

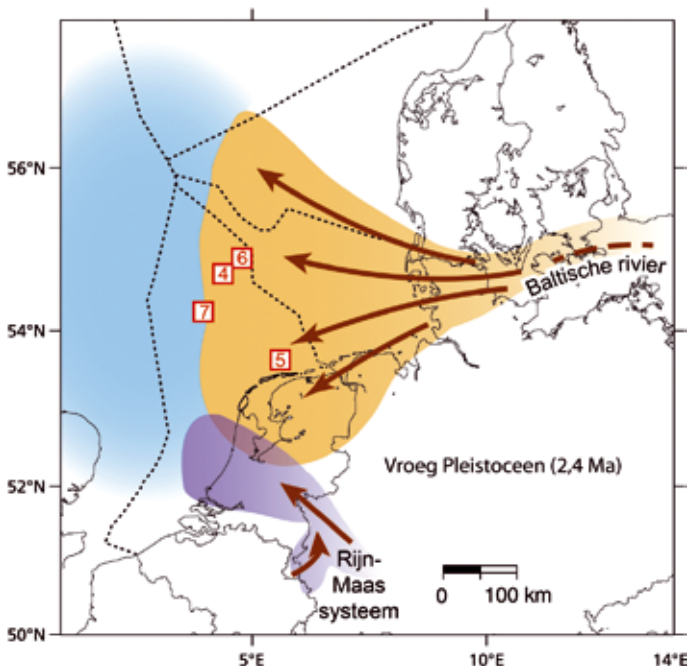
De Eridanosdelta: een begraven wereld tot leven gewekt

Door Johan ten Veen en Geert de Bruin – TNO Utrecht
 Johan.tenveen@tno.nl
 Geert.debruin@tno.nl

Nederland is een deltaland. Een groot deel van onze ondergrond bestaat uit afzettingen die zijn ontstaan door de interactie van rivieren en zee. Het Rijn-Maassysteem, dat zijn oorsprong in het Mioceen vindt, is daar een zeer goed voorbeeld van. Vanaf dit geologisch tijdperk speelt de interactie tussen klimaat, zeespiegel en tektoniek een belangrijke rol in de loop van het Rijn-Maasriviersysteem en op de preservatie van haar afzettingen in de ondergrond. Deze ontwikkeling is in de laatste decennia rijkelijk geïllustreerd en gedocumenteerd in tal van publicaties en proefschriften (bijvoorbeeld Busschers et al., 2007; Westerhoff, 2009; Hijma et al, 2012).

De Eridanosdelta

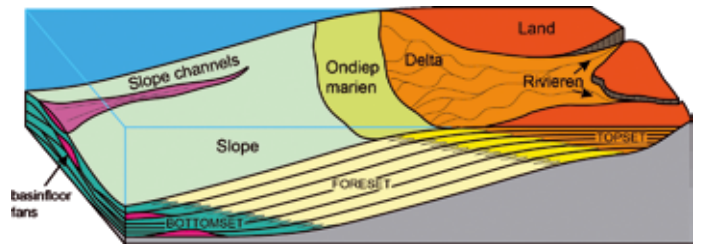
Het noorden van Nederland werd sinds het Mioceen gedomineerd door een thans niet meer actief en wellicht minder tot de verbeelding sprekend (en bestudeerd) deltasysteem: de Eridanosdelta. Het Eridanos-riviersysteem (of Baltische riviersysteem) ontstond 40 miljoen jaar geleden en bestreek grote delen van Noord-Europa (Bijlsma, 1981). In die 40 miljoen jaar verlegde het systeem zijn loop voortdurend, maar bouwde zich over het algemeen naar het westen uit. Dit leidde ertoe dat ongeveer 12 miljoen jaar geleden de rivier het Noordzeebekken bereikte, alwaar een enorme delta werd opgebouwd die in omvang niet onderdeed voor de huidige Amazonedelta (afb. 1). Mede als gevolg van het ontstaan van Kwartaire landijsbedekkingen hield het Baltische riviersysteem op te bestaan. Door een combinatie van tektonische daling en zeespiegelstijging zijn de gerelateerde afzettingen nu diep begraven. Met uitzondering van de provincie Drenthe komen deze afzettingen in Nederland niet aan het oppervlak.



Afb. 1. Positie van de Eridanosdelta in het Vroeg-Pleistoceen (naar Westerhoff, 2009). Nummers refereren naar de locatie van de overige afbeeldingen.

