

Wandelende onderzeese duinen

MN-1705 | 10 juli 2017





Marine Sampling Holland



Onderwerp: Rapportage
Projectnummer: MN-1705
Opdrachtgever: Rijkswaterstaat Kustlijnzorg
De heer G-J. Harpe
Boompjes 200
3011 XD Rotterdam
Nr. opdrachtgever: MN-1705
Datum: 10-7-2017

Opgesteld door:	Dr. C. Laban
Handtekening:	
Documentnummer:	
Status:	definitief
Vrijgegeven door:	

Inhoudsopgave

blad

1. Inleiding	4
2. Geologische opbouw Nederlands deel van het Continentaal Plat (NCP)	4
2.1 Serie Kwartair	
2.2 De Saalien-etage	6
2.3 De Eemien-etage	7
2.4 De Weichselien-etage	8
2.5 Het Holocene Tijdvak	9
3. De mobiele zandlaag	10
4. Beschrijving boringen in de zandwingebieden	13
5. Verzanding van objecten op de zeebodem	15
5.1 Het indringen ten gevolge van inslag en gravitatie	15
5.2 Scouring	15
5.3 Het verplaatsen van sediment door mobiele morfologische lichamen en sedimentatie	16
5.4 Verweking van de zeebodem	17
5.5 Verplaatsen van mijnen door getijdestroming	17
6. Conclusies en aanbevelingen	18
7. Geraadpleegde literatuur	19

1 Inleiding

Tijdens de Eerste en Tweede Wereldoorlog zijn vele honderdduizenden mijnen, granaten en andere munitie op de bodem van de Noordzee terechtgekomen. Een nauwkeurige registratie is hiervan niet.

Het voorkomen van deze objecten, in voor zandwinning aangewezen gebieden, is mogelijk. In opdracht van Rijkswaterstaat is een onderzoek uitgevoerd naar het gedrag en dikte van de mobiele zandlaag in het kustgebied. Het doel van dit onderzoek is om een inzicht te verkrijgen in de diepteligging van objecten zoals Conventionele Explosieven (CE's) in de zeebodem in deze gebieden.

Bij dit onderzoek is gebruikgemaakt van de bestaande kennis en informatie met betrekking tot de geologische opbouw en morfologie van het Nederlands deel van de Noordzee.

2 Geologische opbouw van het Nederlands deel van de Noordzee (Nederlands Continentaal Plat (NCP))

2.1 Serie Kwartair

Systeem	Serie	Subseries	Etages in Noord-Europa	Subseries in Noord-Europa	Series in Noord-Europa	Ouderdom in miljoenen jaren
Kwartair	Holoceen		'Flandrien'	Holoceen	Holoceen	0,01
	Pleistoceen	Laat-Pleistoceen	Weichselien	Laat-Pleistoceen	Pleistoceen	0,13
			Eemien			
		Midden-Pleistoceen	Saalien	Midden-Pleistoceen		0,85
			Holsteinien			
			Elsterien			
			Cromerien			
		Vroeg-Pleistoceen	Bavelien	Vroeg-Pleistoceen		1,81
			Menapien			
			Waalien			
			Eburonien			
Neogeen (Tertiair)	Pliocene	Laat-Pliocene	Tiglien	Laat-Pliocene	Laat-Pliocene	2,6
			Pretiglien			
			Reuverien			

Fig. 1.a. Stratigrafische tabel van het Kwartair en Tertiaire Pliocene.

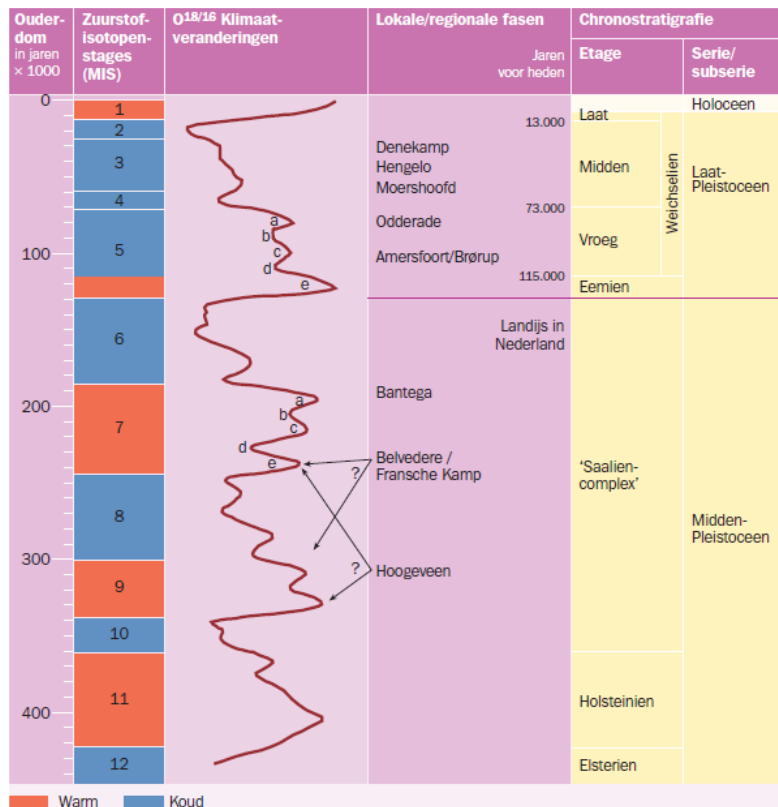


Fig. 1b. Deze tabel laat de indeling van het Midden-Pleistoceen zien van de periode Kwartair zien in de Pleistoceen en Holoceen met de afwisseling in warme en koude etages. De curve laat de temperatuurswisselingen zien ("koud" naar links en "warm" naar rechts).

Aan het begin van de Kwartaire systeem (Fig. 1a en 1 b), die ca. 2,6 miljoen jaar geleden begon, lag de kustlijn nog ver ten oosten van de huidige en werden ons land en de Noordzee grotendeels door de zee bedekt. Door de rivieren de Rijn en Maas werd vanuit het Zuiden en door de voorlopers van de Noord- en Midden-Duitse rivieren Elbe, Weser en Ems vanuit het Oosten, grote hoeveelheden sediment aangevoerd en afgezet in snel in noordwestelijke richting uitbouwende delta's.

