

# Geokemi i Siri Canyon – nye idéer til olieefterforskning

JOHAN SVENDSEN (Altinex Oil), HENRIK FRIIS (Geologisk Institut, ÅU),  
METTE LISE KJÆR POULSEN og LARS HAMBERG (DONG Energy)

Et stort geokemiprojekt omhandlende Siri Fairway kernerne, blev startet i 2003. Projektet var et samarbejde mellem partnerne i Siri Fairway licenserne, DONG Energy, Altinex OIL (nu Noreco Oil), RWE Dea og Paladin (nu Talisman) og Geologisk Institut, Aarhus Universitet. Projektet havde ingen specifikke modeller og teser der skulle afprøves, men skulle bredt undersøge om geokemiske tilgangsvinkler kunne hjælpe med olie efterforskning og -produktion i Siri Fairwayen. Mere end 20 efterforsknings- og vurderingsbrønde blev undersøgt, repræsenterende omkring 1200 kernemeter sediment.

indvirke på sedimentet efter aflejring; diagenese, forvitring, og i værste tilfælde forurening under boring, prøvetagning og analyse (Fig. 1). Sedimentær geokemi dækker over bred vifte af analyseteknikker. I Siri Fairway Projektet var det hensigten at benytte whole-rock geokemi, som i tilfælde af succes eventuelt kunne anvendes på cuttings og wire-line data. Ved behandling af whole-rock geokemiske data, er det vigtigt at holde sig for øje hvordan de enkelte grundstoffer optræder i sedimentet. De tre vigtigste måder at få et givet grundstof ind i et sediment er ved: 1) primær krystalstruktur, 2) substitution og 3) adsorption (Fig. 2).

## Sedimentær geokemi Generelle betragtninger

Geokemien af en prøve er et komplekst resultat af kemien af kildeområdet, den omdannelse der sker under forvitring, transport og aflejring, sortering af sedimentet under aflejring, samt de processer der kan

## Primær krystalstruktur

Ved primær krystalstruktur forstås den måde grundstofferne optræder på når de indgår direkte i krystalgitteret, som Zr gør det i zirkon og Ti gør det i ilmenit. I et tænkt sediment, der kun består af kvarts og zirkon (begge kun i deres rene form  $\text{SiO}_2$  og Zr-