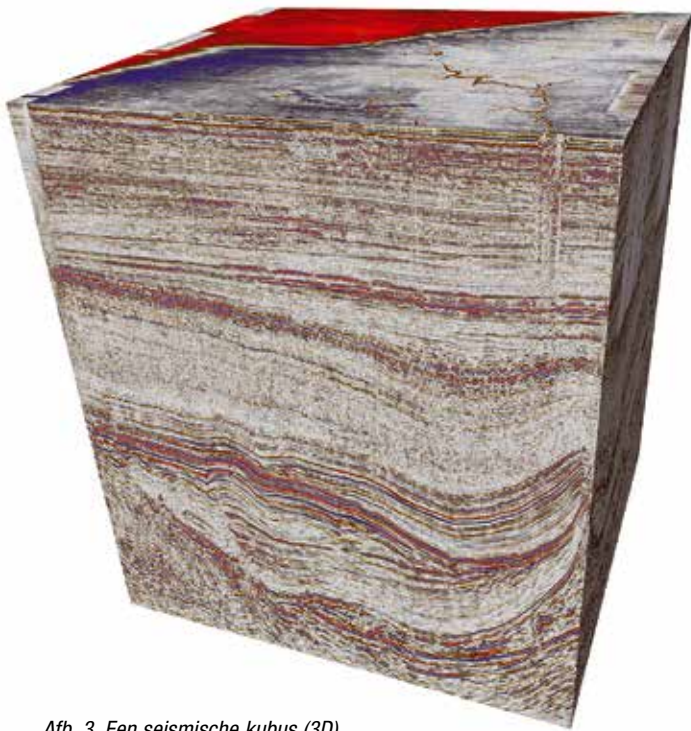
Opbouw van de delta

De Eridanos is een zogenaamde shelf-delta (een delta aan de rand van het continentaal plat, red.) die wordt getypeerd door rivieren die sediment aanvoeren en waarbij op de overgang van rivier naar zee delta's ontstaan, maar waarbij door de enorme sedimentaanvoer tegelijkertijd ook uitbouw van de shelf plaatsvindt. Intern bestaat de Eridanosdelta uit vele individuele deltalobben, die ieder in dwarsdoorsnede een typische sinusoidale geometrie vertonen. Deze geometrie wordt aangeduid met de benaming 'clinoform' (afb. 2). Het hoge horizontale deel vertegenwoordigt de deltalvlakte (topset), het hellende deel de delta-slope (foreset, ofwel de deltafront-afzettingen) en het lagere horizontale deel de delta-toeset (bottomset) en dieper de mariene milieus.



Afb. 2. Delta's en shelf-delta's vertonen driedimensionaal een typische sinusoidale geometrie die aangeduid wordt met de benaming "clinoform". Het hoge horizontale deel vertegenwoordigt de deltalvlakte (topset), het hellende deel de delta-slope (foreset) en het lagere horizontale deel de delta-bottomset en de dieper gelegen mariene milieus. In geval van een delta-clinoform valt de knik tussen top- naar foreset ongeveer samen met het zeeniveau. Als de clinoform een shelf-delta beschrijft, representeert de knik de shelf-edge. Beide typen van clinoforms kunnen ook gecombineerd voorkomen. Bij een prograderende delta zullen meerdere clinoforms bovenop elkaar (gesupponeerd) voorkomen op zo'n manier dat een verticale sectie een opeenvolging van mariene naar continentale afzettingmilieus laat zien (het principe van Walters Law). Het voorkomen van bijvoorbeeld Pleistocene rivierzanden van de Formatie van Peize bovenop mariene zanden en kleien van de Formatie van Oosterhout (Pliocene) en de Formatie van Breda (Mioceen) weerspiegelt het prograderende karakter van de Eridanosdelta.

In geval van een delta-clinoform valt de knik tussen topset naar foreset ongeveer samen met het zeeniveau. Ook de gehele uitbouwende shelf vertoont een clinoforme geometrie, waarbij de knik in de clinoform de shelf-edge representeert. Clinoforms komen dus op twee schalen en vaak geassocieerd (in combinatie, red.) voor. Tot enkele decennia geleden bestond de informatie over de Eridanos voornamelijk uit boordata; de architectuur van de delta kon destijds daarom nog niet nauwkeurig bepaald worden. Op basis van de boorgegevens kon wél worden vastgesteld dat in Noord- en Oost-Nederland Pleistocene rivierzanden van de Formatie van Peize bovenop mariene zanden en kleien van de Formatie van Oosterhout (Pliocene) en de Formatie van Breda (Mioceen) liggen. Deze superpositie is kenmerkend voor een (westwaarts) prograderend rivierdeltasysteem en onderschrijft de clinoforme architectuur (afb. 2).