In de Duitse Bocht voerden rivieren vanuit Scandinavië ook sedimenten aan in delta's die zich eveneens snel in westelijke en noordwestelijke richtingen uitbreidden. Deze rivieren behoorden tot het zogenoemde Baltische systeem. Ongeveer 1.8 miljoen jaar geleden hadden de delta's zich al westelijk van de huidige kustlijn uitgebouwd en ca. 475.000 jaar geleden, aan het eind van de Cromerien etage, lag de kustlijn vermoedelijk al iets ten zuidoosten van de huidige Doggersbank (Fig. 2).

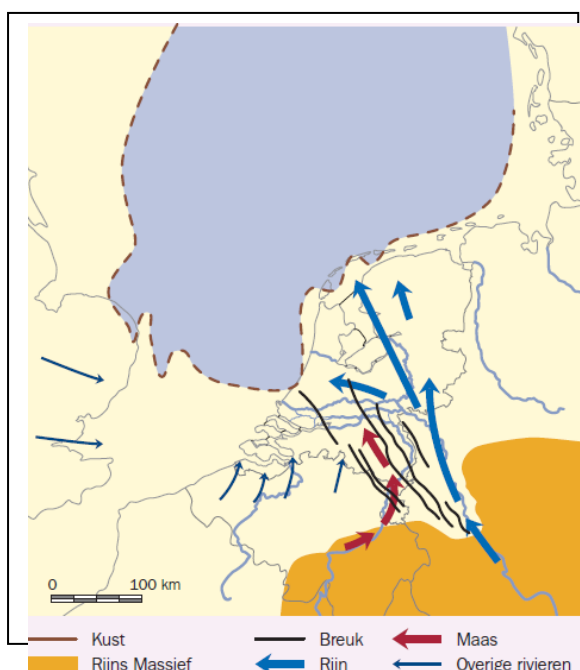


Fig. 2. De kustlijn lag aan het begin van het Cromerien langs de huidige kustlijn, maar aan het eind van het Cromerien, ca. 475.000 jaar geleden, al ten zuidoosten van de Doggersbank doordat de rivieren hun delta's snel uitbouwden.

Aan de aanvoer van afzettingen door de Rijn in het gebied ten noorden van de Waddeneilanden kwam tijdens de voorlaatste ijstijd, de Saalien etage (ca. 150.000 jaar geleden) (Fig. 3) een einde doordat het landijs dat tot Midden-Nederland liep en de loop van de rivieren naar het zuiden dwong.

Afzetting door deze rivieren vond daarna uitsluitend in de Zuidelijke Bocht van de Noordzee plaats. De aanvoer van Rijn- en Maasafzettingen is hier doorgegaan tot in het Vroeg-Holoceen (ca. 7000 jaar geleden).

De afzettingen uit het grootste deel van het Kwartair zijn hoofdzakelijk in de zee afgezet op het onderwater gelegen deel van de uitbouwende delta's en bestaan overwegend uit klei en fijne tot middenkorrelige slibrijke zanden. Grindhoudende afzettingen zijn slechts plaatselijk aangetroffen in diepere boringen ten westen van de kust van Noord-Holland. Het betreft vermoedelijk grind van oostelijke herkomst dat hier o.a. door de Elbe en Wezer is neergelegd.

Als gevolg van de hierboven genoemde grote landijsuitbreidingen daalde de zeespiegel sterk doordat veel water als gletsjerijs werd vastgelegd. Een groot deel van de ondiepe zeeën, zoals de Noordzee vielen daardoor grotendeels droog.

2.2 De Saalien-etage

Ongeveer 150.000 jaar geleden vond tijdens deze Saalien-ijstijd de maximale uitbreiding van het landijs plaats (Fig. 3). Het oostelijk deel van het NCP en een groot deel van Noord- en Midden-Nederland werd in die tijd door landijs bedekt. De maximale grens van het landijs verliep in de Noordzee van de kust bij Haarlem naar ca. 4° O.L. en langs deze lengtegraad naar het noorden om ten noorden van de Waddeneilanden nabij ca. 54° N.B. naar het noordoosten af te buigen. Ook tijdens deze landijsbedekking zijn er door het smeltwater dalen onder het ijs gevormd. De maximale diepte varieert van ca. 30 tot ca. 80 meter en de breedte varieert van ca. 2 tot ca. 6 kilometer. Onder het ijs is in het gebied rond de Waddeneilanden en de ca. 54° N.B. keileem op de bodem afgezet met een dikte die varieert van ca. 1 tot ca. 10 meter. De keileem behoort tot het Laagpakket van Gieten van de Drente Formatie. Langs de zuidelijk verbreding van het landijs hebben naar het zuiden bewegende landijstongen zich ingegraven en diepe glaciale bekkens gevormd en waardoor de bodem zijwaarts is opgestuwd tot stuwallen (Zie Fig. 3).

Iets zuidelijker, ten westen van Petten, is eveneens grind aangetroffen aan het zeebodemoppervlak. Tijdens de aanleg van een pijpleiding, voor transport van olie naar het land, werd bij het aanleggen van een sleuf in de zeebodem op deze plaats een grindrug doorgraven. Op de seismische opnamen die over de rug zijn gemaakt zijn structuren te zien die mogelijk op het voorkomen van een rug wijzen. Mogelijk is hier onder het landijs een afvoergeul van smeltwater verstopt geraakt waardoor het zand en grind zich heeft opgehoopt en er na het afsmelten van het landijs een rug is achtergebleven. Dergelijke ruggen worden eskers genoemd en zijn meestal kronkelend opgebouwd. Een deel van de stenen en blokken die hier aan de zeebodem liggen zijn tijdens de laatste ijstijd, door de met zand beladen wind,

afgeslepen tot fraaie windstenen met twee en soms drie afgeslepen vlakken.

Langs de rand van het landijs is door het smeltwater een laag fijn tot middenkorrelig fluvioglaciaal zand afgezet waarin plaatselijk grind is aangetroffen. Dit materiaal is tijdens de op het Saalien volgende warme tijd, het Eemien grotendeels door de zee omgewerkt. De zeespiegel steeg in die tijd tot zelfs ca. 5 m boven haar huidige niveau.