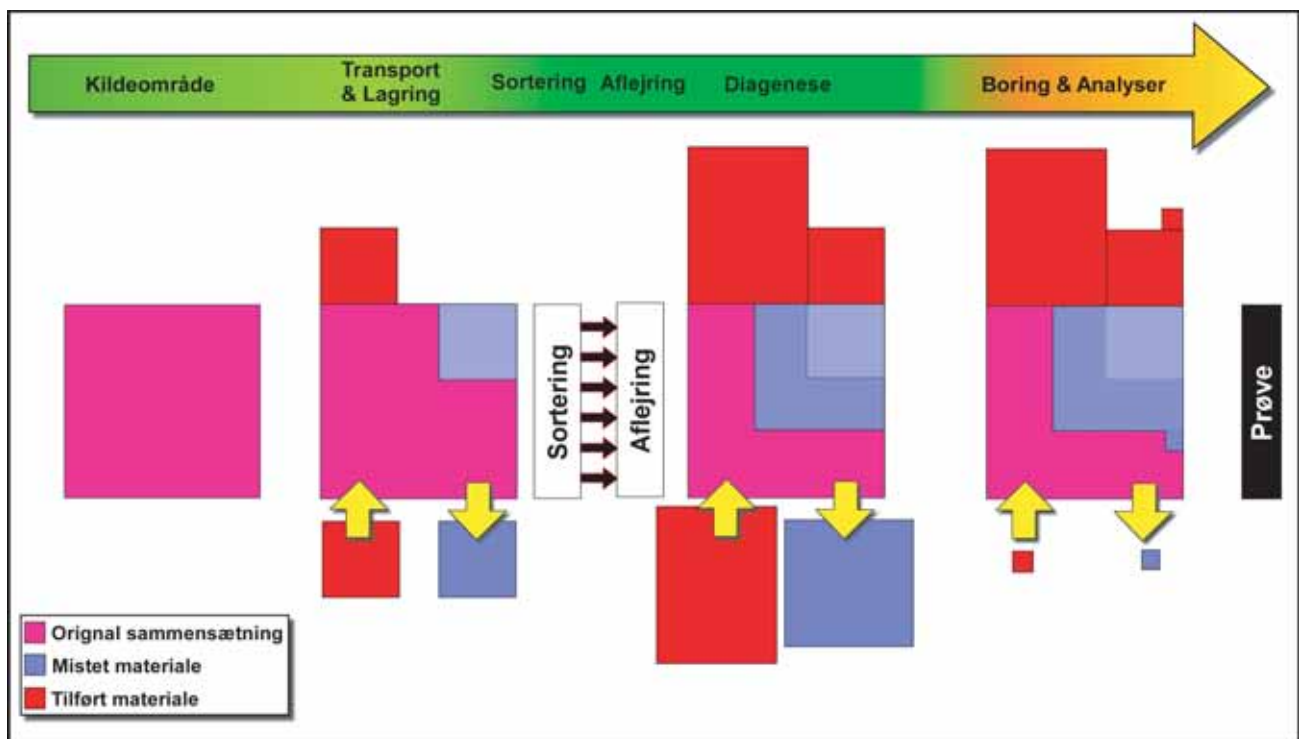


Fig. 1. Den komplekse kemiske sammensætning af en sedimentær prøve er et mix af kemien af kildeområdet, de tab og tilførsler der sker under forvitring, transport, aflejring, sortering og diagenese.

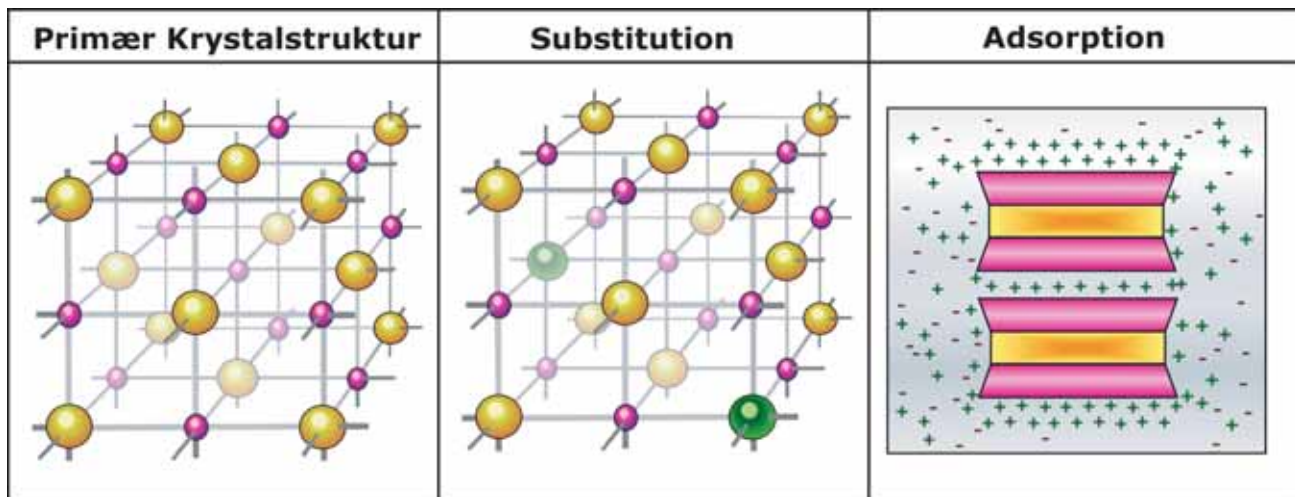


Fig. 2. Visuel gengivelse af de tre begreber: Primær Krystalstruktur (venstre), substitution (midt) og adsorption (højre)