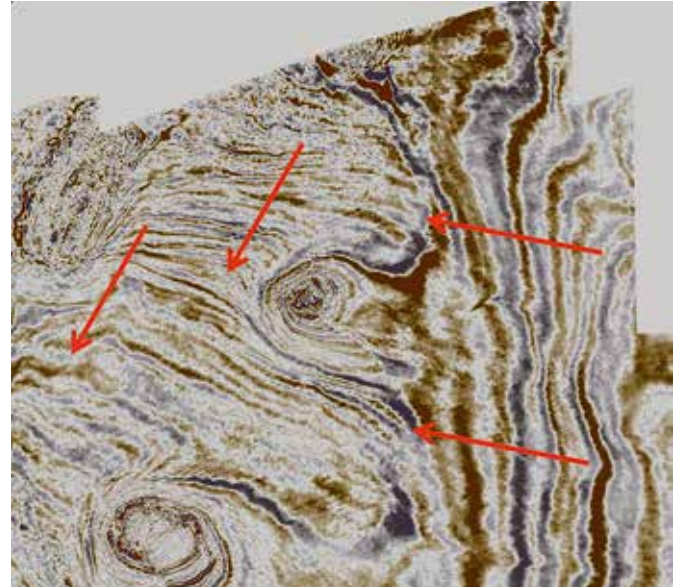


Afb. 3. Een seismische kubus (3D) met reflectiepatronen in alle verschillende aansneden.

3D-seismiek

De laatste twintig jaar zijn grote delen van on- en offshore Noord-Nederland onderzocht met driedimensionale seismische opnames. Deze 3D-seismiek bestaat uit blokken (cubes) met een grid aan orthogonaal (loodrecht) geplaatste lijnen met akoestische reflectiedata (afb. 3), waarin lithologische en fysieke contrasten, zoals die optreden bij ondergrondse gelaagdheden, inzichtelijk gemaakt kunnen worden (zie de kadertekst voor een uitleg van seismiek). Een typisch 3D-blok heeft een laterale resolutie van 12,5 of 25 m (afhankelijk van de afstand van de gridlijnen) en een verticaal oplossend vermogen van ongeveer 10 m voor het relatief ondiepe Tertiaire interval. Deze seismiek werd geschoten voor exploratiedoeleinden en heeft in belangrijke mate bijgedragen tot de ontdekking van vele diepe olie- en gasvoorkomens in de Noordzee in het Perm- tot Krijt-interval. Het Kenozoïcum werd aanvankelijk niet als aantrekkelijk voor olie- en gaswinning beschouwd. Ondanks dat door middel van seismiek diverse gasvoorkomens werden aangetoond in de Eridanos-afzettingen (afb. 4), werden deze vanwege het risico van blow-outs tijdens het boren als potentieel gevaarlijk beschouwd en derhalve gemeden. Nieuwere winningstech-

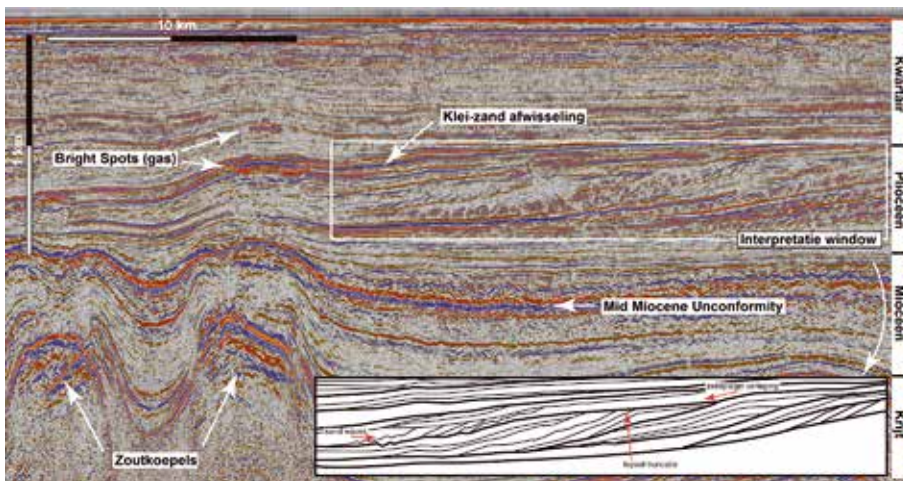
nieken, maar ook zeker de behoefte aan nieuwe gasvelden ter compensatie van het slinkende Groningen-gasveld, hebben recentelijk geleid tot hernieuwde belangstelling voor de studie van de Tertiaire delta-afzettingen. Het karteren van de verschillende clinofoms leidt tot groot inzicht hoe de Eridanosdelta – met de gasrijke sedimenten – zich in de loop der tijd ontwikkeld heeft. Zo kunnen bijvoorbeeld meerdere deltalobben met verschillende aanvoer en progradatierichtingen worden herkend (afb. 5).