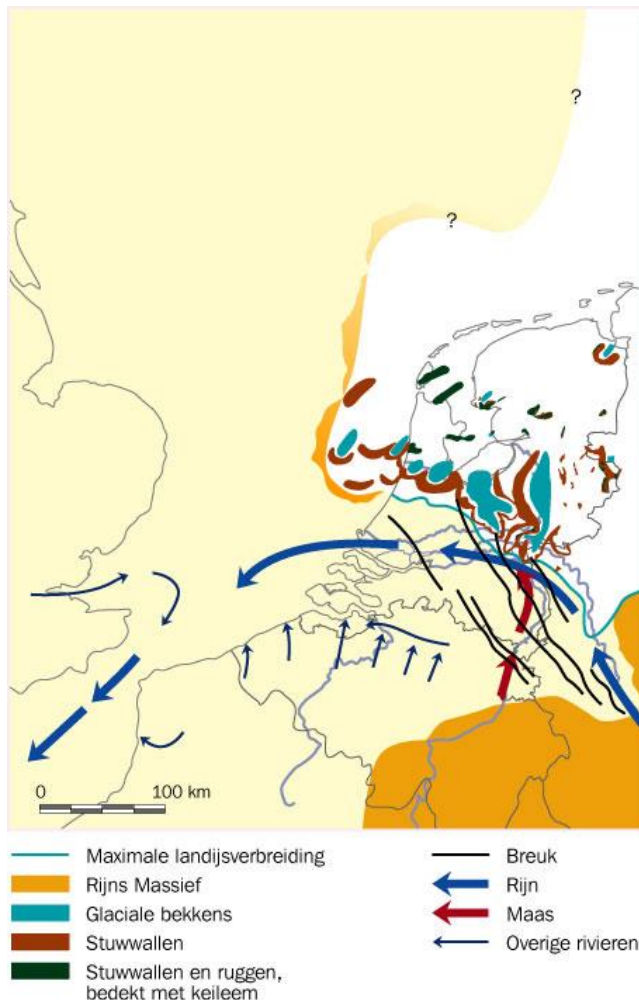


Fig. 3. De maximale uitbreiding van het landijs (wit) tijdens de Saalien-ijstijd. Het landgedeelte is geel.

2.3 De Eemien-etage

De Eemien etage begon ongeveer 130.000 jaar geleden. In die tijd was er een verbinding tussen het Engels Kanaal en de Noordzee.

Het gehele NCP en delen van West- en Noord-Nederland werden door zee bedekt in die tijd (Fig. 4). De tijdens het Saalien onder het landijs gevormde dalen (deze bevinden zich in het door het landijs bedekte gebied op Fig. 3), werden opgevuld met mariene afzettingen en verder werden de door het landijs achtergelaten zand- en grindafzettingen door de zee omgewerkt en getransporteerd over een groot deel van het noordelijk NCP. De zandafzettingen zijn over het algemeen fijn tot grofkorrelig en bevatten plaatselijk kleilaagjes, schelpen en vaak enig grind dat van Scandinavische oorsprong is. De dikte van deze laag varieert van minder dan 3.00 tot 30.00 meter.

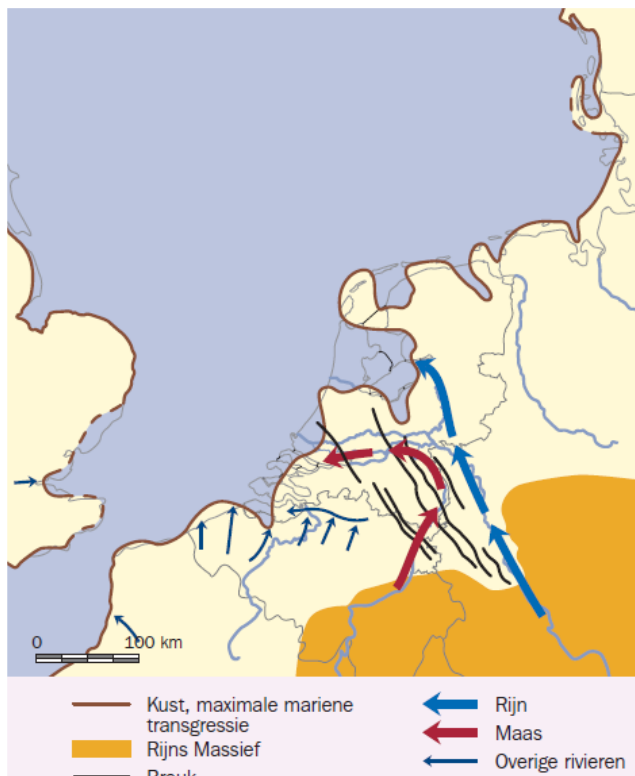


Fig. 4. De maximale uitbreiding van de Noordzee tijdens de warme Eemien etage. Blauw zee en land geel.

2.4 De Weichselien-etage

Ongeveer 115.000 jaar geleden begon de zeespiegel opnieuw te dalen door de komst van de laatste ijstijd, de Weichselien etage. In het centrale deel van de Zuidelijke Bocht van de Noordzee werd aan het eind van het Eemien, tijdens een lage zeestand en aanvoer van zoetwater door de rivieren, in een brakwater-milieu een kleilaag afgezet. De afzetting van deze klei ging door tot in het begin van het Weichselien. De dikte van deze kleilaag varieert van 2.00 tot ca. 5.00 meter.

Het NCP viel tijdens de koudste fasen volledig droog en ontstond er door het ontbreken van vegetatie een aantal malen een poolwoestijn waarin de wind en rivieren het zand hebben verplaatst. Het landijs vanuit Scandinavië reikte tot aan ongeveer het huidige Hamburg en liep door het Deense Jutland naar het noordwesten de Noordzee in (Fig. 5.). Het Scandinavische landijs strekte zich niet tot op het NCP uit tijdens het Weichselien.

Landijs vanuit Groot-Britannië breidde zich echter tot ten oosten van de Doggersbank uit (Fig. 5).

De wind en rivieren kregen, tijdens de koudste fasen, door het ontbreken van de vegetatie, vrij spel op het aanwezige zand en hebben dit verplaatst. Groten delen van het NCP ten oosten van ca. 4°O.L. zijn bedekt door een laag zogenoemde periglaciale afzettingen die toen zijn afgezet, de Formatie van Boxtel. Het zand van de Formatie van Boxtel is overwegend zeer fijn tot fijn en bevat plaatselijk leemlaagjes. De dikte varieert van minder dan 1.00 tot ca. 8.00 meter. In het noordoostelijke deel van het NCP zijn diktes tot ca. 16.00 meter aangetroffen. Lokaal worden er dunne laagjes fijn grind in dit pakket aangetroffen.



Fig. 5. De maximale uitbreiding van het landijs tijdens de Weichselien-ijstijd (blauw). Het landgedeelte is geel.

Tijdens het Laat-Saalien, het Eemien en het Weichselien stroomden de Rijn en Maas in zuidwestelijke richting. In het zuidelijk deel van het Nederlands deel van de Noordzee ontstond een delta die zich tijdens het Weichselien tot ver in het Nauw van Calais heeft uitgestrekt. In deze delta-afzettingen komen plaatselijk grindlagen voor met Rijn- en Maasgrind, de Formatie van Kreftenheije. In de bovenste meters van dit pakket bevinden zich plaatselijk laagjes puimsteen dat afkomstig is van vulkanische uitbarstingen in de Eifel.