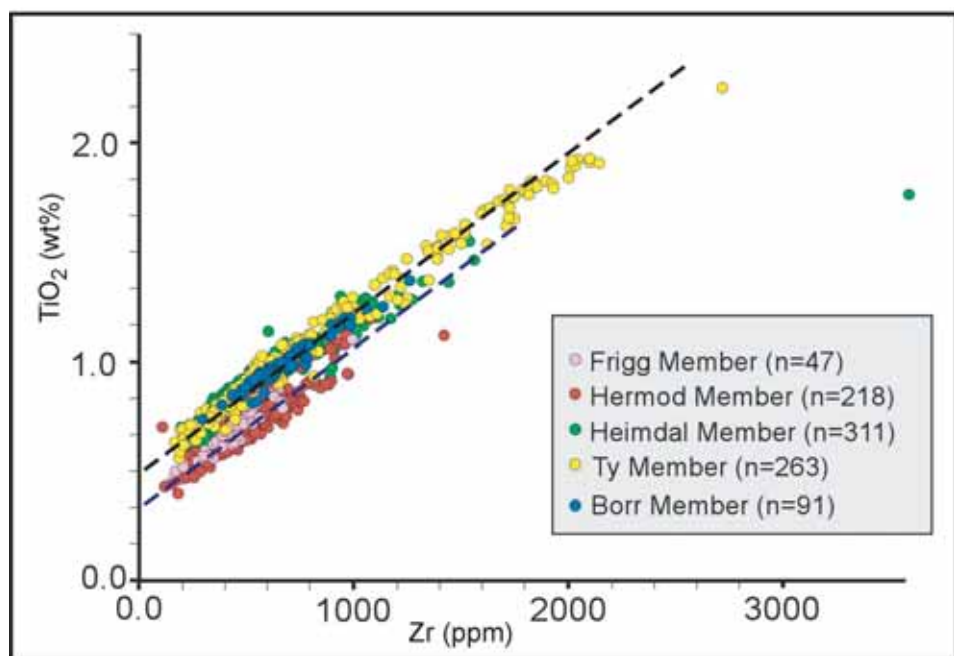


Fig. 3. Krydsplot af Zr og Ti. Der ses en forbløffende korrelation mellem de to grundstoffer, indikerende at det/de mineraler der bærer Zr har samme opførsel under transport og aflejring som det/de mineraler, der bærer Ti.

SiO<sub>4</sub>), ville den analyserede mængde zirkonium kunne relateres direkte til mængden af zirkon.

### Substitution

Substitution foregår i talrige krystalgittere, hvor visse grundstoffer kan substituere for de grundstoffer der definerer den primære krystalstruktur. Såfremt to grundstoffer har overordnet samme størrelse (ion radius) og ladningsforskellen ikke overstiger 1, vil der ifølge Goldschmidts regler kunne foregå substitution (Burns 2005). Et eksempel på en sådan substitution er, når Th overtager nogle af Zr's pladser i

krystalgitteret i zirkon (Fig. 2). Thorium indgår ikke i den kemiske formel for zirkon; alligevel vil mængden af zirkon i vores kvarts-zirkon-sediment beskrevet ovenfor kunne bestemmes ud fra mængden af Th, når blot Th ikke substituerer for Si krystalstrukturen for kvarts

### Adsorption

Adsorption beskriver den proces hvor de negative overflader på et lermineral er i stand til at bære en mængde af positive ioner. De adsorberede positive ioner indgår ikke i selve krystalstrukturen af leret,

