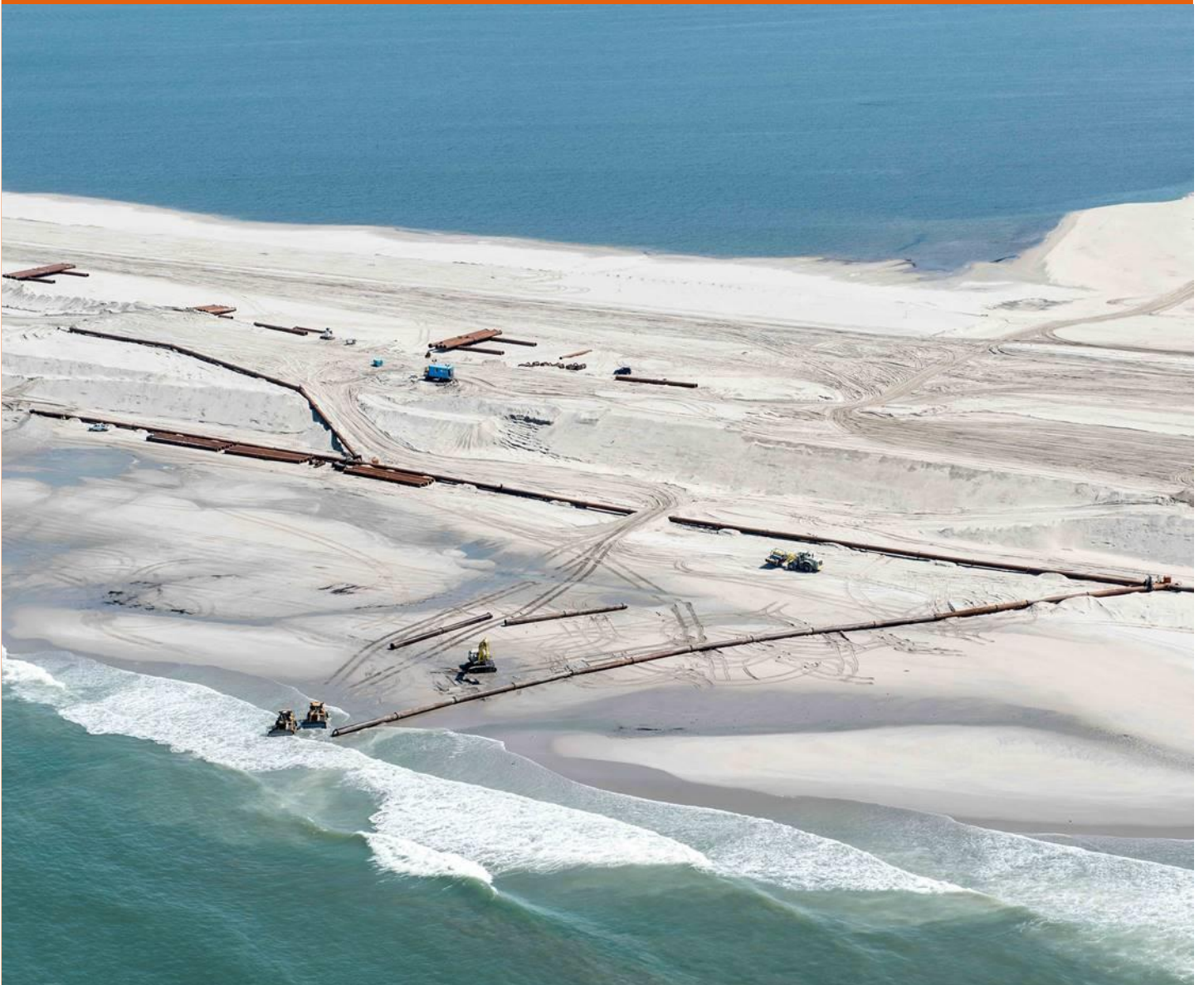


KORRELGROOTTE VAN ZANDWINGEBIED TOT STRAND

Analyse van gegevens

Rijkswaterstaat Zee en Delta

22 JULI 2019



Contactpersoon



JELMER CLEVERINGA
Senior Advisor Coastal
Morphodynamics

T +31 (0)88 4261 440

M +31 (0)6 5073 6850

E jelmer.cleveringa@arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 137

8000 AC Zwolle

Nederland

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	5
1.1	Aanleiding en doelstelling	5
1.2	Korrelgrootte en –verdeling	5
1.3	Resultaten van eerder werk	6
1.4	Aanpak en leeswijzer	8
2	KORRELGROOTTE IN WINGEBIED, SCHIP, STRAND EN SUPPLETIE	9
2.1	Inleiding	9
2.2	De korrelgrootte in de wingebieden	9
2.3	De korrelgrootte in de beun van het schip	11
2.4	De korrelgrootte in suppleties op de vooroever en het strand	12
3	HET METEN VAN DE KORRELGROOTTE	16
3.1	Inleiding	16
3.2	Monstername	16
3.3	Voorbehandeling	17
3.4	Metten	19
3.5	Presentatie en definities	21
4	KORRELGROOTTEGEGEVENS	24
4.1	Inleiding	24
4.2	Analyse	24
4.2.1	Data wingebied	24
4.2.2	Data beun	31
4.2.3	Beungegevens per scheepslading	32
4.2.4	Data strand, onderwateroever en suppleties	38
4.3	Vergelijk wingebied-beun-strand/onderwateroever	51
4.4	Andere parameters van het suppletiezand	53
4.5	Slib in het suppletiezand	53
5	DISCUSSIE, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	55

5.1	Kwaliteit van de (meta)gegevens en de consequenties voor de onderlinge vergelijking	55
5.2	Suppleties en korrelgrootte	56
5.3	Conclusies	58
5.4	Aanbevelingen	59
6	LITERATUUR	63
	COLOFON	65

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding en doelstelling

In Nederland wordt jaarlijks gemiddeld ongeveer $12 \times 10^6 \text{ m}^3$ zand gesuppleerd op het strand en de vooroever van de Nederlandse kust (Leewis et al., 2012). Een groot deel van dit volume betreft zandsuppleties die in opdracht van Rijkswaterstaat worden uitgevoerd voor de kustlijn­zorg. Ook voor andere doelen en opdrachtgevers zijn