

De Rijn-Maasdelta's in de Noordzee

Cees Laban & Kenneth F. Rijdsdijk

Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, Afdeling Geomariën & Kust, Postbus 80015, 3508 TA Utrecht, c.laban@nitg.tno.nl, k.rijdsdijk@nitg.tno.nl

Sinds het begin van het Pleistoceen vormde de Rijn samen met de Maas en de oostelijke rivieren grootschalige delta's in het Noordzebekken. Deze rivieren vormden sedimentpakketten van enkele honderden meters dik, die gezamenlijk het grootste deel van de huidige Pleistocene rivierafzettingen in de Noordzee omvatten. Later, gedurende het Midden- en Laat-Pleistoceen, werd er relatief veel minder sediment afgezet en werkten de rivieren vooral oudere sedimenten om. Ten westen van de kust van Noord- en Zuid-Holland liggen de resten van de Midden- en Laat-Pleistocene delta's van de Rijn en Maas. Deze delta's strekten zich oorspronkelijk uit tot ver in het zuidelijk deel van de Noordzee in de richting van het Nauw van Calais. Latere erosie en omwerking van de afzettingen door de zee, tijdens de hoge zeestanden van het Eemien en Holoceen, hebben de omvang van de delta's aanzienlijk verkleind. Toch ligt er nog steeds een indrukwekkend pakket rivierafzettingen dat een interessante geschiedenis herbergt.

Inleiding

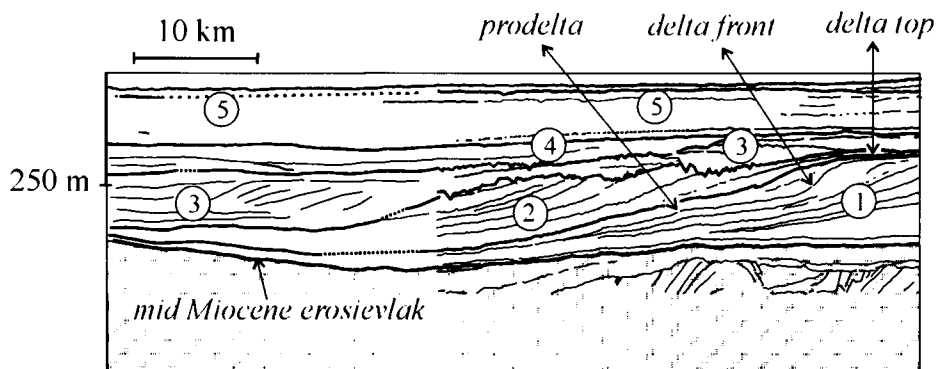
Sinds 1968 verzamelt het Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO (TNO-NITG) gegevens over de geologische opbouw van de Noordzee. Sinds die tijd zijn er dan ook veel gegevens verzameld over de Rijn afzettingen in de Noordzee. De gegevens worden via boringen en seismische opnamen verkregen. De boringen verschaffen informatie over het materiaal in de ondergrond en de seismische opnamen zijn van belang voor het inzicht in de voortzetting en vorm van dieper gelegen sedimentlichamen. Het NITG beschikt over seismische hoge resolutiesystemen die tot circa 1000 meter diep in de zeebodem kunnen 'kijken'. Dankzij deze seismiek is er kennis opgedaan van de ligging van de Vroeg-Pleistocene Rijn-Maasdelta's in de diepe ondergrond.

Momenteel wordt door het NITG in samenwerking met Rijkswaterstaat directie Noordzee (RWS-DNZ) een omvangrijk onderzoek uitgevoerd naar de Laat-Pleistocene delta's van de Rijn en Maas. Het onderzoek richt zich op het gebied ten westen van de kust van Hoek van Holland waar deze delta in de Noordzee haar grootste dikte bereikt en de grofste afzetting herbergt. Het onderzoek wordt uitgevoerd met het onderzoeksvaartuig *Zirfaa* van directie Noordzee en geavanceerde bemonsteringsapparatuur van het NITG. In het onderzoeksvaartuig bevindt zich een zogenoemde moonpool. Dit is een opening van vier bij vier meter waardoor de bemonsteringsapparatuur door middel van een lier naar de zeebodem wordt neergelaten. Zodra het apparaat zich op de zeebodem bevindt boort een buis met een diameter van 30 centimeter zich in de zeebodem. Het

bodemmonster wordt door middel van waterkracht en lucht naar het dek van het schip getransporteerd en hier verwerkt. Met dit bemonsteringssysteem kunnen vier tot acht boringen per dag worden uitgevoerd tot een diepte van 20 tot 25 meter beneden de zeebodem. Dit grote aantal boringen is mede te danken aan het feit dat de *Zirfaa* niet hoeft te ankeren. Het schip is uitgerust met een zogenoemde 'dynamic positioning' dat er door middel van een aantal extra schroeven onder het schip voor zorgt dat het schip precies boven het bemonsteringsapparaat blijft liggen. De positie van het schip wordt bepaald met gebruik van een satellietnavigatiesysteem (GPS). Zo blijft het onderzoeksvaartuig tot op circa 1 meter nauwkeurig boven de boorlocatie. Dankzij deze snelle bemonsteringsmethode en het seismisch onderzoek, is er een gedetailleerd inzicht verkregen in de opbouw van de Laat-Pleistocene delta's van de Rijn en Maas in dit gebied.