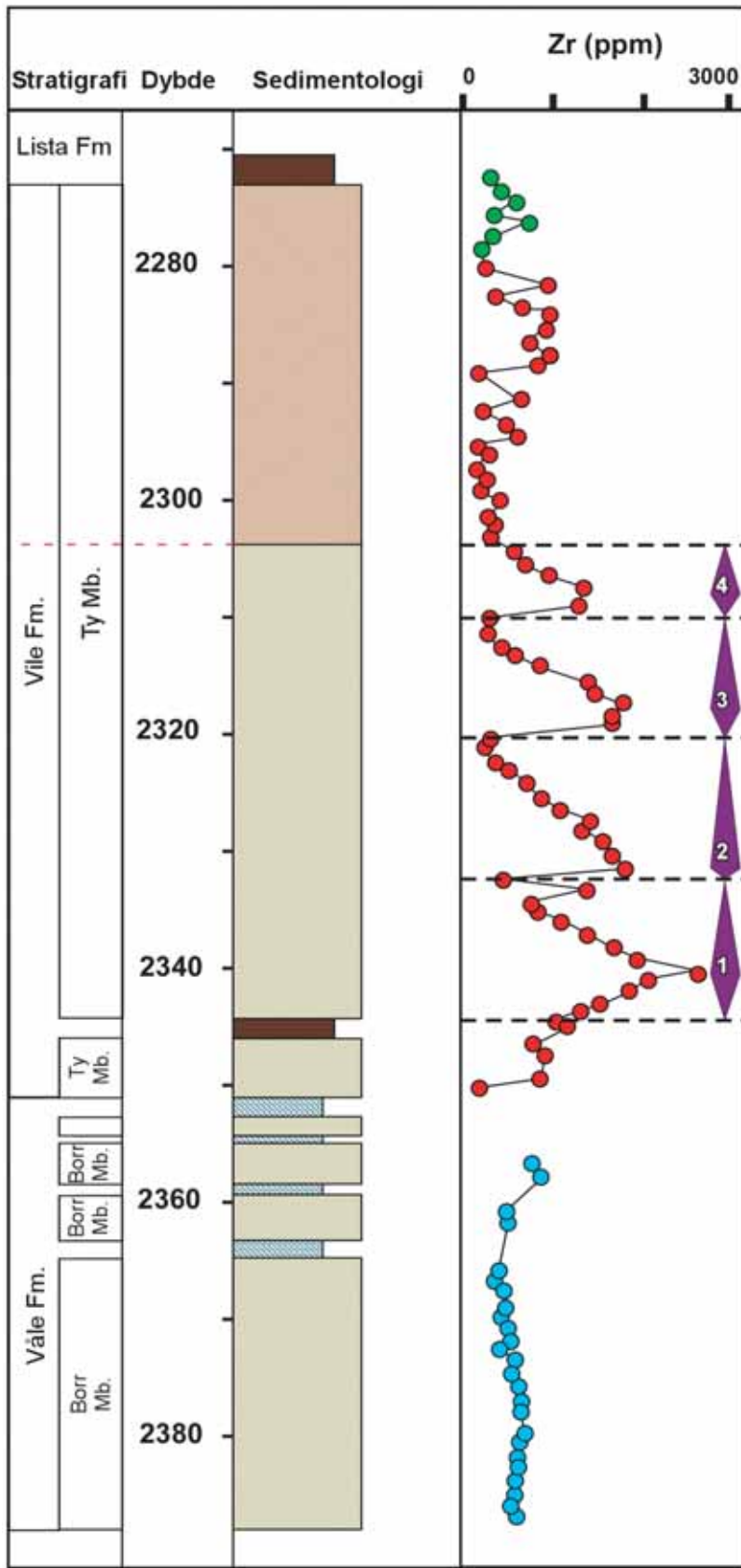


Fig. 4. Sedimentologisk log fra Cecilie-1A, med tilhørende Zr-værdier. Figuren viser de fire cykler i den nedre del af Ty sandet.