2.5 Het Holocene Tijdvak

Ongeveer 10.000 jaar geleden kwam er een eind aan deze ijstijd en steeg de zeespiegel opnieuw. Dit was het begin van het Holoceen. Ca. 5000 jaar geleden bedekte de zee al het gehele NCP en een deel van West- en Noord-Nederland. De stijgende zeespiegel zorgde eerst voor de vorming van moerassen waarin veenlagen zijn gevormd. Daarna zijn in een ondiepe zee klei- en slibhoudende zandlagen afgezet, de Formatie van Naaldwijk.

Deze lagen komen in grote delen van het NCP voor en hebben een dikte van over het algemeen tussen 1 en 5 meter, maar plaatselijk worden in depressies dikten tot meer dan 10 meter bereikt. Nadat de zee min of meer de huidige kustlijn had bereikt, ongeveer 6000 jaar geleden, zijn over de ondiepe zee-afzettingen zogenoemde openzee-zanden neergelegd onder invloed van golf- en getijdestroming, het Bligh Bank Laagpakket. In het zuiden van het NCP was dit zand afkomstig van omwerking van de delta's van de Rijn en Maas en heeft een korrelgrootte van fijn tot zeer grof en bevat hier plaatselijk enige fijne grindjes, maar de korrelgrootte neemt naar het noorden toe af tot fijn en middenkorrelig. In het noordelijk deel, boven de Waddeneilanden is het zand grotendeels aangevoerd door het landijs tijdens de Saalien-etage en heeft een korrelgrootte van fijn tot middenkorrelig.

In het gebied tussen de Zeeuwse Banken en de kust liggen eb-getijdedelta-afzettingen (Fig. 6). Deze afzettingen bestaan uit zeer fijn tot middenkorrelig slibhoudend zand met kleilagen.



Fig. 6. Dieptekaart van de Zeeuwse en Vlaamse kust met de kustparallelle banken. Blauw is diep en bruin ondiep.

3. Mobiele zandlaag

Op de zeebodem ontstaan, onder bepaalde hydrodynamische omstandigheden, onderzeese duinen, zandgolven genoemd. In de zuidelijke Noordzee met waterdiepten tot ca. 40 m, bevindt zich een enorm gebied met zandgolven (Fig. 7). De zandgolven komen in het Nederlandse deel van de Noordzee, ten westen van de ca. 20 m dieptelijn voor. In het gebied ondieper dan –20.00 m is de golfwerking te sterk, waardoor er geen zandgolven ontstaan.

In het zuidelijk deel daarvan zijn plaatselijk hoogten tot meer dan 10 m boven de omringende zeebodem gemeten en in noordelijke richting neemt de hoogte geleidelijk af. Ten westen van Den Helder zijn de zandgolven nog maar vier meter hoog en zelfs minder. Boven de Waddeneilanden komen een paar gebieden met zandgolven voor die tijdens de winterstormen worden weggevaagd en zich tijdens de zomer weer opbouwen. Ten noorden van dit gebied wordt de zeebodem nagenoeg vlak. De gemiddelde hoogte van de zandgolven in dit deel van de Noordzee is ca. 5.00 m.

Tijdens het onderzoek met seismische systemen over het gehele NCP is vastgesteld dat zich onder de zandgolven een harde reflector bevindt die de basis van het mobiele zandpakket weergeeft (Fig. 8). De basis van de zandgolven ligt op een pakket van Pleistoceen of Holoceen zand dat niet tot het mobiele sediment behoort en over het algemeen meer dan 6000 jaar geleden is afgezet in een waddenmilieu tijdens de Holocene zeespiegelrijzing. Plaatselijk ligt de basis van de zandgolven op nog ouder sediment dat tijdens het Pleistocene Tijdvak (>10.000 jaar voor heden) is afgezet door rivieren en landijs.



Fig. 7. Het gebied in de zuidelijke Noordzee waarin zich zandgolven (geel) bevinden.

De vloedstroom is in het Nederlands kustgebied noordwaarts gericht en is sterker dan de ebstroom, waardoor de zandgolven zich, onder invloed van de noordelijk gerichte reststroom, in noordelijke richting verplaatsen.

De zwak hellende loefzijde is naar het zuiden gericht en de steile lijzijde naar het noorden. De kammen van de zandgolven lopen, net als in een rivier, loodrecht op de richting van de stroming. Over de loefzijde van de zandgolven lopen de megaribbels min of meer noordoostwaarts over de zandgolven (Fig. 8 en 9).

De zandgolven en ribbels op de zeebodem worden in drie typen ingedeeld:

- **stroomribbels** die in het getij over de zeebodem bewegen met een gemiddelde snelheid van ca. 1 m per uur; hun hoogte varieert tot 10 cm;
- **megaribbels** bewegen zich met een snelheid van ca. 100 m per jaar en hebben hoogten van 10 cm tot 1 m;
- **zandgolven** met hoogten tot 13 m (maar gemiddeld 5 m), golflengte 200 tot 800 m, verplaatsen zich met een gemiddelde snelheid van ca. 10 m per jaar.

Het zandtransport verloopt door megaribbels en het over de zandgolf “wandelen”. Als de megaribbel de top van de zandgolf heeft bereikt, duikt hij als het ware naar beneden, naar het dal tussen twee zandgolven in. Daar bouwt de megaribbel zich weer op. Op deze manier verplaatsen de zandgolven zich ten westen van de Nederlandse kust langzaam in noordoostelijke richting. In gebieden waar de eb- en vloedstroming met elkaar in evenwicht zijn, ontstaan “symmetrische” zandgolven die op hun plaats blijven. In het zuidwestelijk deel tegen de grens met het Britse deel van de Noordzee zijn deze zandgolven plaatselijk aangetroffen.