Vroeg- tot Midden Pleistocene Rijnafzettingen in de Noordzee

Aan het einde het Tertiair werden de afzettingen in de Noordzee nog gedomineerd door materiaal van de oostelijke (Baltische en Duitse) rivieren, die zich westwaarts uitbouwden (Gibbard 1988). Maar aan het begin van het Pleistoceen nam de sedimenttoevoer van de Rijn en Maas sterk toe door de opheffing van het Middelgebergte in Duitsland. Na verloop van tijd bereikten hun delta's het gebied van de huidige Noordzee (Zagwijn 1975). De Rijn stroomde toendertijd naar het noorden van ons land en mondde daar uit in de Noordzee. De uitbouw van deze delta's van de Rijn en Maas zorgden er samen met de Britse rivieren voor dat de delta-uitbouw van de oostelijke rivieren werd verlegd naar het noordwesten (Gibbard 1988, Cameron et al. 1993). Vanaf die tijd tot het Midden-Pleistoceen vormde de Rijn haar delta samen met de oostelijke rivieren in het destijds gemiddeld meer dan 100 meter diepe Noordzebekken. Deze



Afb. 1. Profiel 1 door Vroeg-Pleistocene Rijn-Maasafzettingen gebaseerd op geïnterpreteerde seismische opnamen. De ligging van het profiel wordt weergegeven in afbeelding 2. Formaties worden aangeduid door nummers: 1. Pliocene Brielle Ground Formatie, 2. West Kapelle Ground Formatie, 3. IJmuiden Ground Formatie, 4. Winterton Shoal Formatie, 5. Yarmouth Roads Formatie. Aangegeven is in de Brielle Ground Formatie waar de delta-top, het delta-front en het pro-delta milieu zich bevinden.

Tijd	Tijdvak	Formatie		Interpretatie
Holoceen	Atlanticum – heden	Bligh Bank Formatie		Mariene schelphoudende zanden
	Boreaal – Subboreaal	Buitenbanken Formatie		Mariene omgewerkte schelp en grindhoudende zanden grotendeels afgezet tijdens transgressie
	Atlanticum – Subatlanticum	Banjaard Formatie		Kustnabije zandige en kleiige afzettingen
	Preboreaal – Boreaal	Elbow Formatie		Ondiep mariene en lagunaire kleien en slibhoudende zanden afgezet tijdens transgressie
Laat-Pleistoceen	Weichselien	F. v. Kreftenheye	Twente Formatie	Eolische en fluviatiele periglaciale zanden
	Vroeg-Weichselien		Bruine Bank Formatie	Lagunaire en lacustriene kleien en slibhoudende zanden afgezet tijdens regressie en lage zeestanden
	Eemien		Eem Formatie	Mariene schelphoudende, plaatselijk slibhoudende zanden
Midden-Pleistoceen	Laat-Saalien	Formatie van Kreftenheye		Fluviatiele grindhoudende zanden afgezet door de Rijn en Maas
	Saalien	Borkum Riff Formatie		Keileem
		Cleaver Bank Formatie		Proglaciale afzettingen
		Molengat Formatie		Fluvioglaciale zanden
		Tea Kettle Hole Formatie		Eolische en periglaciale afzettingen
	Holsteinien	Egmond Gronden Formatie		Mariene schelphoudende zanden
	Cromerien – Elsterien	Yarmouth Roads Formatie		Delta-front en pro-delta afzettingen (Rijn Maas en oostelijke rivieren)
Vroeg-Pleistoceen	Waalien			
	Eburien – Vroeg Waalien	Winterton Shoal Formatie		
	Tiglien – Eburonien	IJmuiden Ground Formatie		
	Pretiglien – Tiglien	West Kapelle Ground Formatie		Mariene transgressieve afzettingen en mariene pro-delta, delta- en delta-top afzettingen van oostelijke rivieren
Laat-Tertiair	Pliocene	Brielle Ground Formatie		Mariene pro-delta, delta- en delta-top afzettingen van oostelijke rivieren

Tabel 1. Overzichtstabel van besproken stratigrafische eenheden op het Nederlands Continentaal Plat (NCP). In grijs zijn seismostratigrafische eenheden aangegeven, in wit (seismo)lithostratigrafische eenheden.

delta-front en pro-delta afzettingen (zie Afb. 1 voor de betekenis van delta-front, pro-delta en delta-top milieu) zijn overwegend fijnkorrelig en soms schelpenhoudend. Ze vormen pakketten van 100 tot 200 meter dik en liggen lokaal tot dieper dan 500 meter