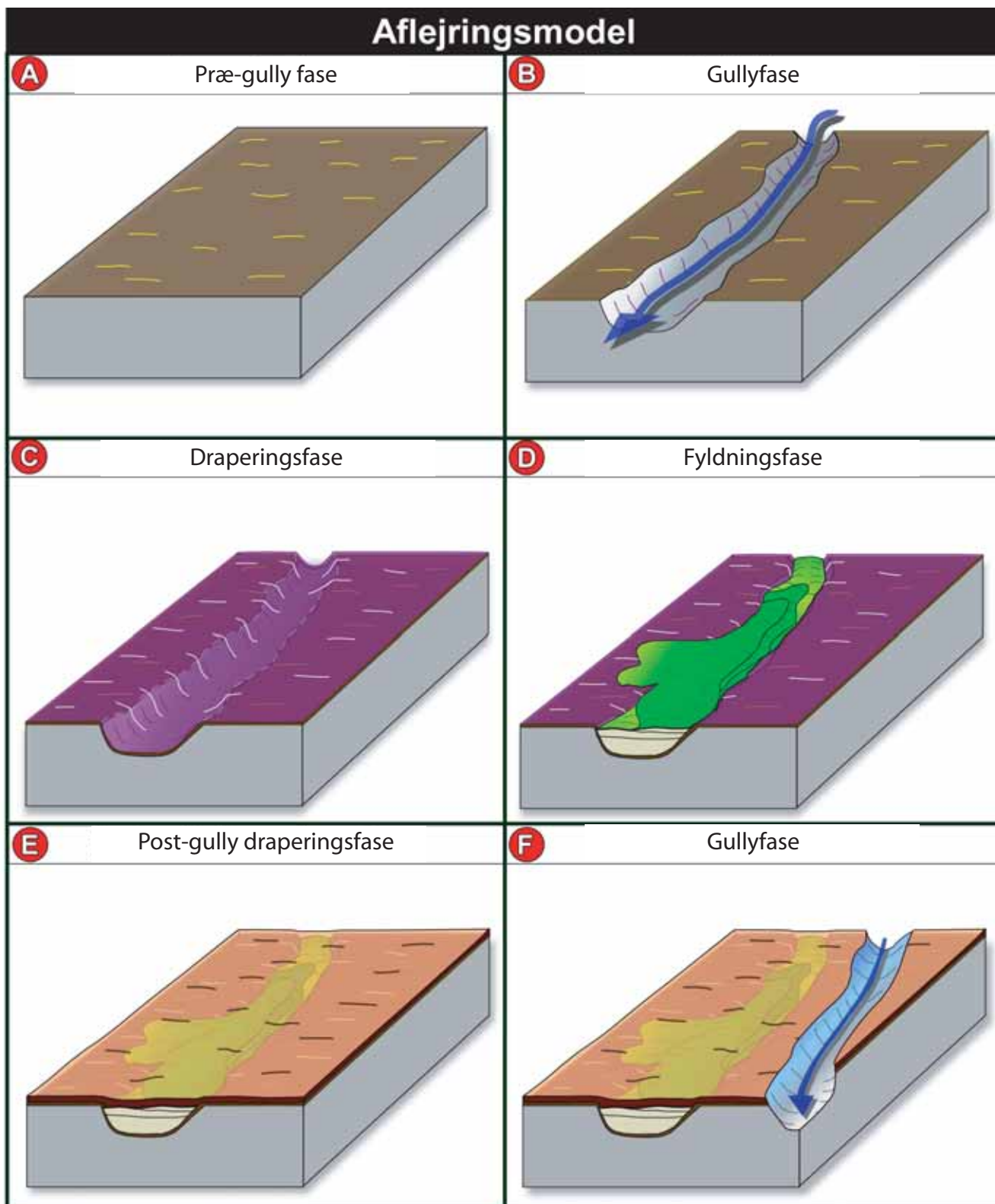


Fig. 5. Den opstillede gully model, der forklarer dannelsen af de stærkt nedskårne gullies og fyldningen af dem.