zandsuppleties uitgevoerd, zoals voor de versterking van de (duin)waterkeringen bij Scheveningen, Noordijk, Katwijk en de Hondsbossche - en Pettemer zeewering en voor het onderhoud van het Maasvlakte strand. De $12 \times 10^6 \text{ m}^3$ voor Rijkswaterstaat kustlijn­zorg betreft een jaargemiddelde waarde; in sommige jaren wordt minder en in andere jaren wordt meer gesuppleerd. In 2002 en 2009 werd bijvoorbeeld ongeveer $15 \times 10^6 \text{ m}^3$ gesuppleerd (Rijkswaterstaat, 2011) en tegenwoordig¹ is dit circa $7 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Het zand voor de zandsuppleties wordt met sleephopperzuigers gewonnen op de Noordzee, buiten de doorgetrokken NAP -20 m lijn. Het zand wordt vervolgens op het strand of op de onderwateroever zeewaarts van het strand gesuppleerd.

De korrelgrootte van het suppletiezand wordt gezien als een factor die medebepalend is voor de morfologische en ecologische ontwikkeling van de suppletie en zijn omgeving. In het algemeen wordt aanbevolen om de korrelgrootte van strand- en onderwatersuppleties aan te laten sluiten bij het reeds aanwezige zand (CUR, 1987; Spek e.a, 2007). In verschillende vergunning- en aanbestedingstrajecten (kustversterking Noord-Holland, kustwerk Katwijk, ...) zijn eisen gesteld aan de korrelgrootteverdeling van het zand in verband met het optreden van verstui­ving, de duinafslag tijdens stormen en de ecologische waarden.

De korrelgrootte van de zandsuppletie wordt bepaald door:

1. De korrelgrootteverdeling in het gebied waar het zand wordt gewonnen;
2. De sorteringsprocessen tijdens het winnen van het zand;
3. Sorteringsprocessen tijdens het aanbrengen van de suppletie.

Direct na het aanbrengen van de zandsuppletie zorgen de natuurlijke sorteringsprocessen voor een herverdeling van het gesuppleerde zand. Die natuurlijke sorteringsprocessen zorgen ook in de situatie zonder suppleties voor een verdeling van de korrelgroottes over strand en vooroever.