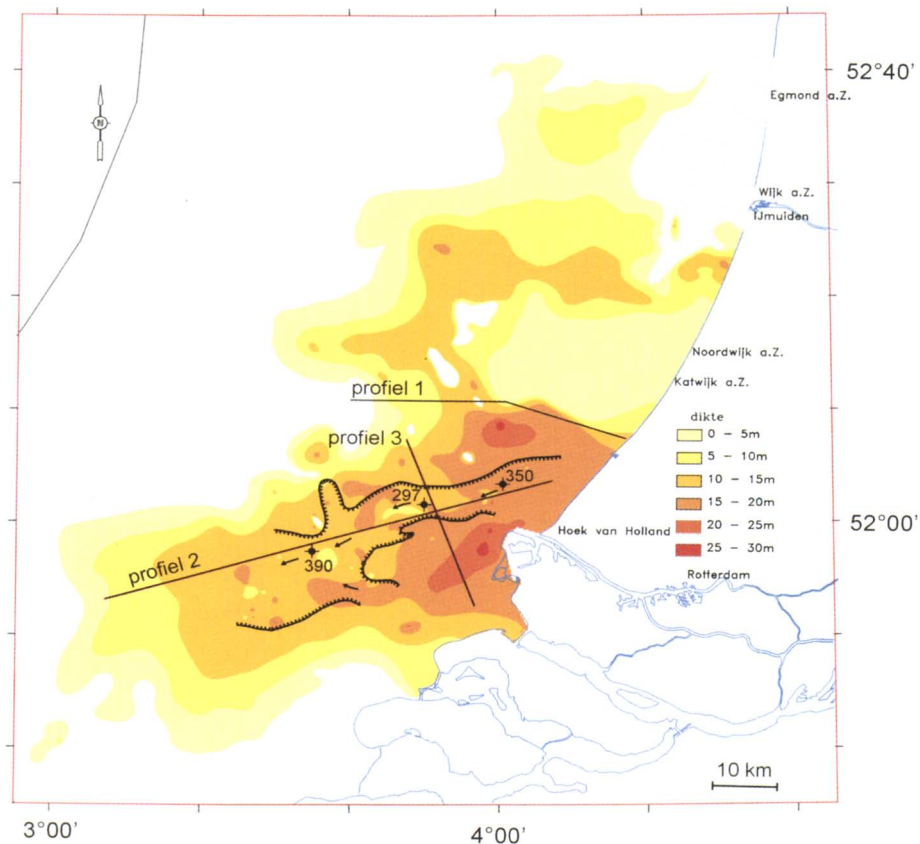
onder de zeebodem (Cameron et al. 1993). De opbouw van deze pakketten is vooral bekend dankzij de hoge resolutie seismiek. Deze toont duidelijk aan dat de delta's zich in westelijke tot noordwestelijke richting uitbouwden (Afb. 1, Tabel 1).

De oudste Pleistocene Rijn-Maas afzettingen in de Noordzee worden gerekend tot de IJmuiden Ground Formatie. Deze formatie bestaat uit meer dan 200 meter dikke pakketten fijne zanden met ingeschakelde kleien (Cameron et al. 1989). Zeewaarts zijn

pro-delta en delta-front eenheden te herkennen, dicht aan de kust ook delta-topafzettingen. Na een periode van grootschalige zeespiegelveranderingen bouwden de delta's verder uit en vormden de Winterton Shoal Formatie. Deze formatie ligt erosief op de IJmuiden Ground Formatie en bestaat uit een meer dan 100 meter dik pakket van fijne tot matig grove zanden, silten en kleien (Cameron et al. 1989). Tijdens de laatste fase van de Vroeg-Pleistocene delta-uitbouw, tussen het Waalien en Cromerien, werd de Yarmouth Roads Formatie afgezet die weer erosief op de Winterton Shoal Formatie ligt. De basis van deze formatie is vaak goed te herkennen, maar de bovenkant van de formatie is op de seismische opnamen niet goed waarneembaar, omdat deze binnen het bereik van de zogenoemde 'multiple reflector' ligt¹. De interne structuren van de Yarmouth Roads zijn complex en omvatten onder andere grootschalige geulopvullingen. De afzettingen zijn tot 180 meter dik en bestaan uit fijne zanden en siltige kleien die lokaal rijk zijn aan organisch materiaal (Cameron et al. 1989).

Midden- tot Laat-Pleistocene Rijn-Maasafzettingen in de Noordzee

Aan het einde van het Cromerien verlegden de oosterlijke rivieren hun lopen definitief naar het noorden, als gevolg van de veranderingen van het reliëf door glaciaties van Noordwest-Europa en tektonische bewegingen. Zo bleven de Rijn en Maas over als belangrijkste rivieren (Zagwijn 1975). Doordat het Noordzeebekken inmiddels minder snel daalde en groten-deels was opgevuld, werd het bekken ondieper dan gedurende het Vroeg-Pleistocene. Tijdens zeespiegelschommelingen werd de bovenkant van het afgezette sedimentpakket steeds weer omgewerkt door de rivieren en de zee. De Laat-Pleistocene Rijn afzettingen bestaan daarom voor een groot deel uit deze omgewerkte mariene en oudere rivierafzettingen. Aan het eind van het Midden-Pleistocene, gedurende het Saalien, werden de lopen van Rijn en Maas door landijs gedwongen



Afb. 2. De verbreiding en dikte van de Midden- tot Laat-Pleistocene Rijn-Maasafzettingen in het NCP (Nederlands Continentaal Plat). Deze afzettingen omvatten grotendeels de Formatie van Kreftenheye maar ook het grofzandige deel van gestuwde zanden van de Yarmouth Roads Formatie. De positie van de profielen 1, 2 en 3 is aangegeven. De getande lijnen ter hoogte van de Maasvlakte geven de positie van de hoofdgeulen weer in de Formatie van Kreftenheye die zijn herkend op grond van hun hoge grindinhoud. Het gearceerde deel voor de kust ten noorden van IJmuiden geeft de positie van Holocene getijdengeulen weer in de Pleistocene Rijn-Maasafzettingen.

zich naar het zuiden te verleggen. Ze stroomden via een doorgang in het zuiden naar de Atlantische Oceaan (Zagwijn 1975, Gibbard 1988). De Rijn-Maas afzettingen die vanaf het Laat-Pleistocene in de zuidelijke Noordzee zijn afgezet, worden gerekend tot de Formatie van Kreftenheye (Zonneveld, 1958).