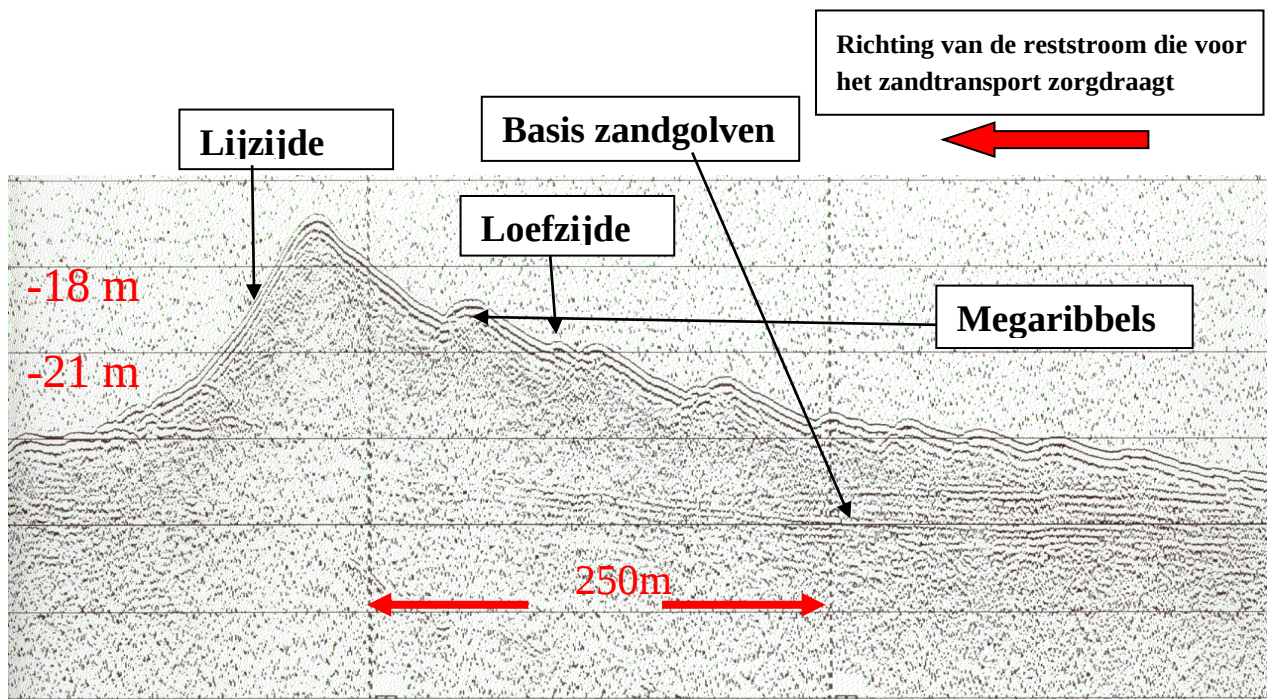


Fig. 8. Een akoestische opname over een zandgolf. De zandgolven “wandelen” over de zandgolf naar de top en “rollen dan naar beneden (avalanching) om zich daarna weer op te bouwen en de volgende zandgolf op te “wandelen”. De reststroom (de sterkte van de overheersende getijdestroom) draagt zorg voor het zandtransport.

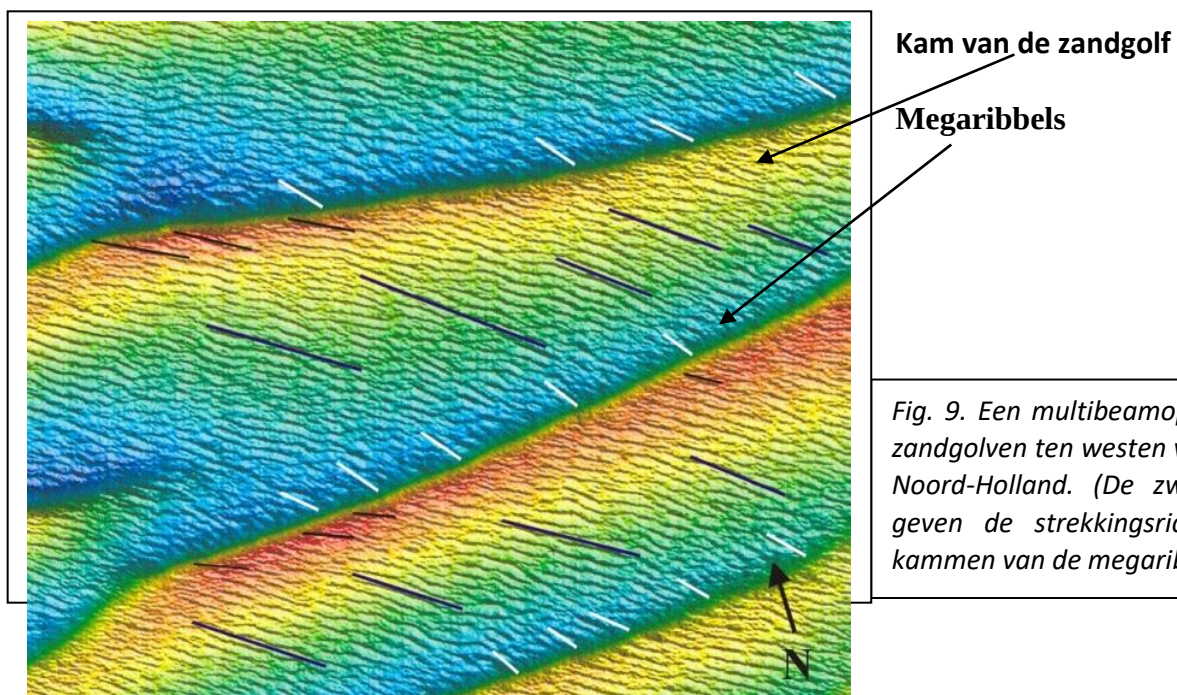


Fig. 9. Een multibeamopname over de zandgolven ten westen van de kust van Noord-Holland. (De zwarte streepjes geven de strekkingsrichting van de kammen van de megaribbels aan).

Aan de hand van door Rijkswaterstaat en de Dienst der Hydrografie verstrekte lodingsgegevens heeft Deltares uit de reeksen met een interval van ca. 10 jaar de verplaatsingssnelheid van de zandgolven in het kustgebied kunnen berekenen.

Ter hoogte van Hoek van Holland is de verplaatsingssnelheid ca. 3.00 m per jaar, bij Ijmuiden ca. 10.00 m per jaar en ter hoogte van Texel 18.00 m per jaar.

4. Beschrijving boringen zandwingsgebieden

Het zand van de mobiele laag is bruin van kleur door oxidatie van het ijzer dat zich als een huidje om de zandkorrels bevindt. Doordat het zand in beweging is en in contact komt met zuurstofrijk water oxideert het. De onderliggende laag met Holocene (of plaatselijk Pleistoceen zand) is gereduceerd en heeft daardoor een lichtgrijze tot grijze kleur en is hierdoor goed van het mobiele zand te onderscheiden (Fig. 10).