In het voorliggende rapport wordt onderzocht in hoeverre de beschikbare data m.b.t. korrelverdeling met elkaar vergeleken kunnen worden en of een representatief beeld gevormd kan worden van het zand op de winlocatie, in het schip en op de suppletielocatie. Ook wordt kort aandacht worden besteed aan andere parameters van het suppletiezand die mogelijk relevant zijn vanwege hun morfologisch en ecologische invloed, zoals de korrelvorm en het percentage schelpen en schelpfragmenten. Verder wordt aandacht besteed aan het percentage slib, zoals dat volgt uit de korrelgrootteverdeling en in hoe dit percentage zich verhoudt tot de percentages die worden aangenomen in effectberekeningen van zandwinning. Ten slotte worden aanbevelingen gegeven voor het uitvoeren van monitoring, in samenhang met de reguliere bemonstering en bepalingen.

Het voorliggende rapport is een bijdrage aan het MEP zandwinning 2014-2017 onderdeel Sediment.

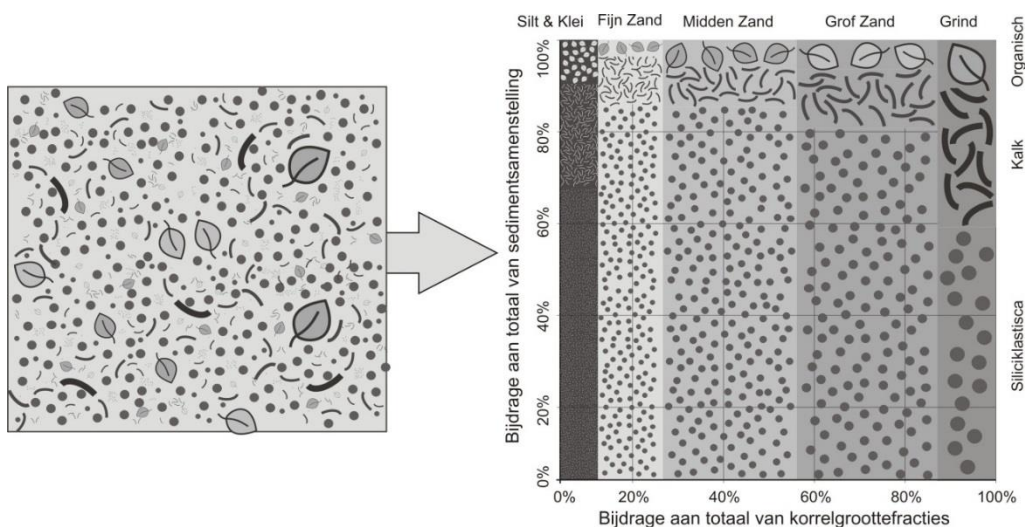
1.2 Korrelgrootte en –verdeling

In de titel van dit rapport staat 'korrelgrootte van wingebied tot suppletie'. De "korrelgrootte" in de titel heeft betrekking op de representatieve korrelgrootte van het zand en niet op de grootte per zandkorrel. De reden

¹ <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/bescherming-tegen-het-water/maatregelen-om-overstromingen-te-voorkomen/kustonderhoud/index.aspx>

daarvoor is dat zand (op het strand, in het duin, in de wingebieden en in de suppletie) niet één enkele korrelgrootte heeft, er is altijd sprake van een verdeling van fijne en grovere korrels (Figuur 1).

De grootte van individuele zandkorrels heeft betrekking op de korreldiameter. De definitie van korreldiameter is niet triviaal, omdat een korrel niet perfect bolvormig is. Zo kan de korreldiameter worden gedefinieerd door de maaswijdte van een zeef waardoor een gegeven korrel nog net kan passeren (“zeefdiameter”). Hierbij wordt opgemerkt dat de zeefdiameter kleiner kan zijn dan de maximale afstand tussen twee punten op het korreloppervlak. In dat geval kan de korrel de zeef enkel passeren onder een bepaalde hoek. De korreldiameter kan ook worden gedefinieerd als de diameter van de bol die dezelfde volume heeft als het volume van de korrel (“nominale diameter”). Ook kan de korreldiameter worden gedefinieerd als de diameter van de bol die een specifieke gravitatie heeft van 2,65 met dezelfde valsnelheid als de korrel in gedestilleerd water met een temperatuur van 24 °C (“standaard valdiameter”) (Van Rijn, 1993). De verschillende meettechnieken die beschikbaar zijn om de korrelgroottes van zand te bepalen (zeven, gravimetrisch, optisch) hebben vaak betrekking op verschillende eigenschappen van het zand (dwarsdoorsnede, valsnelheid, lichtweerkaatsing). Per meetmethode wordt daarom een specifieke korreldiameter bepaald, waarover meer in Hoofdstuk 3.