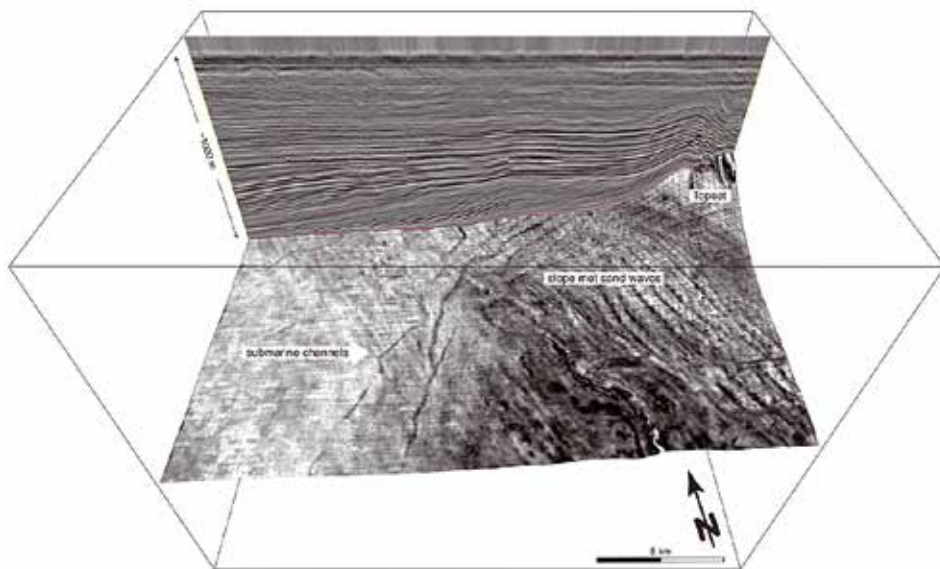
Afb. 5. Seismische amplitudedata in een horizontale aansnede van een seismische kubus (afmeting 25 x 25 km). Net als in afb. 4 zijn hier delta-foresets te zien, echter door de horizontale aansnede zijn deze als streep patroon zichtbaar. De verschillende hoeken van dit streep patroon worden verklaard door twee elkaar afsnijdende prograderende deltalobben (de progradatierichting is met pijlen aangegeven). De cirkelvormige fenomenen worden veroorzaakt door diepere zoutkoepels die het Eridanos sediment tot enkele tientallen meters omhoog gedruwd hebben.

Oude landschapsvormen

Het is de taak van een seismisch interpretator belangrijke geologische horizonten nauwkeurig uit te karteren. Een groot voordeel van 3D-seismiek is niet alleen dat contrasten in de profielaansnede gevisualiseerd kunnen worden, zoals weergegeven in afb. 4, maar dat ook in het platte vlak op de zgn. horizonten vele geologische en morfologische details te zien zijn (afb. 5). Op deze manier kunnen ook oudere landschapsvormen gevisualiseerd worden, hetgeen enorm bijdraagt aan een goede



Afb. 4. Seismisch profiel door het westwaarts prograderend Eridanosdelta-systeem. De afwisseling van lithologieën veroorzaakt een reflectiepatroon dat duidelijke delta-clinofoms laat zien met topsets, foresets en bottomsets. De sterke reflectie in het midden van het beeld wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van shallow gas in het sediment: ondiep gelegen gasvoorkomens. De subtiele anticlinale geometrie is veroorzaakt door een dieper liggende zoutkoepel (zie ook afb. 5). Deze structuur 'vangt' als het ware het gas. De duidelijke afwisseling van positieve (rode) en negatieve (blauwe) reflectoren wordt veroorzaakt door de afwisseling van klei- en zandlagen, afgezet tijdens respectievelijk glacialen en interglacialen. De interpretatie laat duidelijk zien dat topsets afgesneden worden en op verschillende niveaus aanwezig zijn als gevolg van zeespiegelbewegingen.