De Rijn en Maas hebben tijdens het Saalien (laat Midden-Pleistocene), het Eemien en Weichselien (beide Laat-Pleistocene) via een tweetal stroomgebieden het gebied van de huidige zuidelijke Noordzee bereikt en hier tijdens lage zeestanden hun delta's gevormd (Afb. 2). De lage zeestanden vonden plaats tijdens de koude tijden van het Saalien en het Weichselien. Door de grote hoeveelheden landijs, waarin het zeewater was vastgelegd, lag de zeespiegel tijdens de koudste fasen van deze koude tijden vermoedelijk meer dan 130 meter lager dan de huidige stand (Jelgersma, 1979, Chappel & Shackleton, 1986). De delta's van de Rijn en Maas konden zich tijdens deze koude tijden zelfs tot ver

in het gebied van de huidige Noordzee uitbreiden.

In het noordelijk stroomgebied, dat zich ter hoogte van het kustgebied tussen IJmuiden en Schoorl bevindt, heeft de Rijn haar delta vanaf de huidige kustlijn in zuidelijke richting gevormd (Afb. 2). Deze loop heeft de Rijn behouden van het Laat-Saalien tot aan het eind van het Vroeg-Weichselien. Vanaf het Midden-Weichselien volgde de Rijn het zuidelijke stroomgebied en vormde haar delta samen met de Maas. Dit stroomgebied lag ten westen van de huidige kustlijn, tussen Goeree en Noordwijk aan Zee (Zagwijn, 1974, Van de Meene en Zagwijn, 1978). Het onderzoek naar de verbreiding van de Rijndelta in dit gebied wordt door TNO-NITG, in samenwerking met Rijkswaterstaat directie Noordzee, in 2002 voortgezet.

Afzettingen van de Rijn in het noordelijk stroomgebied

In het noordelijk stroomgebied ten westen van Noord-Holland bestaat de

¹ De multiple reflector wordt veroorzaakt doordat het seismische signaal door de zeebodem wordt gereflecteerd en tegen de onderzijde van het schip en het zee-oppervlak opnieuw wordt weerkaatst. Hierdoor ontstaan er talloze nieuwe signalen, die weer naar de zeebodem worden gezonden, hier worden gereflecteerd en bij hun ontvangst voor een nieuwe herhaling van de zeebodem zorgen. Deze 'overschrijft' de gereflecteerde lagen in het sedimentpakket.

Formatie van Kreftenheye hoofdzakelijk uit door de Rijn omgewerkte mariene afzettingen van de Eem Formatie. De formatie bestaat uit grind en schelpenarme matige grove zanden, waarin zich zowel zoetwater- als mariene schelpen bevinden. Het zand is over het algemeen iets fijner dan in de zuidelijke gebieden. Het grind is deels afkomstig uit omgewerkte fijne tot grove zanden van fluvioglaciale afzettingen uit het Saalien. De ouderdom van de formatie varieert in dit gebied van Laat-Saalien, Eemien tot Midden-Weichselien.

De Formatie van Kreftenheye ligt hier op mariene afzettingen van het Eemien, de Eem Formatie (Zagwijn, 1961), glaciale en fluvioglaciale afzettingen van het Saalien (Borkumriff Formatie (keileem) en de Molengat Formatie (fluvioglaciaal)) en op tijdens het Saalien door het landijs gestuwde Vroeg- en Midden-Pleistocene rivierafzettingen; de Yarmouth Roads Formatie (Tabel 1, Cameron et. al., 1984). De ondergrond is hier door de stuwing zeer complex en de verbreding van de afzettingen van de Rijn is in dit gebied nog niet goed in kaart gebracht. De Eem Formatie komt in vrijwel het gehele gebied voor onder een bedekking van Holocene en/of Laat-Pleistocene lagen en varieert in dikte van circa 2 tot 10 meter. Op basis van lithologie is het vaak moeilijk onderscheid te maken tussen de

zanden van de Kreftenheye en Eem Formatie.