Figuur 1 Schematische weergave van een zandmonster (links) en de uitsplitsing naar fracties met verschillende korreldiameters en sedimentsamenstelling.

1.3 Resultaten van eerder werk

Eerder werk aan de bepaling, analyse en vergelijking van korrelgroottes en korrelgrootteverdelingen van de kust en Noordzee is zeer uiteenlopend. Het omvat bemonsteringen en analyse die regulier onderdeel zijn van de werkzaamheden rond zandwinning tot incidentele en lokale bepalingen voor projecten. De diversiteit in de onderzoeken heeft geresulteerd in een veelvoud aan bemonsterings-strategieën en analysemethodes.

De korrelgrootte en korrelgrootteverdeling van zand dat wordt gewonnen op de Noordzee, waaronder het zand voor de zandsuppleties, is onderwerp van verschillende eerdere analyses en studies. De korrelgroottes en korrelgrootteverdeling van de wingebieden en van het suppletiezand in de schepen die de suppleties uitvoeren worden sinds en jaar en dag structureel bepaald. Ook van verschillende suppleties zijn korrelgroottebepalingen uitgevoerd, in (onderzoeks)projecten. De korrelgrootte van het zand in de duinen, op het strand en op de vooroever is voor verschillende projecten bepaald.

De reden voor het uitvoeren van korrelgroottebepalingen is divers. De bepalingen aan de wingebieden worden uitgevoerd om vast te stellen of het aanwezige materiaal geschikt is voor de beoogde toepassing. Dit begint met het beantwoorden van de vraag of er sprake is van zand dan wel van ander sediment (klei, veen, keileem,...). Bij specifieke toepassingen, zoals het gebruik als beton- en metselzand, wordt gekeken of de korrelgrootteverdeling en eventueel andere sedimenteigenschappen (korrelvorm, hoeveelheid schelpen,...)

geschikt zijn. Het eindrapport van het PIA onderzoek (PIA, 2004) geeft een goed inzicht in dit type onderzoek.

De onderzoeken aan de korrelgroottes van strand-, duin- en suppletiezand hebben verschillende doeleinden. Omdat de korrelgrootte een van de invoerparameters is voor berekeningen van de duinafslag voor het bepalen van de veiligheid tegen overstromingen, is onderzoek uitgevoerd naar de korrelgrootte van strand en duin (Kohsiek, 1984). Ook bij kustversterkingsprojecten met zand zijn korrelgroottebepaling uitgevoerd, om daarmee vast te stellen of voldoende veiligheid wordt geboden door het aan gebrachte zand. Andere bepalingen zijn uitgevoerd vanwege de mogelijke invloed van de korrelgrootte en andere sedimenteigenschappen (o.a. kalkgehalte) op de ecologische waarden van strand, duin en onderwateroever. Ook bij het bepalen van de geochemische eigenschappen van het duin en strand zijn korrelgroottebepalingen uitgevoerd (Stuyfzand e.a., 2010). Verder is een onderzoek uitgevoerd naar de sedimenteigenschappen van het wingebied vanwege de ongewenste suppletie van stenen op het strand van Texel (van der Meulen e.a., 2004). De Vries (2009) geeft in zijn afstudeerrapport een overzicht van de korrelgroottes gegevens die beschikbaar zijn van het strand van Egmond in de periode 1961-2001.