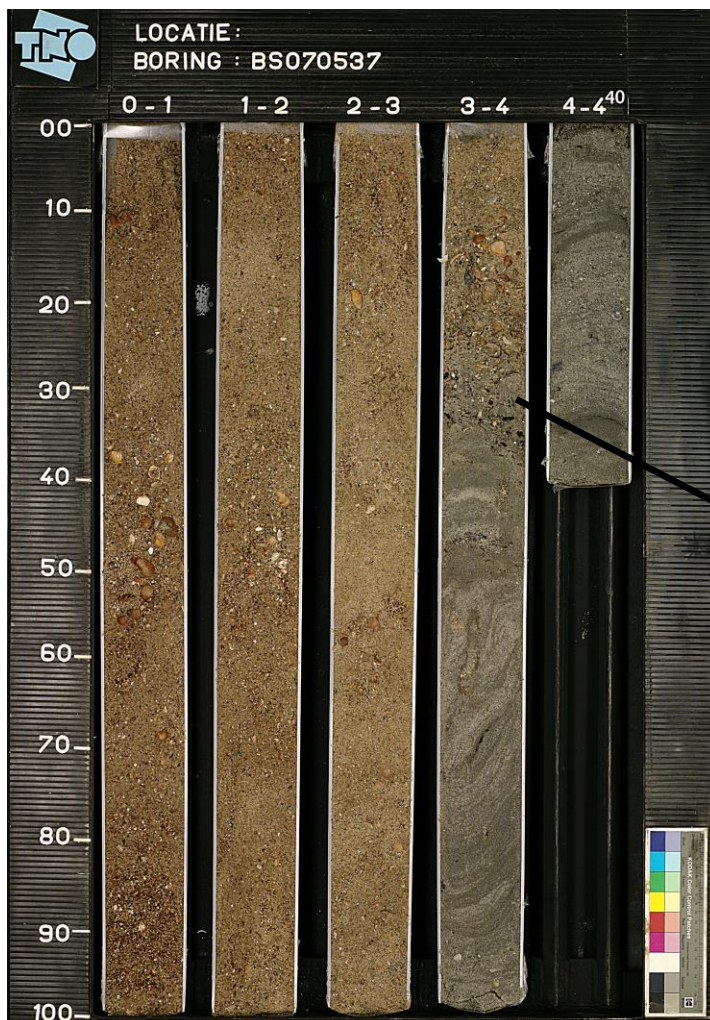


Fig. 10. Een foto van een steekboring uitgevoerd op een zandgolf. De bruine kleur is ontstaan door oxidatie van het zand door de aanvoer van zuurstof tijdens het transport van het zand. De pijl geeft de overgang aan naar de onderliggende laag waar de zandgolf overheen “wandelt”.

Aan de hand van de beschrijvingen van de in de zandwingebieden uitgevoerde boringen kan de dikte van de mobiele laag worden vastgesteld.

De onderstaande resultaten van een Cone Penetration Test CPT uitgevoerd in het kustgebied laat de weerstand van de diverse onderscheiden lagen zien (Fig. 11).

Mobiele zandlaag – “Passieve” zandlaag - Bovenkant Pleistoceen

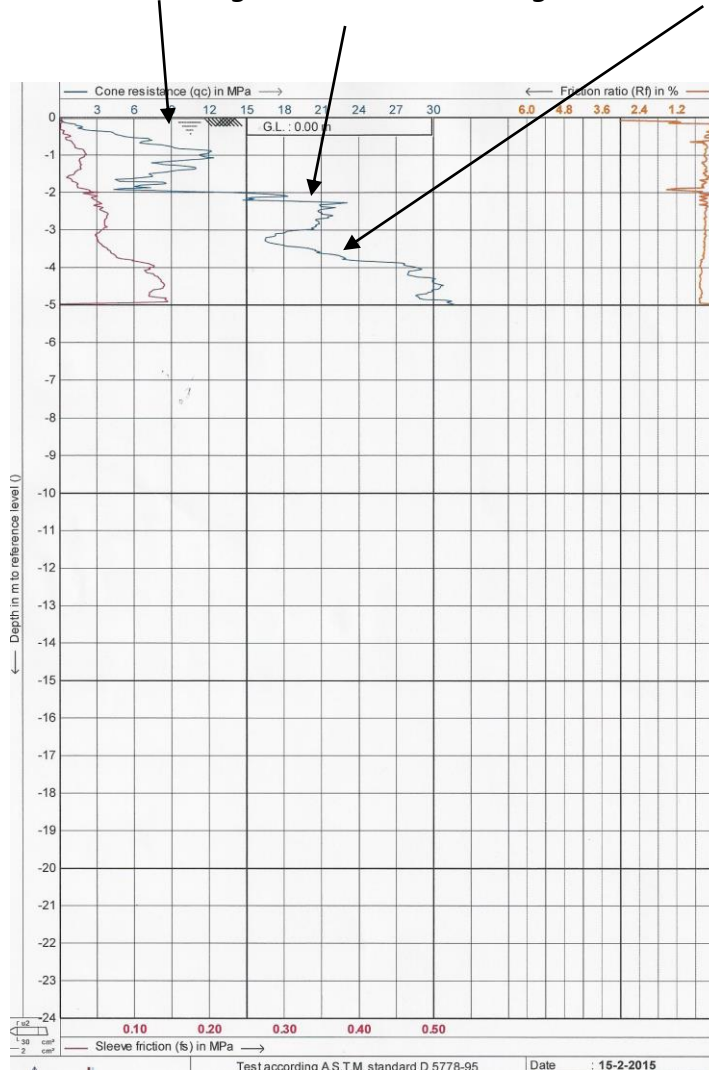


Fig. 11. De weergave van een CPT uitgevoerd ten westen van Zandvoort waarin de mobiele zandlaag, het onderliggende Holocene (“passieve”) zand en de bovenkant van het Pleistoceen tot uitdrukking komt.

5. Verzanding van objecten op de zeebodem

Objecten die op de zeebodem terechtkomen kunnen door een aantal fysische processen in de bodem verdwijnen:

1. Indringen in de zeebodem ten gevolge van de inslag en gravitatie
2. Door het optreden van scouring
3. Door het verplaatsen van sediment door mobiele morfologische lichamen en sedimentatie
4. Door verweking van de zeebodem (liquefactie).

5.1 Het indringen ten gevolge van inslag en gravitatie

Het indringen van objecten in de zeebodem ten gevolge van de inslag en gravitatiekrachten is afhankelijk van de waterdiepte en de samenstelling van de zeebodem, de dichtheid, korrelgrootte en de hoek waaronder het object op de zeebodem terechtkomt. In dit rapport worden hierover geen uitspraken gedaan.