Op de Formatie van Kreftenheye liggen soms beek en eolische afzettingen van de Formatie van Twente (Weichselien), hetgeen erop wijst dat er tijdens het Holoceen geen omwerking van de Kreftenheye Formatie door de zee heeft plaatsgevonden. In de gebieden waar de Formatie van Twente ontbreekt zou dit wel het geval kunnen zijn. Voor kust van Noord-Holland, ten noorden van IJmuiden, is een groot deel van de formatie geërodeerd (Afb. 2, gearceerd deel). Hier bevinden zich de resten van een grote getijgeul die grotendeels met klei is opgevuld. Deze tot meer dan 20 meter diepe geul is ongeveer 5600 jaar geleden ontstaan toen tijdens Holocene zeespiegelstijging de zee het land binnendrong (Van der Valk 1996). Tijdens het afnemen van de snelheid van zeespiegelstijging, ongeveer 1000 jaar later, werd de geul inactief en opgevuld met een meer dan 10 meter dik kleipakket.

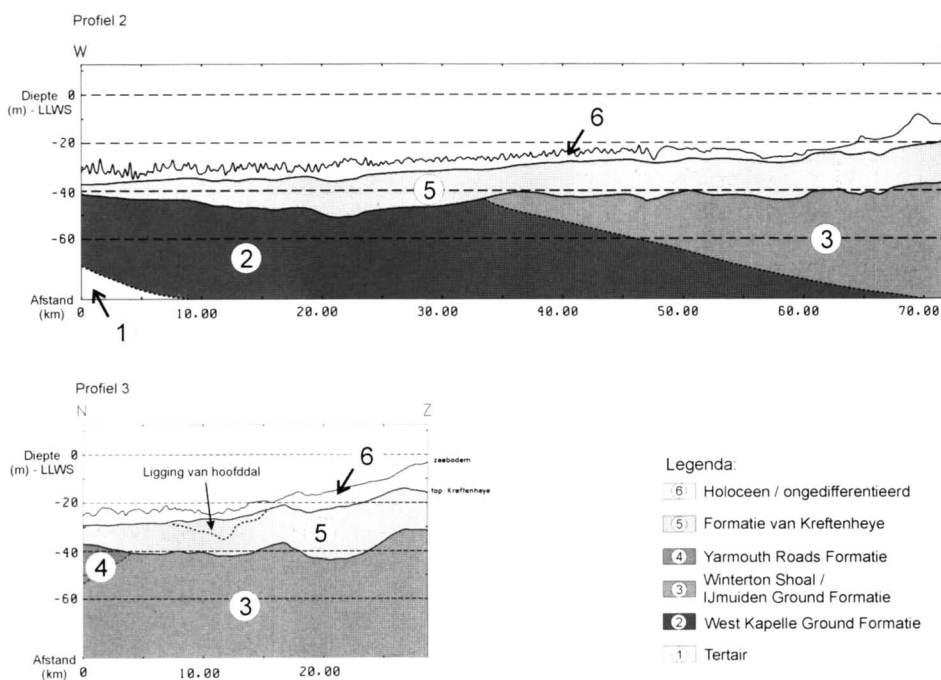
Afzettingen van de Rijn en Maas in het zuidelijk stroomgebied

In het zuidelijk stroomgebied wordt de Formatie van Kreftenheye steeds dunner, terwijl daarentegen lagen van Onder-Pleistocene en Tertiaire ouderdom ondieper komen te liggen (profiel 2 in Afb. 3). De formatie ligt zuidelijker dan ook op steeds oudere

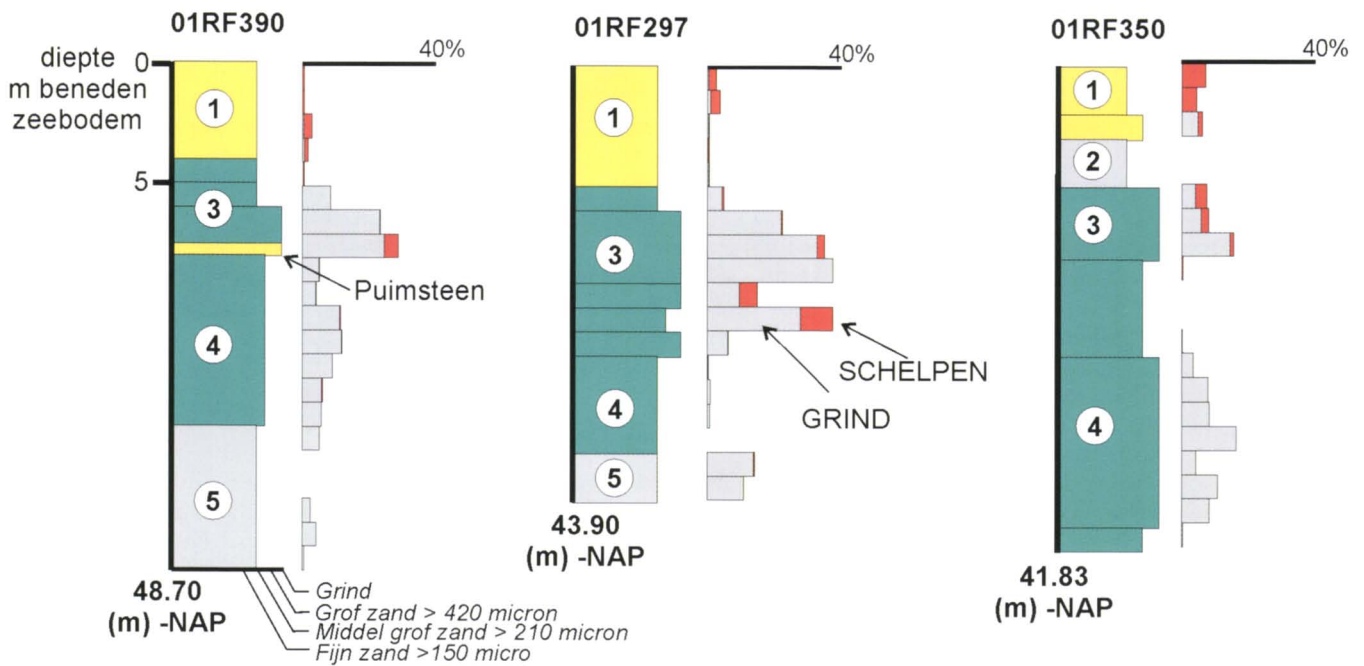
formaties. Ten zuiden van 52° liggen de Rijn-Maasafzettingen op de afzettingen van de Winterton Shoal Formatie. De bovenkant van deze formatie ligt in de boringen ten westen van de Maasvlakte op een diepte van 46,50 meter tot 52 meter –NAP. Ze bestaat hier uit een kleipakket met plaatselijk dunne zand en veenlaagjes. Zuidelijker komt ook de IJmuiden Ground Formatie voor. Het is in dit gebied moeilijk om deze beide formaties van elkaar te onderscheiden, daarom zijn ze bij elkaar genomen. Verder zuidwaarts bedekt de Formatie van Kreftenheye de Pliocene Brielle Ground Formatie en nog verder zuidelijk de Oligocene Formatie van Rupel (Balson et al., 1991).