In één onderzoeksrapport, van Van der Wal e.a. (1995) is nader ingegaan op de relatie tussen de korrelgroottes in de wingebieden, in de schepen en op het strand en in de duinen, op basis van korrelgroottebepalingen. Het rapport bestrijkt overigens een veel breder scala aan onderwerpen die gerelateerd zijn aan korrelgrootte en sorteringsprocessen van strand- en duinzand in relatie tot de (helm-)begroeiing van de duinen. De belangrijkste bevindingen van Van der Wal e.a. (1995) op het vlak van de korrelgroottes zijn:

- De mediaan van het suppletiezand kan globaal uit de gegevens van de winlocatie worden voorspeld, waarbij verschillen tot 50 µm kunnen voorkomen tussen het zand in de winlocatie en het zand van de strandsuppletie.
- De korrelgrootteverdeling van het wingebied en de suppleties komen over het algemeen ook overeen. Verschillen worden verklaard door het mengen van de verschillende lagen uit het wingebied tijdens de zandwinning- en suppletiewerkzaamheden.
- De aanwezigheid van silt en klei in de wingebieden komt niet overeen met de aanwezigheid in de suppleties.
- De aanwezigheid van grind en stenen in het gesuppleerde komt overeen met de verwachting op basis van waarnemingen aan de wingebieden.
- De aan- of afwezigheid van schelpen en schelpfragmenten in de wingebieden geeft geen zekerheid over de vorming van schelpenvloertjes in het suppletiegebied.

Verder wordt geconstateerd dat per wingebied een beperkt aantal boringen beschikbaar is, terwijl de sedimenteigenschappen sterk wisselen. Ook wordt geconstateerd dat de bepaling van de korrelgroottes met verschillende methoden (zeven, laser counter, vergelijkingsmicroscopie) heeft plaatsgevonden, waarbij ook de voorbehandeling verschilt (wel of niet verwijderen van organische stof en kalk). Van sommige gegevens is niet meer te achterhalen op welke wijze de bepaling heeft plaatsgevonden. Vanwege de verschillen in de waarnemingsmethoden heeft in Van der Wal e.a. (1995) geen vergelijking met oudere gegevens van strand en zeereep plaatsgevonden.

De aanbevelingen van Van der Wal e.a. (1995) ten aanzien van de korrelgrootteverdelingen zijn de moeite van het vermelden waard:

- Voer per wingebied geostatistisch² onderzoek uit, om de horizontale en verticale verbreiding in kaart te brengen. Hierbij is opgemerkt dat het aantal boringen dat nodig is om een analyse van de samenstelling te maken per wingebied verschilt en niet op voorhand kan worden bepaald.
- Standaardiseer de wijze waarop de korrelgrootteverdeling wordt bepaald en uniformeer de wijze van rapporten. Bepaal ook het percentage klei en silt, organische stof en het kalkgehalte.

² Bij een geostatistisch onderzoek wordt op basis van de beschikbare geologische informatie vastgesteld wat de statistische kans is dat de verschillende sedimenten of geologische formaties in de ondergrond aanwezig zijn. Een geostatistisch onderzoek kan onderdeel vormen van een geologisch onderzoek.

1.4 Aanpak en leeswijzer

Het voorliggende rapport gaat in het volgende hoofdstuk (2) in op de veronderstelde korrelgrootteverdeling en de variatie daarin in de verschillende gebieden en in het beun. Hiermee wordt het conceptuele kader geschetst voor de hoofdstukken 4 en 5.

In hoofdstuk 3 wordt een beschouwing gepresenteerd van de verschillende methoden voor monsternamen, voorbehandeling, korrelgroottebepalingen en de wijze van presenteren en rapporteren.

Hoofdstuk 4 omvat een overzicht en analyse van de beschikbare gegevens over de korrelgrootteverdeling van wingebeden, beun, suppleties en strand, onderwateroever en duin. In dit hoofdstuk worden ook de resultaten gepresenteerd van de vergelijking tussen wingebeden beun en het strand.

Ten slotte worden in hoofdstuk 5 enkele aspecten van korrelgroottes en suppleren bediscussieerd, worden voorlopige conclusies gepresenteerd en worden voorlopige aanbevelingen gedaan voor het uitvoeren van boringen en bemonsteringen, korrelgroottebepalingen en rapportage.