5.2 Scouring

Het optreden van scouring rond een object op de zeebodem, ten gevolge van de getijdestroming, is een bekend verschijnsel. Testen in het laboratorium hebben aangetoond dat de objecten niet dieper dan 70% in de bodem zakten. Door zandtransport kan de kuil rondom het object worden opgevuld en het object gedeeltelijk of geheel bedekken (Fig. 12).

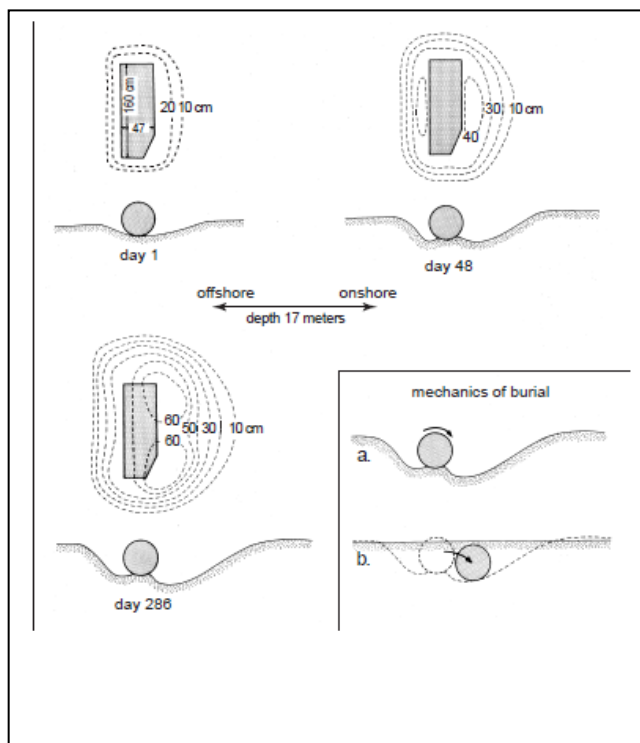


Fig. 12. Het begravingsproces van een object ten gevolge van het optreden van scouring (Inmar, et.al., 2002).

5.3 Het verplaatsen van sediment door mobiele morfologische lichamen en sedimentatie

De mobiliteit van het sediment onder invloed van de getijdestroming en golfwerking is langs de Nederlandse kust aan de hand van lodinggegevens, met een interval van 10 jaar, aangetoond.

Objecten die op een mobiel morfologisch zandlichaam, een megaribbels, zandgolf of zandbank vallen, zullen hierdoor op den duur, afhankelijk van de verplaatsingssnelheid, op de "passieve" laag terecht komen. Hier kunnen de objecten zich door scouring of verweking ingraven. Wanneer er opnieuw actief zand wordt aangevoerd zal het object op/in de passieve laag blijven liggen en zal bedekt worden door het actieve zand. In de loop der jaren zijn alle (meeste) objecten die tijdens WO-II in de zee terecht zijn gekomen op deze passieve zandlaag terecht zijn gekomen en liggen er in het actieve zand geen objecten meer.

Naast de beweging van mobiele zandlichamen, kan er ook sedimentatie plaatsvinden door zandribbels die door golven en stroming worden gevormd in ondiep water op plaatsen waar geen zandgolven ontstaan zoals de ondiepe kustzone (Fig. 13).

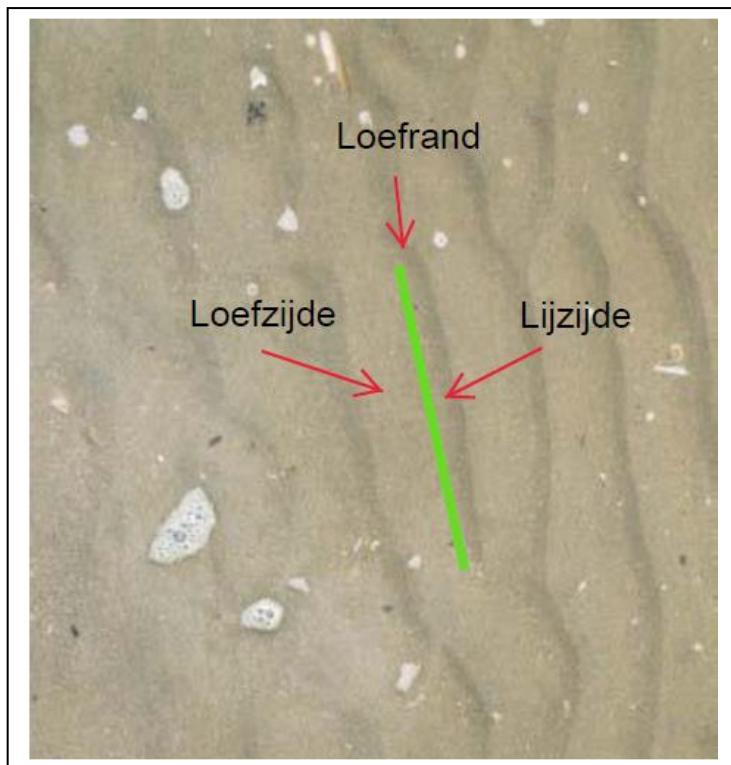


Fig. 13. Zandribbels voor de kust op ondiep water gevormd. De loefzijde is zeewaarts gericht, dit duidt op zandverplaatsing richting kust.

5.4 Verweking van de zeebodem

Het optreden van verweking van de zeebodem (liquefactie) kan ontstaan onder invloed van cyclische belasting en ontlasting door golfwerking. Door het toe- en afnemen van de waterdruk door passerende golven met een hoogte van ca. 5.5 m verandert de druk in de poriën van het zand. De diepte in de zeebodem tot waarop dit plaats kan vinden is afhankelijk van de grootte en gewicht van het object, de waterdiepte, de golfhoogte en de sediment karakteristieken. Objecten kunnen hierdoor begraven worden.

5.5 Verplaatsen van mijnen door getijdestroming

Het verplaatsen van mijnen over de zeebodem door getijdestroming wordt in de literatuur genoemd, maar geen feiten gegeven. Op het kaartje Fig. 14 is een indicatie gegeven van de gebieden waar tijdens WO 1 mijnevelden zijn neergelegd en op Fig. 15 een indicatie van de aantallen zeemijnen die in de Noordzee zijn neergelegd tijdens WO II.