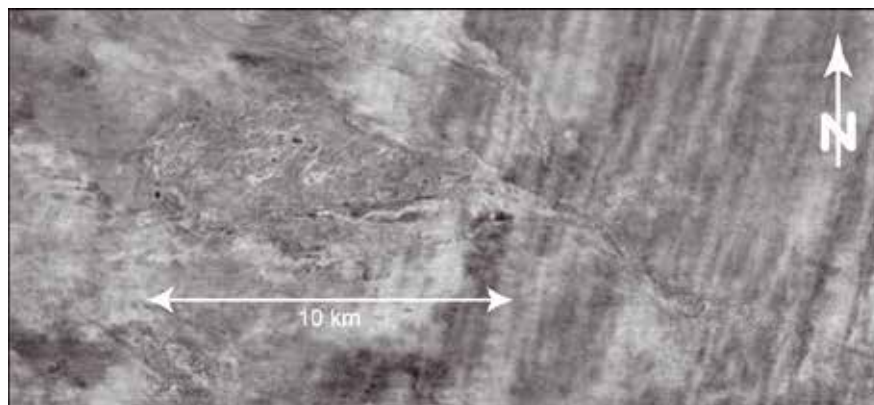


Afb. 6. Combinatie van een verticaal seismisch reflectieprofiel en een geïnterpreteerde delta-cliniform met daarop amplitudedata geprojecteerd in zwart-wit kleurschema. De cliniforme geometrie van de shelf-delta is duidelijk te herleiden van de vooraansnede. Op de helling zijn hoge ribbelstructuren zichtbaar die geïnterpreteerd worden als mega-zandduinen, veroorzaakt door bodemstromingen. Deze 'zandgolven' bereikten hoogten tot wel 20 m. De shelf wordt ook ingesneden door geulen die aantonen dat sedimenttransport naar het diepere deel van het Noordzebekken plaats vond. Dergelijke geulsystemen kunnen dieper gelegen submariene fans voeden (zie ook afb. 7).

rende rivier waarbij de riviergeul opgevuld is met zandige afzettingen en de uiterwaarden met klei en silt. In de Eridanosdelta zijn ook veel submariene geulsystemen aanwezig die door lithologische en texturele verschillen in de seismiek duidelijk herkenbaar zijn. Afb. 6 toont zo'n geulstelsel dat zich insnijdt in de delta-foresets en een goede indicatie is voor sedimenttransport naar het diepere deel van het Noordzebekken. Op de bekkenvloer waaiert deze geulen uit in basin floor fans (afb. 7).

Kenmerkend voor het Eridanosstelsel in Nederland is dat een groot deel van de afzettingen in het Laat-Pliocene tot Vroeg-Pleistoocene (5,2 – 1,8 Ma) zijn afgezet. In de loop van deze tijd begon de glaciatie van het noordelijk halfrond ook zijn vat op het Baltische riviersysteem te krijgen. De Vroeg-Pleistocene (~2,4 Ma) afwisseling van glacialen en interglacialen ging gepaard met zeespiegelschommelingen tot wel 100-150 m, die een dramatische impact hadden op de Eridanosdelta. Oudere afzettingen werden hierdoor ingesneden en geërodeerd. Dit is goed te zien aan de verschillende niveaus waarop de topsets zich bevinden (afb. 4) en

ook aan de truncatie (erosie) en de afwezigheid van deze topset. Tegelijkertijd veranderde er veel in de aanvoer van sediment dat tijdens glacialen door permafrost en gletsjerbedekking in



Afb. 7. Geulinsnijding in delta-foresets (streep patroon) geïnterpreteerd als slope-channel, naar het westen overgaand in een basin-floor fan.