2 KORRELGROOTTE IN WINGEBIED, SCHIP, STRAND EN SUPPLETIE

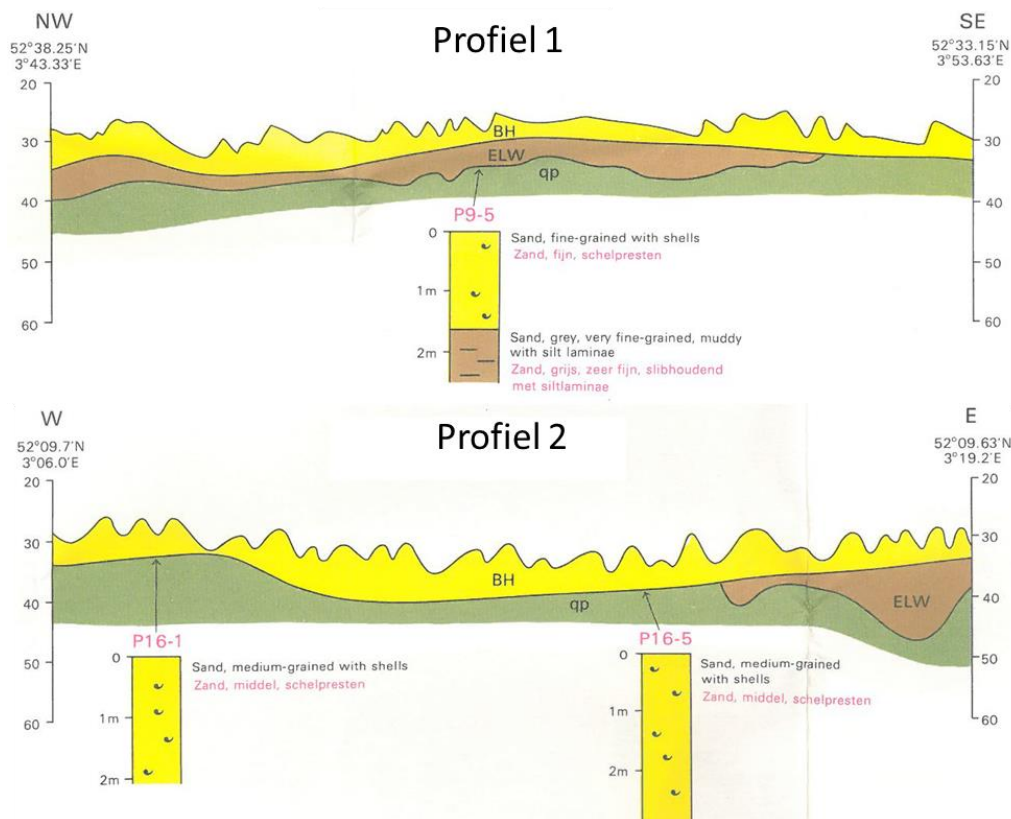
2.1 Inleiding

Hieronder volgt een overzicht van de processen die de korrelgrootte van het zand in het wingebied van het zand, de beun van het schip en de vooroever en het strand bepalen.

2.2 De korrelgrootte in de wingebieden

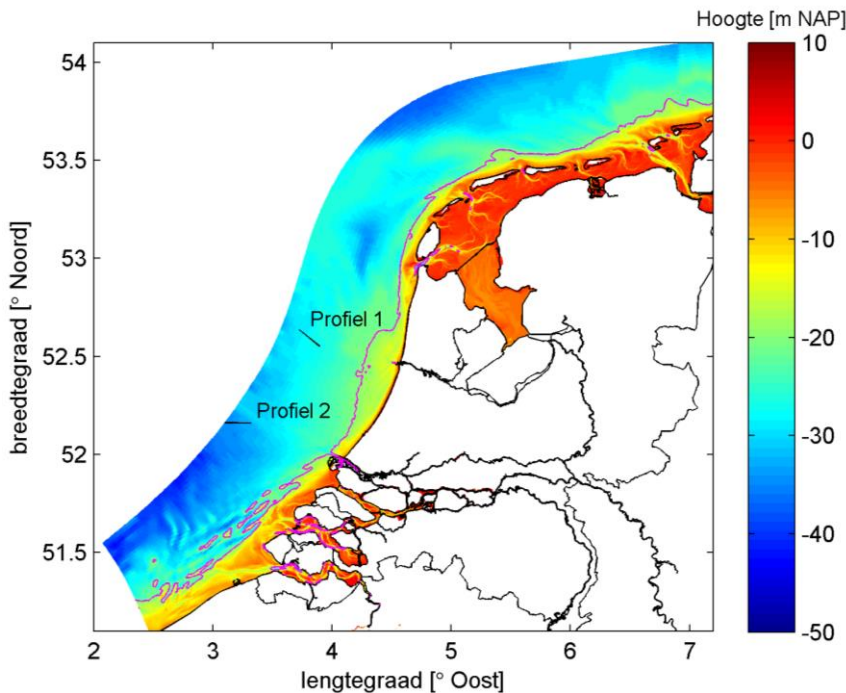
De zandwingebieden in het NCP liggen buiten de doorgetrokken NAP -20 m lijn langs de Nederlandse kust, van Zeeland tot de Wadden. De opbouw van de ondergrond in de zandwingebieden is in hoofdlijnen gelijk, met een aan de bovenzijden de 'actieve' laag en daaronder oudere geologische lagen. Een meer gedetailleerde beschrijving van de geologische opbouw van de Noordzee en van de Zandwingebieden staat in Blauw et al., (2017).