De Formatie van Kreftenheye bereikt in dit gebied met meer dan 25 meter haar grootste dikte (Afb. 2). De formatie komt aaneengesloten voor tot aan 3° westerlengte en 52°40' noorderbreedte. Zuidwestelijk hiervan tot op het Belgische plat is zij aangetoond in geïsoleerde geulen die zijn ingesneden in Tertiaire lagen (Balson et al. 1991, Van Maenhout, 1992). Het zand van de Formatie van Kreftenheye is het grofst in naar het zuidwesten verloopende dalen (Afb. 2, getande lijnen). Deze dalen sluiten aan op dalopvullingen die op het land herkend zijn (Busschers en Weerts, 2000, Weerts et al. 2000). Het is waarschijnlijk dat deze dalen gevormd zijn tijdens het Weichselien bij een lage zeestand. In deze dalen heeft het grindhoudend zand een gemiddelde korrelgrootte van meer dan 400 micrometer. Deze lagen zijn lokaal dikker dan 10 meter met grindgehalten soms groter dan 30% (Afb. 4). Het grind is meestal fijn tot matig fijn met doorsneden tot 5 centimeter, maar kan ook heel grof zijn met doorsneden van meer dan 10 centimeter. Langs de hoofdgeul blijft het zand grof ten gevolge van veelvuldige omwerkingen (Afb. 4).

Buiten de bovengenoemde dalen zijn de grindhoudende zandlagen vaak dunner en fijner van samenstelling en bevatten soms meer dan 5% schelpen. In de dalen is het schelpgehalte gemiddeld lager dan 1%. Opvallend is echter dat ook in de dalen de bovenste meters van de Formatie van Kreftenheye het schelpgehalte relatief hoog is (Afb. 4, nummer 3). Het zijn over het algemeen verweerde schelpen waaronder veel mariene soorten uit het Eem zoals *Divaricella* sp. en *Bittium* sp. en estuariene soorten zoals *Corbicula fluminalis*. Daarnaast bevinden er zich in het zand ook dun-



Afb. 3. Profielen door de Midden- tot Laat-Pleistocene Rijn-Maasafzettingen in het zuidelijk deel van het NCP. Profiel 2. Dit zuidwestelijk verloopende profiel laat goed zien hoe deze Rijn-Maasafzettingen (Formatie van Kreftenheye) naar het westen toe dunner wordt. Profiel 3 verloopt noord zuid en laat de positie zien van de hoofdgeul. De getallen in de profielen duiden de formaties aan die in de legenda zijn weergegeven.



Afb. 4. De lithologische opbouw van drie boringen langs de hoofdgeul. De grindinhoud wordt weer gegeven door de grijze staafjes en de schelpen door de donkerrode staafjes. Drie representatieve korrelgroottediagrammen voor de bovenstaande boringen van 15 tot 16 m beneden de bodem. De nummers in de boringen duiden de volgende eenheden aan: 1. Holoceen zand, 2. Formatie van Twente, 3. Formatie van Kreftenheye, 4. Formatie van Kreftenheye schelpenloos zand, 5. Grindhoudend zand van Vroeg- tot Midden-Pleistocene formaties.

schalige zoetwater- en landslakjes. Dit duidt erop dat de schelpen van afzettingen uit de Eem Formatie zijn omgewerkt door de rivieren tijdens het Weichselien. Dit is bevestigd door dateringen van zandkorrels uit dezelfde eenheid op het land door middel van optisch gestimuleerde

luminescentie² (Törnqvist et al. 2001). Onder het schelpenarme deel komt een schelpenloze grindrijke zandlaag voor, die van dezelfde samenstelling en even grof is als het bovenliggende zand (Afb. 4, nummer 4). Mogelijk is dit zand afgezet tijdens het Saalien, zoals men ook op land heeft geconstateerd (Busschers en Weerts 2000, Törnqvist et al. 2000), verder onderzoek moet daar uitsluitsel over geven.