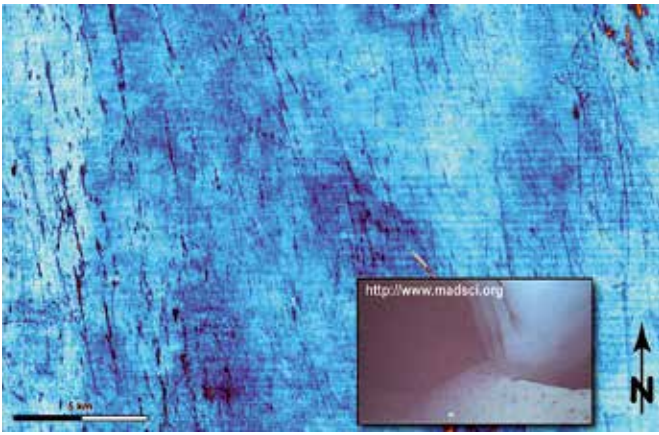
geologische interpretatie van de ondergrond. Immers, een bepaalde landschapsvorm wordt vaak gekenmerkt door laterale verschillen in lithologie en reliëf. Denk hierbij aan een meande-

medische echo. De tijd die verstrijkt tussen schot en opname geeft de diepte van de reflecterende aardlaag (reflector) aan. Seismiek wordt daarom weergegeven in (milli-)seconden; in vakjargon wordt gesproken over *two way traveltime*: de tijd die het signaal nodig heeft om heen en weer te reizen. Gesteente-eigenschappen hebben een grote invloed op deze 'traveltime'; zo is de snelheid van geluid door zachtere gesteente, zoals klei, veel kleiner dan die door het hardere kalksteen. Het product van gesteentesnelheid en dichtheid wordt impedantie genoemd ($Z = v \cdot \rho$); daar waar een impedantiecontrast aanwezig is, zal reflectie optreden. De amplitude (grootte) van de gereflecteerde geluidsgolf is afhankelijk van de grootte van het impedantiecontrast. Als de geluidsgolf zich in de diepte voortplant en een overgang van een zachte naar een harde laag tegenkomt, zal doorgaans een positief impedantiecontrast gelden en heeft de reflectie een positieve uitslag (in de afbeelding hiernaast getoond in rood); omgekeerd hoort bij een negatief contrast een negatieve uitslag (in blauw weergegeven). Dit is internationaal de meest gebruikte kleurconventie, maar deze kan per regio of oliemaatschappij verschillen. Daarom is een goed begrip van geofysica en geologie belangrijk voor een realistische seismische interpretatie.



Hoe werkt seismiek?

Seismisch onderzoek is gebaseerd op de reflectie van geluidsgolven. Deze golven worden door een krachtige bron opgewekt; bijvoorbeeld een door een onderzoeksschip voortgetrokken airgun die een grote luchtbel in het water schiet. Dit veroorzaakt een golfvront dat uiteindelijk de zeebodem bereikt, maar ook in de (diepe) ondergrond doordringt. De geluidsgolven worden gereflecteerd op de overgang van hardere naar zachtere lagen (en vice versa). De weerkaatste geluidsgolf wordt opgenomen met zgn. hydrofoons, te vergelijken met een



Afb. 8. Door een ijsberg veroorzaakte ploegsporen met een preferente NNW-SSE-oriëntatie, ingesleten in delta-topset-beds op een diepte van ~550 m. Het detail toont een recente ijsberg die de bodem van de Beaufort Zee doorploegt.

het achterland vrijwel nihil was. De zee bevatte op dat moment veel drijvende ijsbergen die in ondiep water de zeebodem konden doorploegen, daarbij enorme krassen achterlatend (afb. 8). De oriëntatie van dergelijke krassen is doorgaans redelijk georganiseerd en wordt verklaard door een combinatie van heersende stromings- en windrichtingen. De Eridanosdelta ontving tijdens glacialen dus weinig sediment en deze perioden lieten slechts dunne kleilagen achter. De grovere sedimenten werden tijdens de interglacialen naar de delta getransporteerd. De afwisseling van glacialen en interglacialen tijdens het Vroeg-Pleistoceen is in de seimsiek ook goed te zien door een reflectiepatroon dat is veroorzaakt door de afwisseling van klei en zand (afb. 4).

Slotwoord

De auteurs van dit artikel hebben getracht een kijkje te geven in de wonderlijke wereld diep onder onze voeten. Veel van de hier getoonde afbeeldingen zijn ter illustratie bedoeld; feitelijk niet fout maar wellicht wetenschappelijk wat kort door de bocht. Dit is met de intentie gedaan het artikel voor de lezer toegankelijk te houden. Een discussie over de getoonde fenomenen gaan wij echter gaarne aan.