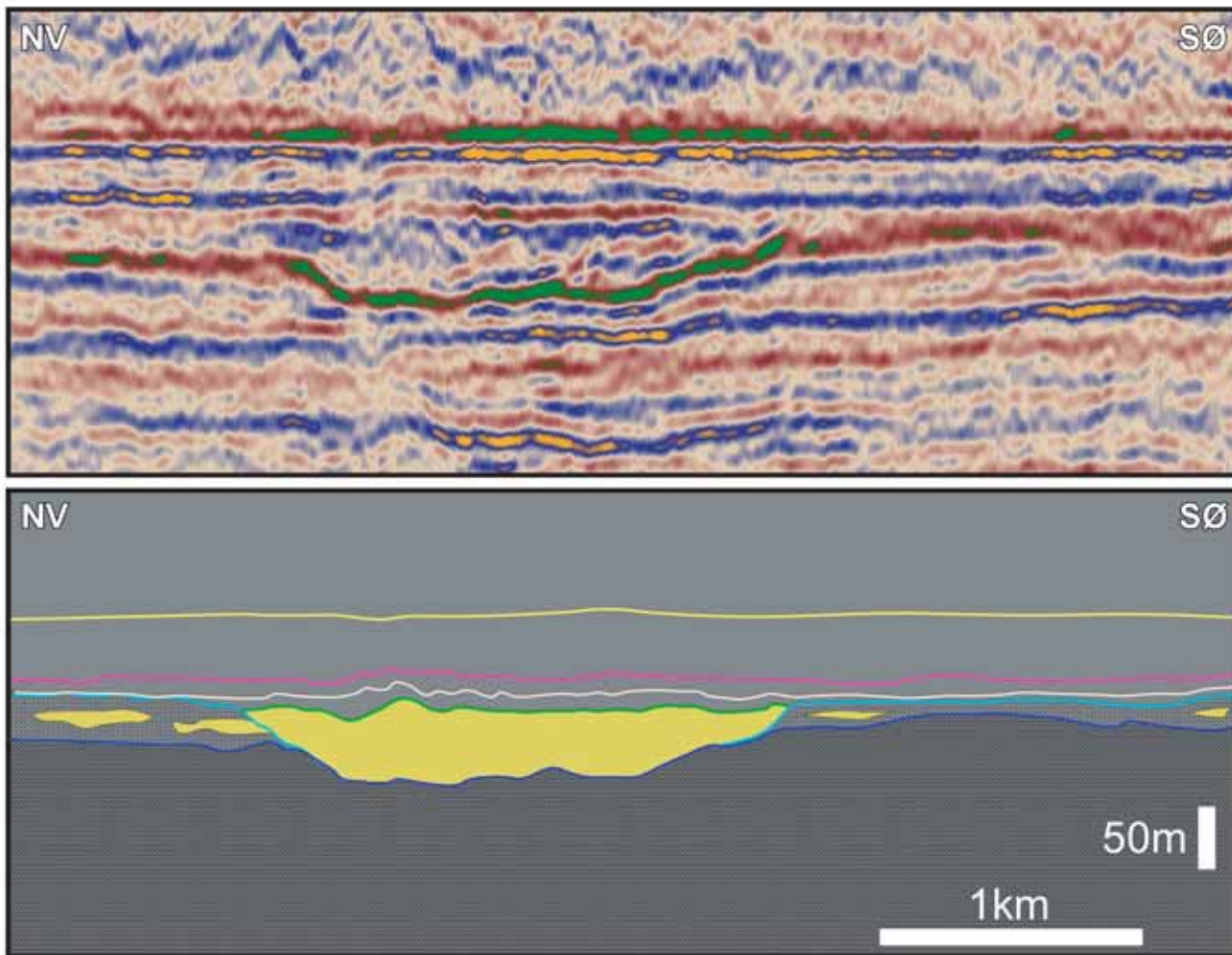


Fig. 6. Seismisk linje gennem Rau Prospektet syd for Cecilie Feltet. Linjen viser klart den nedskårne gully. Gullyen er efterfølgende fyldt op med Ty sand.

og det er ofte meget vanskeligt at sige hvilke grundstoffer der vil findes adsorberet til ler. Tilførsel af selv små mængder ler i en geokemisk analyse vil give et helt andet billede end den rene sandprøve (Svendsen et al. 2007).

### Siri Canyon geokemiprojekt

Mere end 1000 prøver blev analyseret fra de fem reservoir enheder i Siri Fairwayen; Borr, Ty, Heimdal, Hermod og Frigg. Prøverne blev analyseret for cirka 25 grundstoffer ved hjælp af XRF-teknik. Da der ikke var nogen entydig model eller tese der skulle bevises, var den indledende del af projektet kendetegnet ved et stort databehandlingsarbejde. Efterhånden som resultaterne blev analyseret begyndte flere interessante mønstre at vise sig.

### Stratigrafisk diskriminering

På mange af de forskellige krydsplot og statistiske analyser var det muligt at underinddele de fem reservoir-enheder i to familier:

- 1: Borr, Ty og Heimdal
- 2: Hermod og Frigg

Underinddelingen i to ses tydeligst i et krydsplot af Zr og Ti (Fig. 3; Friis et al. 2007). Da begge disse grundstoffer med stor sikkerhed kan henføres til den oprindelige detritale kilde, tyder meget på at forskellen mellem de to familier skyldes et skifte i kildeområdet. Dette understøttes af Nd-Sm data, der viser et klart skifte mellem Heimdal og Hermod sandet.

## Stakkede mass-flow enheder

Ty sandet i Cecilie-1A brønden udviser en forbløffende regelmæssighed (Fig. 4), hvor fire opad aftagende Zr-cykler ses (Poulsen et al. 2007). Den ene af disse cykler blev undersøgt i meget stor detalje (Poulsen et al. 2007), hvilket viste at sorteringen inden for hver cyklus var særdeles god. De fire enheder repræsenterer hver især en flow-enhed, der i bunden har en opad tiltagende trend, mens den øvre del er gradvis aftagende. De fire enheder varierer i mægtighed fra 7 til 14 m. Det er således usandsynligt at de fire flows repræsenterer en kompensations-stakning, idet en sådan ville betyde at der i mellem de tykkere enheder, skulle være en vinge, repræsenterende den marginale del af en tyk enhed væk fra brønden. Meget mere sandsynligt er det at stakningen simpelthen skyldes at der stort set ikke har været plads til nogen form for lateral compensation, og aflejring har kun kunnet finde sted ved vertikal stakning.

