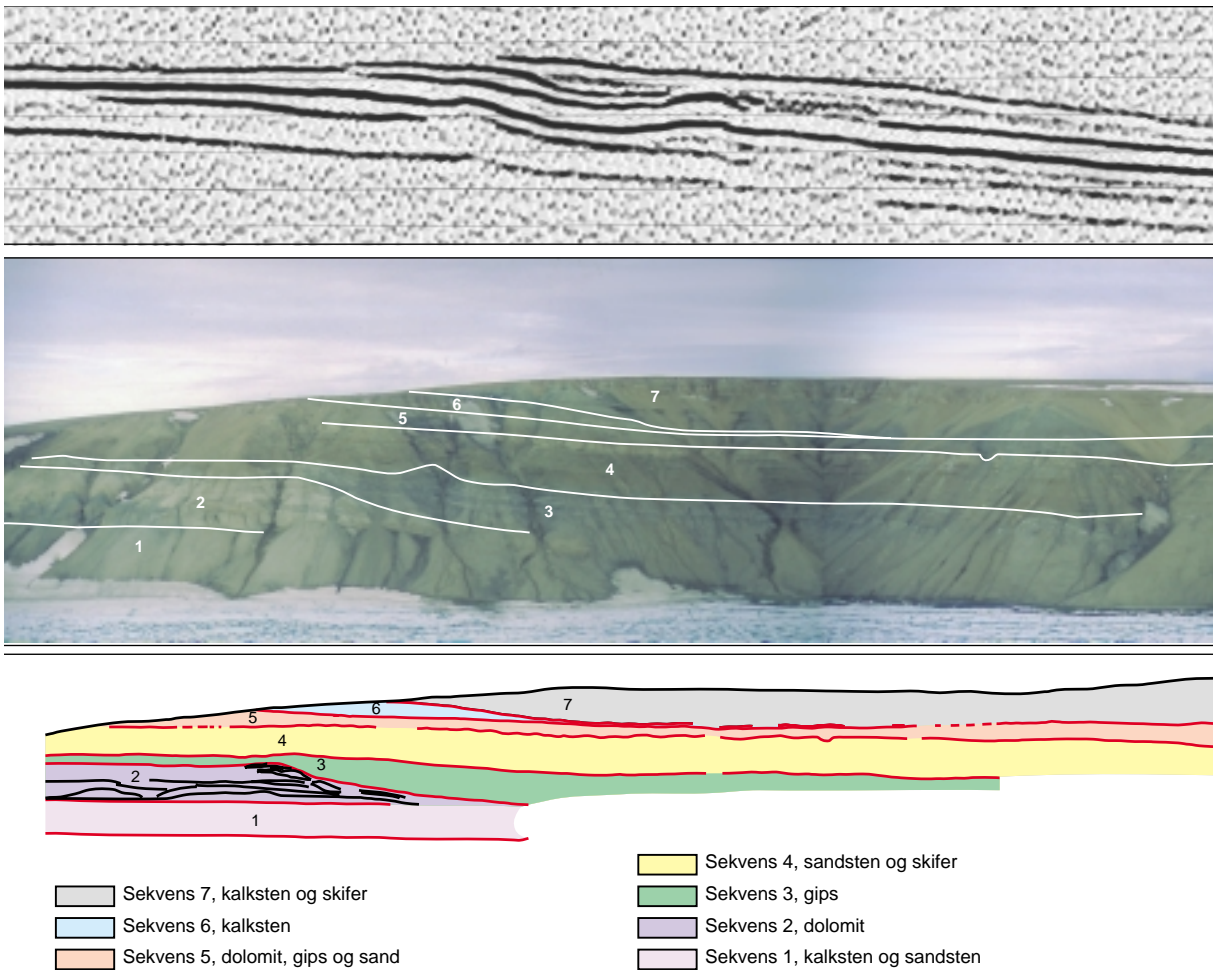
lige reservoirbjergarter; nemlig de kalksten der er af midt og sen Perm alder. Det indskrænker så mulighederne for at finde gode reservoirbjergarter til kalkbjergarter af Sen Karbon og tidlig Perm alder, hvor udgangsmaterialet var domineret af aragonit som følge af det varmere klima. De få borerier, der har gennemboret denne del af lagserien i Barentshavet viser, at der er meget stor forskel på reservoirkvaliteten af kalkbjergarterne. Det er derfor vigtigt at udvikle en geologisk model for, hvad der styrer fordelingen af hulrum i bjergarterne, så det i fremtiden er muligt at bore, der hvor der er størst sandsynlighed for høj porøsitet. Denne model skal helst kunne sættes i forhold til de mønstre, der ses på de seismiske linier, idet det er på basis af disse at borerierne skal placeres.