Literatuur

- Busschers, F.S., Kasse, C., Balen, R.T. van, Vandenberghe, J., Cohen, K.M., Weerts, H.J.T. & Wallinga, J. (2007). Late Pleistocene evolution of the Rhine in the southern North-Sea Basin: imprints of climate change, sea-level oscillations and glacio-isostasy. *Quaternary Science Reviews*, 26, 3216-3248.
- Bijlsma, S. (1981) Fluvial sedimentation from the Fennoscandian area into the north-west European basin during the late Cenozoic. *Geologie en Mijnbouw* 60, 337-345.
- Hijma, M.P., Cohen, K.M., Roebroeks, W., Westerhoff, W.E. & Busschers, F.S. (2012). Pleistocene Rhine-Thames landscapes: geological background for hominin occupation of the southern North Sea region. *Journal of Quaternary Science*, 27, 17-32.
- Westerhoff, W.E. (2009) Stratigraphy and sedimentary evolution. The lower Rhine-Meuse system during the Late Pliocene and Early Pleistocene (southern North Sea Basin), Ph.D. dissertation, Vrije Universiteit, Amsterdam, pp. 168.

Boekbespreking



Het heelal in ons, door Neil Shubin. Uitgeverij Nieuw Amsterdam, 2013. 285 pp. 45 afb. ISBN 97890 468 1453 6. Prijs: € 19,95.

‘Tussen mens en nevelvlek’, dat was een informatief radioprogramma, zestig jaar geleden.

Spreker was dr. C. van Rijsinge, geoloog en directeur van het Museum. Zijn met gezag en geheimzinnigheid uitgesproken teksten werden gedrukt in een gelijknamige pocket, uit 1959. Dat we nu veel en veel meer weten en begrijpen zien we al aan de stellige titel van dit nieuwe boek. Het is ook

geschreven door een museumman – Neil Shubin is een baasje opin? het enorme Field Museum, de trots van Chicago en één van de hotspots van fossielonderzoek in de V.S. Daar heet *Tyrannosaurus* Sue u welkom, daar wacht ook de door Shubin ontdekte vis op poten *Tiktaalik* u op. De vondst van zijn leven, die ook in het boek ter sprake komt!

Grote lijnen trekken en vasthouden, dat is directiewerk. De grote geschiedenis van kosmos en van leven, van land en zee wordt

door Shubin trefzeker neergezet, gegrond op goedgekozen actuele observaties en historisch gegroeide inzichten. Soepel trekt de auteur deze hoofdlijnen. Wie zich snel, prettig en doeltreffend wil informeren heeft met deze tekst een goede te pakken. In tien hoofdstukken worden we wijzer over oerknal en kosmos, sterren en planeten, continenten en oceanen, aardgeschiedenis en evolutie. Een netwerk van verbanden wordt daarbij blootgelegd. En Shubin geeft ook uitgebreid aan waar hij zijn wijsheid vandaan heeft, in een uitgebreide verantwoording tevens handleiding tot verder lezen. Het boek besluit met een uitgebreid register.

Een kranig geschreven boek – maar geen feilloos boek. De schrijver vergeet bijvoorbeeld de eigen aardwarmte, die de continenten drijvende houdt en onze aarde bewoonbaar. Hij noemt niet de sleutelrol van symbiose in de evolutie naar grote levensvormen. Hij weeft veel interessante wetenschaps geschiedenis in, maar doet dat vanuit een smal Engelstalig standpunt – eenzijdig, dus met voorbijgaan van Franse en Duitse prestaties. Geen wonder dus dat de meting van de Melkwegomvang door de Nederlander Kapteijn verhaspeld wordt. De Fransman Cuvier en de Brit Phillips, meer dan dertig jaar in leeftijd verschillend, worden in discussie opgevoerd – raden wie er ‘wint’... We kunnen Shubin niet kwalijk nemen dat de grootse visie van de Nederlanders De Meijer en Van Westreenen over de oorsprong van de maan (door een aardse kernexplosie) niet wordt gereleveerd – die is pas in de laatste jaren vervolmaakt. Ook is hij niet schuldig aan vertaalfouten die de tekst compliceren: rock blijft steevast ‘rots’, schalie ‘leistein’, fruitvliegjes ‘vliegen’, en we komen ook ‘onderlagen’ als vertaling van onderliggende lagen tegen.

Maar het blijft een pakkend boek over een groots onderwerp, het aandachtig lezen waard.

Bert Boekschoten