De 'actieve' laag is de laag sediment die door de processen in de Noordzee (getijdestroming, stormgolven en doorgraving door organismen) is gemengd. Er staat 'actief', omdat het sediment niet elke dag in beweging is, de mate en diepte van omwerking is afhankelijk van de intensiteit van de verschillende processen. In geologische dwarsdoorsneden van de Noordzeebodem wordt de 'actieve' laag aangeduid met de naam "Bligh bank" formatie (gele laag met indicatie 'BH' in Figuur 2).



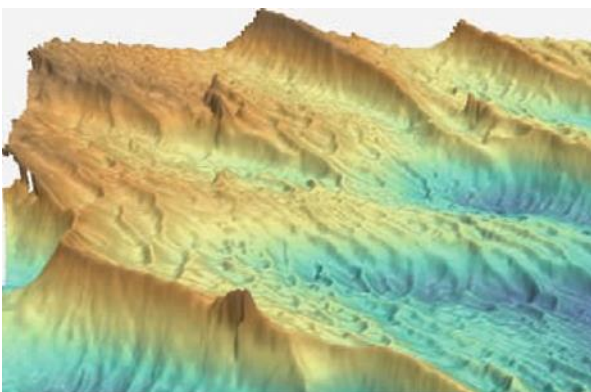
Figuur 2 Geologie van een tweetal profielen voor de Hollandse kust. (zie figuur 3 voor ligging, profielen overgenomen uit BGS&RGD, 1984).

De samenstelling van de bodem varieert en dit geldt zowel voor de actieve laag, als voor de oudere lagen daaronder. De samenstelling van de actieve laag varieert in de Noordzee doordat de oorspronkelijke sedimentsamenstelling in verschillende delen van de Noordzee anders is (het sediment is omgewerkt door de Noordzee, maar oorspronkelijk gevormd door andere processen) en bijvoorbeeld doordat de aanrijking met schelpen verschilt. Ook binnen de actieve bodemlaag varieert de sedimentsamenstelling, zeker daar waar bodemvormen aanwezig zijn waarbij sortering plaatsvindt over de hoge en lage delen van de bodemvormen (figuur 4).



Figuur 3 Bathymetrie van de Nederlandse kust met daarbij aangegeven de ligging van de geologische profielen uit figuur 2. De paarse lijn geeft de fysiek -20 m NAP contour weer.

Welke oudere geologische laag onder de actieve laag ligt, is afhankelijk van de geologische ontwikkeling die het betreffende gebied heeft doorgemaakt. Onder geologische ontwikkeling verstaan we in dit geval welke lagen er zijn gevormd, maar ook welke er weer zijn opgeruimd. Het voert te ver voor deze rapportage om in te gaan op de wordingsgeschiedenis van de Noordzee, maar we noemen enkele voorbeelden om te verduidelijken welke verschillen het betreft en wat de gevolgen voor de sedimentsamenstelling kunnen zijn.



Figuur 4 Bodemvormen in de Noordzee (bron: Oyen e a., 2013). Schaal aanduiding ontbreekt, maar merk op de superpositie van bodemvormen, waarbij schaalniveaus variëren van ribbels met golflengtes en golfhoogtes van resp. decimeters en centimeters tot getijdebanks met golflengtes en golfhoogtes van resp. kilometers en meters.