Studiet af to samtidige lagserier af karbon alder på henholdsvis Holm Land og Amstrup Land har vist at en meget vigtig forudsætning for at der bevares porøsitet i kalkbjergarterne er, at de meget tidligt efter aflejringen blev blotlagt, så ferskvand kunne gennemstrømme dem og opløse den kemisk ustabile aragonit. Ydermere skal der helst findes aflejringer af gips i nærheden.

Grunden til dette er, at udfældningen af gips (CaSO_4) fra havvand fremmer omdannelsen af calcit og aragonit (begge CaCO_3) til det mere stabile karbonatmineral, dolomit (CaMgCO_3). Denne mineral omdannelse kendes i dag fra den kystnære zone i klimaregioner med varmt og tørt klima, f.eks. kyststrækningerne i den Arabiske Golf. Den fører til øget porøsitet i bjergarterne, da dolomitkrystallerne fylder mindre end de calcitkrystaller de erstatter. Ydermere er dolomit kemisk mere stabilt, så porøsiteten bevares bedre når bjergarterne begravnes til stor dybde. På sydkysten af Amstrup Land findes de karbone kalkbjergarter sammen med gips. De oprindelige kalksten er nu bevaret som dolomit i de områder, der ligger i nærheden af gipsen. Disse dolomitbjergarter har en meget højere porøsitet end kalksten af samme alder fundet længere væk fra gipsen på Amstrup Land, eller på Holm Land, hvor der ikke forekommer gips. Dolomitbjergarternes gode reservoir

egenskaber anses for at være en god analog til de dolomitbjergarter, der er truffet i borerier fra Barentshavet.

I Barentshavet er det meget vanskeligt at klarlægge den rumlige udbredelse af de dolomitiserede zoner indenfor den Øvre Karbon – Nedre Perm lagrække på grund af manglende data fra borerier. På Amstrup Land er det tilgængeligt temmelig let, idet det blot er at gå ud i kystbjergene og kortlægge dem. På figur 21 ses et foto samt en figur, hvor de forskellige typer kalksten er indtegnet. Det stammer fra sydkysten af Amstrup Land. Her ses hvorledes dolomitbjergarterne dominerer i den nedre del af lagserien, under og til siderne for den mægtige gipsbænk. Højere oppe dominerer kalksten med ingen eller ringe porøsitet. På fotoet kan man også se at den dolomitiserede zone danner en lille karbonatplatform. På toppen og langs kanten mod det dybere vand findes der små rev (figur 21). Det er i disse rev de allerbedste reservoirbjergarter findes. Spørgsmålet er nu: "Hvordan kan vi nyttiggøre denne viden i forbindelse med olieeffterforskning i Barentshavet?" Fra Barentshavet har vi jo kun seismiske data! En mulig måde, er at gætte på hvilket seismisk mønster sedimenterne på Amstrup Land ville danne, hvis vi sendte lydbølger ned gennem dem. Vi kunne så kigge efter dette imaginære mønster i de seismiske linier fra Barentshavet og dermed gætte på, hvor revene og dolomitten er mest udbredt. Inden for de sidste år er det blevet muligt, takket være større computere, kunstigt at fremstille seismiske tværsnit. Et sådant kunstigt (syntetisk) seismisk tværsnit af bjergarterne på Amstrup Land ses over fotoet på figur 21. Det er fremstillet på baggrund de indsamlede sedimentologiske data samt måling af lydhastigheden i udvalgte bjergartsprøver. Den kunstigt skabte (syntetiske) seismik viser meget godt, hvor få detaljer, der kan genfindes i de seismiske data (prøv at sammenligne det seismiske tværsnit med fotoet). Brugen af kunstig seismik har gjort det lettere at anvende de grønlandske felldata i Barentshavet. Om det betyder oliefund må fremtiden vise, for der endnu nogle år til den næste boring i dette område.