Aan de basis van de Formatie van Kreftenheye ligt het grindhoudend zand pakket van de Yarmouth Roads Formatie. Plaatselijk bestaat dit uit grof en grindhoudend zand, maar over het algemeen is de korrelgrootte fijner (150 – 250 micrometer) en bevat het houtresten. Ook komen er verweerde schelpresten in voor met name dikwandige schelpen zoals *Corbicula fluminalis* die wijzen op estuariene omstandigheden.

De bovenkant van de Formatie van Kreftenheye is in dit gebied in boringen aangetroffen op een diepte

variërend van ongeveer 21,5 tot 25 meter –NAP. In het nabije kustgebied in de omgeving van de Maasvlakte bevindt zich op de Formatie van Kreftenheye plaatselijk een kleilaag die hier tijdens het Laat-Weichselien, de Late Dryas (ca. 11.000 jaar geleden), op de zandige afzettingen is gevormd. Deze kleilaag kan een dikte bereiken van enkele meters (De Jong, 1966). Verder ligt in dit gebied op de Formatie van Kreftenheye een pakket Holocene afzettingen (Afb. 3) waarvan de oudste tot de Elbow Formatie wordt gerekend. De bovenkant van deze formatie, die in een lagune of estuarien milieu is afgezet, ligt in boringen op een diepte van 16 tot ca. 22,50 meter –NAP. Ze bestaat uit een afwisseling van zeer fijn tot matig grof silthoudend zand met schelpen en schelpresten. Deze zandlaagjes bevatten vaak, dunne humeuze klei met plaatselijk een veenlaag. Dit geheel is afgezet tijdens het Pre-Boreaal en Boreaal (Vroeg-Holoceen). Op de Elbow Formatie ligt plaatselijk

² Optische gestimuleerde luminiscentiedatering is een jonge veelbelovende dateringsmethode waarbij van zandkorrels bepaald kan worden wanneer deze voor het laatst aan zonlicht zijn blootgesteld. De methode is gebaseerd op het meten van een minuscule lichtsignaal dat vrijkomt uit kwarts en veldspaat mineralen van begraven zandkorrels na ze kunstmatig 'belicht' te hebben. Het lichtsignaal in de kwarts en veldspaat kristallen ontstaat o.a. door natuurlijke radioactiviteit van de bodem, met de tijd wordt dat signaal steeds sterker. Blootgesteld aan (zon)licht ontsnapt het lichtsignaal weer uit de kristalstructuur. Op deze manier kan de ouderdom bepaald worden van zandlagen die tot meer dan 150.000 jaar geleden zijn afgezet en voor het laatst waren blootgesteld aan zonlicht (zie Wallinga 2001).

de Banjaard Formatie. De bovenkant van deze formatie ligt in de boringen tussen ongeveer 9,50 meter en 17,5 meter –NAP en bestaat uit geul-opvullingen met slibhoudend zand met schelpen en lagen sterk zandige slappe klei (Rieu en Van Heteren 2001, Van Heteren deze publicatie). Deze formaties worden afgedekt door de mariene zanden van de Bligh Bank Formatie. Deze bestaat uit zeer fijn tot zeer grof silthoudend en schelp-houdend zand.

Mineralogische samenstelling van de Kreftenheye/Urk Formatie

De mineralogische samenstelling van de afzettingen wordt gedomineerd door kwarts. Belangrijk is de aanwezigheid van vulkanische mineralen zoals augiet en hoornblende. Verder zijn de aanwezigheid van toermalijn, stauroliet, saussuriet, alteriet, granaat en epidoot typerend voor afzettingen door de Rijn. Het grind van de afzettingen wordt vooral gedomineerd door kwarts, kwartsieten, grijsgroene grauwwacke, bontzandsteen, lydiet en zandsteen. Maar vulkanische gesteenten als porfieren, basalten en andesieten zijn ook algemeen. De invloed van de Maas is te herkennen aan de aanwezigheid van Révinien-kwartsiet en vuurstenen. De fractie tussen drie en vijf millimeter bestaat voor 66 tot 75 % uit kwarts, waarvan 31 tot 36 % melkkwarts. In sommige gevallen zijn puimsteenlaagjes aangetroffen in de rivierafzettingen (b.v. boring 01RF390, Afb. 4). Deze laagjes werden gevormd na explosieve vulkaanuitbarstingen in het Eifel-gebied. De puimsteen kwam tijdens de uitbarstingen als lapilliregens in de rivierlopen van Rijn en Maas terecht. Vervolgens werd het weer afgezet als laagjes tussen de Rijn-Maasafzettingen in de Noordzee. De laatste uitbarsting in het Pleistoceen vond ongeveer 11.000 jaar geleden plaats.