## Aflejringsmodel

Flere steder i Siri Canyon er de sandede enheder fundet i nedskårne gullies. En nærmere undersøgelse af disse gullies viser at de er draperet med ler, før sandet er aflejret i dem (f.eks. i Connie-1). Der er således ingen direkte sammenhæng mellem gully-dannelse og gully-fyldning. Gullierne er tolket til at være dannet ved erosion af tunge bundstrømme. Senere bragte tunge bundstrømme sandet ned i gullierne, men først efter at 1.5–4 meter ler var aflejret (Fig. 5).

Den opstillede sedimentologiske model er meget sammenlignelig med den model, der gør sig gældende for aflejringen af de recente sedimentter i Gulf of Cadiz, Spanien. Den kraftige fordampning i Middelhavet medfører at vandet bliver mere saltholdigt, og dermed tungt. Når dette tunge vand løber ud af Gibraltarstrædet, løber det ned langs havbunden i Gulf of Cadiz, og eroderer lange nedskårne gullies. Når den tunge bundstrøm giver ligevægt med de omkringliggende vandmasser, slipper strømmen havbunden og fortsætter i de frie vandmasser. Sedimenterne i systemet er karakteriseret ved fyldning af gullierne, mens der dannes større faner der hvor strømmen slipper havbunden. Det samme formodes at gøre sig gældende i Siri Strøget, hvor Cecilie-1A repræsenterer fyldning af gully, mens det forventes at der længere nedstrøms vil findes en form for fane ved munden af Ty gullyen, hvor de tunge bundstrømme slipper havbunden.

## Rau Prospektet

Den konceptuelle idé for prospektiviteten i Siri Strøget har siden 1995 været olie-dannelse i Tail End Graven (olien i Siri Strøget er fingerprintet til Tail End Graven) og derefter migration ind i Siri Strøget gennem tynde sandlag i området mellem Amalie-Augusta området og Cecilie Feltet. Tilstedeværelsen af fire vertikalt stakkede mass-flow enheder i Cecilie-1A indikerer at der nedstrøms for Cecilie Feltet ligger sand af betydelige mængder. 2D-seismiske data viste også at der kunne være betydelige sandmængder til stede syd for Cecilie Feltet, idet den paleocæne isokor fortykkes ned over området. Indsamling af 3D-seismiske data i området mellem Cecilie Feltet og Coffee Soil Forkastningen bekræftede antagelserne om sand i en stærkt nedskåren gully (Fig. 6). Derudover viste seismikken at der findes en tyndere fane for enden af Ty gullyen, og at sandet formodentlig kan følges hele vejen til Coffee Soil Forkastningen.

## Konklusion

Brug af whole-rockgeokemiske data har gjort det muligt at opstille en ny sedimentologisk model for dannelsen af Siri Canyon, samt for processerne der førte til aflejring af reservoir enhederne. Den opstillede model giver desuden mulighed for at forudsige placering af sand, og kan dermed anvendes som et vigtigt redskab i olie-efterforskning.

## Referencer

- Burns, R. G. 2005: Mineralogical Applications of Crystal Field Theory: 2nd edition. Cambridge University Press, 576 pp.
- Friis, H., Poulsen, M.L.K., Svendsen, J.B. & Hamberg, L. 2007: Discrimination of density flow deposits using elemental geochemistry – implications for subtle provenance differentiation in a narrow submarine canyon, Palaeogene, Danish North Sea. *Marine and Petroleum Geology* 24, 221–235.
- Poulsen, M. L. K., Friis, H., Svendsen, J. B., Jensen, C. B & Bruhn, R. 2007: The application of bulk geochemistry to reveal heavy mineral sorting and flow units in thick homogeneous gravity flow deposits, Siri Canyon Palaeogene sands, Danish North Sea. in: M. Mange and D. Wright: Heavy minerals in use. *Developments in Sedimentology* 58, 1229–1253.
- Svendsen, J., Friis, H., Stollhofen, H. & Hartley, N. 2007: Facies discrimination in a mixed fluvio-eolian setting using elemental whole rock geochemistry – applications for reservoir characterization. *Journal of Sedimentary Research* 77, 23–33.