Figur 21. I midten ses et foto af en cirka 400 m høj stejlvæg bestående af karbonatbjergarter, evaporiter og sandsten af Karbon alder. Figuren under billedet viser en geologisk tolkning af stejlvæggen med angivelse af den dominerende lithologi. Bemærk formen af sekvens 2, der danner en lille karbonatplatform. Den øverste del af figuren viser bjergarterne i stejlvæggens seismiske egenskaber i form af en kunstigt skabt seismisk linie (baseret på bjergarternes fysiske egenskaber og udbredelsen af de forskellige enheder)

Analog studier

Olieefterforskning og olieproduktion er i høj grad baseret på iagttagelser v.h.a. geofysiske data. Den vigtigste datakilde kommer fra undersøgelser af undergrundens seismiske egenskaber, hvorved man kan få et indblik i opbygningen af den øverste del af jordens skorpe (figur 21). Andre vigtige data kommer fra undersøgelser af de fysiske egenskaber i de bjergarter, der gennembøres, når der bores efter olie, - det er dyrt at tage kerner i de gennemborede bjergarter og

derfor nøjes man oftest med at undersøge deres petrofysiske egenskaber (lydhastig, elektriske modstandsevne, radioaktivitet mm) ved hjælp af måleudstyr, der sænkes ned i borehullet. Dette kan give et temmelig præcist, om end indirekte billede af bjergarternes sammensætning.

Alderen af den gennemborede lagserie bestemmes ved hjælp af direkte iagttagelser af mikrofossiler i bjergarterne (biostratigrafi). Da der, som ovenfor antydet, er meget lidt kernemateriale fra borerne, er

dateringerne oftest baseret på mikrofossiler fundet i borespåner. Denne metode har det problem, at den nøjagtige lokalisering af det undersøgte materiale er ukendt, og at borespånerne ofte repræsenterer materiale fra flere stratigrafiske niveauer. I historien om Østgrønland vil vi vise, hvorledes dette område kan bruges til at opstille en detaljeret biostratigrafi, der senere kan anvendes til aldersbestemmelse i borerne. I vores eksempel er det for tidsperioden Jura.

For at få en bedre forståelse af, hvad de indsamlede geofysiske data er et udtryk for, benyttes analogier. I den tidligste efterforskningsfase, hvor der ikke er nogen borerer at støtte sig til, vil tolkningen af de seismiske data basere sig på viden fra blottede sedimentbassiner med en formodet sammenlignelig geologisk historie. – Det er her eksemplificeret ved historien om Kangerlussuaq Bassinet i Sydøst Grønland som en analog for shelfområderne omkring Færøerne. – Senere i efterforskningsfasen, og i produktionsfasen, kan det være vigtigt at få et mere detaljeret kendskab til reservoirbjergarternes egenskaber end det er muligt gennem et begrænset antal borerer. I forbindelse med produktion er det er f.eks. vigtigt at kende den rumlige variation i porøsitet og permeabilitet i reservoiret, mens det i dette stadie af efterforskningen er vigtigt at kunne forudsige, hvor der er størst sandsynlighed for at have gode reservoirbjergarter. Her har det feltgeologiske laboratorium en af sine store fordele. De geologiske lag kan iagttages og måles op i felten, og der kan produceres en sedimentologiske log, der illustrerer et snævert lodrette snit gennem lagene svarende til den information, der kommer fra en borekerne. I felten er det imidlertid muligt følge lagene ud til siderne, ofte mange kilometer og dermed opbygge 3-dimensionelle modeller over lagenes variation i kornstørrelse, porøsitet mm. – Det er her eksemplificeret ved historien om Wandel Sea Bassinet i Nordgrønland som analog for Barentshavet.



SAMFUNDET

Brydningen af blymalm fra minen ved Mestersvig i årene 1956 til 1962 bidrog til den grønlandske og danske økonomi. Minen var desuden grundlaget for etableringen af lufthavnen i Mestersvig. Nordisk Mineselskabs mineralefterforskning i området fra 1962 og frem til 1980'erne bidrog til at permanentgøre Mestersvig som lufthavn for lokalsamfundet i Scoresbysund (Illoqqortoormuit). Mineralefterforskningen dokumenterede mange interessante malmforekomster i det østgrønlandske sedimentbassin, bl.a. en kæmpe forekomst af molybdæn syd for Mestersvig. Ingen af malmforekomsterne er dog økonomisk rentable at bryde på nuværende tidspunkt. Tildels fordi anlægsomkostningerne er enorme i disse øde egne af Grønland.

Midt i 1980'erne begyndte det amerikanske olieselskab ARCO at søge efter olie på Jameson Land i det centrale Østgrønland. Der blev udført omfattende seismiske undersøgelser i området og som støtte for disse aktiviteter blev der bygget en ny lufthavn i Constable Pynt. Efterforskningen stoppede igen i 1990 uden at der var boret eller gjort oliefund. Lokalsamfundet i Scoresbysund (Illoqqortoormuit) nyder nu godt af den lufthavn, som ARCO byggede ved Constable Pynt som erstatning for den mere afsidesliggende i Mestersvig. Forhåbningerne til oliefund i Grønland knytter sig nu især til sokkelområderne vest for Grønland, hvor isforholdene er gode. Sokkelområderne ud for Østgrønland byder på meget vanskelige forhold for olieefterforskning på grund af drivis, og det kræver ny teknologi før disse områder kan komme i betragtning som mål for olieefterforskning.