Botvondsten

In de Formatie van Kreftenheye zijn tijdens het geologisch onderzoek van TNO-NITG een aantal malen botten opgeboord waaronder een kies van een mammoet en een onderkaak van een edelhert. Tijdens de in winter 2002 gehouden CERPOLEX/Mam-muthus-expeditie, georganiseerd door Dick Mol en Klaas Post, zijn met een vissersvaartuig ten westen van Hoek van Holland grote aantallen botten van zoogdieren opgevist waaronder wolharige neushoorn, steppenwisent, edelhert en heel verassend ook van de beloegawalvis. Dateringen moeten uitwijzen uit welk deel van het Pleisto-

ceen de resten van deze dieren stammen.

Dankwoord

Discussies met Freek Busschers (VU), collega's van TNO-NITG: Henk Weerts, Dirk Beets, Tom Meijer, Chris Mesdag, Piet Kok, Ruud Schüttenhelm, Sytze van Heteren en Leo Tebbens (UU) hebben bijgedragen tot de huidige inzichten. Afbeelding 1 is gemaakt en geïnterpreteerd door Chris Mesdag (TNO-NITG). Afbeeldingen 2 en 3 zijn gemaakt door Peter Frantsen gebaseerd op griddata aanwezig bij TNO-NITG.

Literatuur

Balson, P.S., C. Laban, P.J. Frantsen, N. Parker, J.P. Henriët, M. de Batist & F. Mostaert, 1991. Ostend: sheet 52°N/02°E. Solid Geology, 1:250 000 series British Geological Survey, Geological Survey of The Netherlands & Belgian Geological Survey.

Busschers, F.S., en H.T.J. Weerts, 2000. Lithologie, sedimentologie en stratigrafie van de Formatie van Kreftenheye in West Nederland. TNO-rapport NITG 00-212-A.

Cameron, T.D.J., C. Laban & R.T.E. Schüttenhelm, 1984. Flemish Bight: sheet 52°N/02°E. Quaternary Geology, 1:250.000 series British Geological Survey and Geological Survey of The Netherlands.

Cameron, T.D.J., C. Laban & R.T.E. Schüttenhelm, 1989. Upper Pliocene and Lower Pleistocene stratigraphy in the Southern Bight of the North Sea. In: J.P. Henriët and G. de Moor (eds). The Quaternary and Tertiary geology of the Southern Bight, North Sea. Brussel, Belgische Geologische Dienst. 119-135.

Cameron, T.D.J., D. van Doorn, C. Laban en H.J. Streif., 1993. Geology of the Southern North Sea basin. Coastlines of the southern North Sea. Proceedings of the 8th symposium on coastal and ocean management. American Shore and Beach Preservation Association. New Orleans, Louisiana. 14-26.

Chappell, J., & N.J. Shackleton, 1986. Oxygen isotopes and sealevel. *Nature* 324: 137-140.

Gibbard P.L., 1988. The history of the great northwest European rivers during the past three million years. *Transactions of the Royal Society of London*. B 315, 559-602.

Jelgersma, S., 1979. Sea-level changes in the North Sea basin. In: E. Oele, R.T.E.

Schüttenhelm & A.J. Wiggers (eds). *The Quaternary History of the North Sea*. Uppsala. Acta Universitatis Upsaliensis: 233-248.

Jong, J. de, 1966. Pollenanalytisch onderzoek van twee boringen afkomstig van de Maasvlakte. Intern rapport RGD Palaeobotanisch Laboratorium, nr. 452.

Meene, E.A. van de & W.H. Zagwijn, 1978. Die Rheinläufe im deutsch-niederländische Grenzgebiet seit der Saale-Kaltzeit. Überblick neuer geologischer und pollenanalytischer Untersuchungen. *Fortschr. Geol. Rheinl. Westfalen* 28, 345-359.

Rieu R., en van Heteren S. Development and preservation of a Middle Holocene tidal-channel system offshore the western Netherlands. TNO-rapport NITG 01-221-A.

Törnqvist T.E., Wallinga J., Murray A.S., de Wolf H., Cleveringa P. and de Gans W., 2000. Response of the Rhine-Meuse system (west-central Netherlands) to the last Quaternary glacio-eustatic cycles: a first assessment. *Global and Planetary Change* 27, 89-111.

Wallinga J., 2001. The Rhine-Meuse system in a new light: optically stimulated luminescence dating and its application to fluvial deposits. *Nederlandse Geografen Studies* 290. Met een samenvatting in het Nederlands voor de leek.

Weerts H.T.J., Klijnstra B. en van Gessel S.F., 2000. Regionale bodemkansenkaart Zuid-Holland. TNO-rapport 00-265-B.

Zagwijn, W.H., 1961. Vegetation, climate and radiocarbon datings in the Late Pleistocene of the Netherlands. Part I: Eemian and Early Weichselian. *Meded. Geol. Stichting, N.S.* 14; 15-45.

Zagwijn, W.H., 1974. The paleogeographic evolution of The Netherlands during the Quaternary. *Geol. en Mijnb.*, 53; 369-385.

Zagwijn, W.H., 1975. De palaeogeografische ontwikkeling van Nederland in de laatste drie miljoen jaar. *K.N.A.G. geografisch Tijdschrift* IX, 181-213.

Zonneveld, J.I.S., 1958. Litho-stratigrafische eenheden in het Nederlandse Pleistoceen. *Meded. Geol. Stichting, N.S.*; 31-64.