Bij de uitvoering van proeven tijdens een NATO Mine Burial project, is in het kustgebied van Noord-Holland op een waterdiepte tussen ca. 10 en ca. 20 m, een stalen buis in de zeebodem aangebracht en hierop een camera bevestigd. Voor de camera is een oefenmijn neergelegd en hiermee moest het proces van eventuele verzanding worden vastgelegd. De oefenmijn bewoog echter in de getijdestroom waardoor het onmogelijk was om de mijn waar te nemen. Tijdens dit project zijn ten zuiden van de Eurogeul, in een gebied met een sterke getijdestroom en een zandbodem, ca. 30 oefenmijnen op de zeebodem geplaatst. Door de Dienst der Hydrografie is dit mijneveld regelmatig gemonitord en er bleek gedurende een aantal maanden geen verzanding plaats te vinden. Tijdens een volgende meting bleken de mijnen te zijn verzand doordat er een zandgolf overheen was “gewandeld”. Van latere metingen zijn geen gegevens bekend.

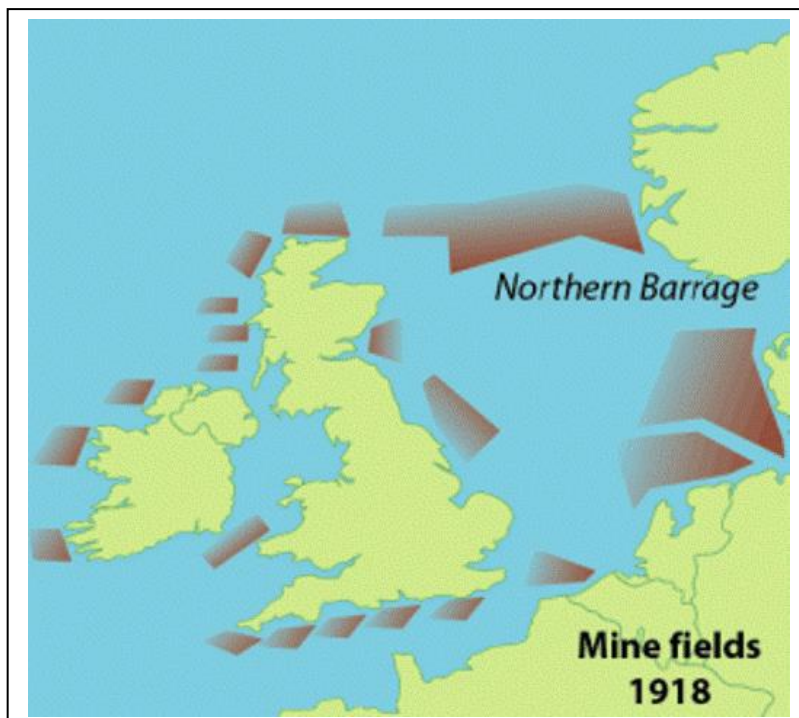


Fig. 14. De gebieden waar tijdens de Eerste Wereldoorlog mijnevelden zijn neergelegd.

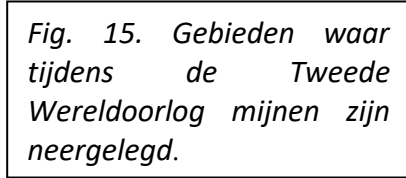


Fig. 15. Gebieden waar tijdens de Tweede Wereldoorlog mijnen zijn neergelegd.

6. Conclusies en aanbevelingen

- Het belangrijkste proces van begraving van objecten in de zeebodem in het Nederlands deel van de Noordzee zeewaarts van de ca. -20 m dieptelij, is het verdwijnen van objecten onder migrerende zandgolven en megaribbels. Objecten die op of in het mobiele zand terecht zijn gekomen zullen, tijdens het transport van dit zand, op de onderliggende Holocene of Pleistocene ("passieve") zandlaag terecht komen. Afhankelijk van de locatie kunnen de objecten onder een zandlaag met een dikte van <1 m tot ca. 6 m liggen. Dit heeft te maken met de locatie in de trog tussen twee zandgolven of de kam van de zandgolf.
- In de ondiepe kustzone op waterdiepten van <20 m, waarin geen zandgolven voorkomen, kan sedimentatie, scouring en liquefactie tot begraving leiden.
- Aan de hand van de beschrijvingen van boringen is de dikte van de geoxideerde laag af te lezen, maar is deels afhankelijk van de beschrijver die de kleur bepaalt aan boord of later in het laboratorium.
- Voorafgaand aan uitvoering van de boringen zou een multibeamopname de locatie van de uit te voeren boringen mede kunnen bepalen, zodat zowel in de zandgolven als in de troggen ertussen wordt geboord.

- Met behulp van een penetrerend echolood kan de overgang van de mobiele zandlaag naar de “passieve” zandlaag worden bepaald.

6. Geraadpleegde literatuur

Dijk, T.A.G P. van, 2002. Powerpoint presentatie “Dynamiek zeebodem”, TNO.

Dijk, T.A.G.P. van & Kleinhans, M. G., 2005. Processes controlling the dynamics of compound sand waves in the North Sea, Netherlands. Journal Geophysical Research, Vol. 110, F04S10, doi:10.1029/2004JF000173:pp. 1-15.

Dorst, L. L., 2009. Estimating Sea Floor Dynamics in the Southern North Sea to Improve Bathymetric Survey Planning, Publications on Geodesy 69, ISBN: 978 90 6132 311 2: 220 p. 224.

Hulscher, S. J.M. H. & Brink, M. van den, 2001. Comparison between predicted and observed sand waves and sand banks in the North Sea. Journal of Geophysical Research, Vol. 106, No. C5: pp. 9327–9338.

Inman, Douglas, L. & Scott A. Jenkins, 2002. Scour and Burial of Bottom Mines: a Primer for Fleet Use. Integrative Oceanography Division Scripps Institution of Oceanography University of California, San Diego La Jolla, CA 92093-0209, SIO Reference Series no. 02-8

Redeker, F.R. en J. Kollen, 1983. De vorm en vormverandering van zandgolven en megaribbels in Proefgebied Goeree p. 62 (NZ-N-84.07).

Morelissen, R., Hulscher, S.J.M.H., Knaapen, M.A.F., Ne’meth, A.A. & Bijker, R., 2003. Mathematical modelling of sand wave migration and the interaction with pipelines. Water Engineering and Management, Faculty of Engineering Technology, University of Twente, P.O. Box 217, 7500 AE Enschede, The Netherlands, pp. 128 – 133.

NATO IEG-3, 1994. Mine Burial Prediction Workshop, Coastal Systems Station Dahlgren Division Naval Surface Warfare Center. Volume 1 Meeting Report.