FORSKNINGEN

Der er en lang tradition for geologisk forskning i de sedimentære bassiner langs Grønlands østkyst startende med Lauge Koch's ekspeditioner i slutningen af 1920'erne. I de isfri områder langs Grønlands kyst er de naturgivne muligheder for geologisk forskning blandt de bedste i verden. Sedimenterne er blotlagt i tre dimensioner og der er ikke overjord eller vegetation af betydning. Forskningen har vist at de østgrønlandske sedimentområder udgør et af verdens bedst blottede riftbassiner. Ud over de praktisk anvendelige aspekter af forskningen, som vi har fokuseret på i dette hæfte, er det således muligt at lave grundforskning af meget høj klasse. Inden for de sidste årtier har grundforskningen og den anvendte forskning i høj grad suppleret hinanden, og bidraget til en bedre forståelse af det østgrønlandske riftbassins stratigrafi og aflejningshistorie. Nye forskningsområder så som palæoklimatologi er kommet til, og indenfor de sidste år har sedimenterne oplevet en renaissance, som leverandør af spektakulære forsteninger. Allerede i 1930'erne vakte fundet af forsteninger af den ældst kendte tetrapod (landlevende vertebrater), *Ichthyostega* i sedimentet af Sen Devon alder opmærksomhed. Her næsten 70 år senere er disse forsteninger stadig de ældste spor vi har af vertebrater, der er tilpasset livet på land, og anses derfor for at være vores stamform. For nyligt er det fundet af meget tidlige former af pattedyr (*Haramiya*) i aflejringer af Trias alder, der har vakt opsigt.



Lars Stemmerik er *cand. scient* og *lic. scient* i geologi fra Københavns Universitet (1982 og 1986). Har været ansat ved GEUS siden 1986 med oliegeologisk evaluering af de østgrønlandske sedimentbassiner som hovedbeskæftigelse.



Michael Larsen er *cand. scient* og *ph.d.* i geologi fra Københavns Universitet (1989 og 1996) med speciale indenfor sedimentologi og sekvensstratigrafi. Han har udført geologisk feltarbejde i Østgrønland siden 1992. Hans forskning koncentrerer sig om klastiske sedimentbassiner af Jura, Kridt og Tertiær alder. Han har i en årrække samarbejdet med norske olieselskaber omkring modeller for Nordatlantens udvikling og palæogeografi.



Stefan Piasecki blev *cand. scient* og *lic. scient* i geologi ved Københavns Universitet i henholdsvis 1976 og 1980. Han har udført geologisk feltarbejde i Øst- og Nordgrønland siden 1977. Arbejdet omfatter især biostratigrafi baseret på organiske mikrofossiler; terrestriske sporer og pollen i palæozoiske aflejringer samt marine dinoflagellat cyster og acritarcher i mesozoiske til neogene aflejringer.



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

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

GEUS udfører tillige rekvirerede opgaver på forretningsmæssige vilkår.

Interesserede kan bestille et gratis abonnement på **GEOLOGI - NYT FRA GEUS**.

Bladet udkommer 4 gange om året.

Henvendelser bedes rettet til:

Knud Binzer

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

Eftertryk er tilladt med kildeangivelse.

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

Skriv, ring eller e-post:

GEUS

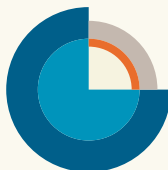
Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse
Thoravej 8, 2400 København NV.

Tlf.: 38 14 20 00

Fax.: 38 14 20 50

E-post: geus@geus.dk

Hjemmeside: www.geus.dk



GEUS publikationer:

Hos Geografforlaget kan alle GEUS' udgivelser købes.

Henvendelse kan ske enten på tlf.:

63 44 16 83 eller telefax: 63 44 16 97

E-post: go@geografforlaget.dk

Hjemmeside: www.geografforlaget.dk



Adressen er:

GEOGRAFFORLAGET 5464 Brenderup

ISSN 1396-2353

Produktion:

Gitte Nicolaisen, GEUS Grafisk

Tryk: From & Co.

Forsidebillede: Lars Stemmerik

Foto: Lars Stemmerik, Michael Larsen, Stefan Piasecki og Peter A. Scholle

Illustrationer: Gitte Nicolaisen, Jette Halskov og Carsten Thuesen