In de zuidelijke helft van de Noordzee, ruwweg ten zuidwesten van Hoek van Holland ligt relatief dicht onder de zeebodem zand en een beetje grind dat is afgezet door vlechtende riviersystemen in de laatste ijstijd (Formatie van Kreftenheye). De ruime aanwezigheid van dit type zand in dit gebied is het gevolg van de loop die de rivieren in de ijstijd volgden. In de rest van de Noordzee is dit sediment minder of geheel afwezig. De aanwezigheid van deze rivierafzettingen zijn uitgebreid bestudeerd vanwege hun gunstige eigenschappen voor het gebruik als beton- en metselzand (PIA, 2004).

Ten westen van de Zuid- en Noord-Hollandse kust, tussen hoek van Holland en Camperduin liggen op verschillende plekken Holoceen klei en zand dat in getijdegeulen is afgezet. Oorspronkelijk (enkele duizenden jaren geleden) lag een veel dikker pakket van dit type sediment langs een veel groter deel van de kust, maar het overgrote deel is geërodeerd tijdens het terugschrijden van de kust. Alleen de diepste ingesneden getijdegeulen zijn bewaard gebleven op de Noordzee (Rieu et al., 2005).

Ten noorden van de Waddeneilanden heeft, net als grote delen van het noorden van Nederland, in de voorlaatste ijstijd landijs gelegen. Daardoor komen in dit deel van de Noordzee afzettingen voor die samenhangen met de aanwezigheid van het landijs.

De korrelgrootte van het sediment varieert, zowel in de horizontaal door de gehele Noordzee, als in de verticaal. Dat laatste betekent dat de gemiddelde korrelgrootte van een ondiepe winning anders kan zijn dan van een diepe winning, omdat dan in de verticaal lagen met een andere samenstelling kunnen worden aangesneden.

2.3 De korrelgrootte in de beun van het schip

Bij zandwinning wordt het zand uit het wingebied opgezogen en in het laadruim van het schip geborgen. Dat laadruim wordt bij deze schepen ook wel beun of hopper genoemd. Het zand in de beun van het schip heeft niet noodzakelijkerwijs dezelfde korrelgrootte als het zand in het wingebied, vanwege verschillende processen tijdens de winning. Zandwinning in de Nederlandse kustzone wordt uitgevoerd door sleepopperzuigers, die al varend het sediment (met water) opzuigen van de bodem en in hun beun of hopper opslaan. Een sleepopperzuiger is voorzien van een of twee zuigbuizen aan de buitenzijde van het schip, met aan het eind van iedere zuigbuis een sleepkop (Figuur 5). De sleepkop dient om het op te zuigen materiaal los te maken en voor de zuigmond te brengen. De laagdikte die een sleepopper per werkgang kan ontgraven is onder andere afhankelijk van de eigenschappen van het zand, het type sleepkop en de vaarsnelheid. Deze laagdikte kan variëren van enkele centimeters tot circa een halve meter. De sleepopperzuiger baggert al varend met een snelheid van 4 à 7 km/u (2 à 4 knopen).

Het opgezogen sediment wordt met het opgezogen water als mengsel de beun ingeperst, waar het zand vervolgens de gelegenheid krijgt om te bezinken. De grofste deeltjes met de hoogste valsnelheden zullen als eerste bezinken, terwijl de fijnste deeltjes langer in suspensie blijven. Overigens verloopt in werkelijkheid het bezinkproces in de beun beduidend complexer dan deze eenvoudige beschrijving, omdat sprake is van een sediment-watmengsel met hoge dichtheden, waarin de interactie tussen de korrels een belangrijke rol gaat spelen. Voor het begrip van de sortering in de beun is dit minder belangrijk en volstaat het beeld van de grove en fijne deeltjes. De fijne fractie die niet bezinkt in de beun tijdens het winnen (zeer fijn zand en slib) vloeit samen met het water terug in zee en dit wordt het overvloeiverlies genoemd. Naarmate de beun voller wordt, zal het overvloeiverlies toenemen. Het meest voorkomende overvloeisysteem is een systeem met verstelbare overvloeikers, waarbij de hoogte van de overvloed in de loop van het laadproces wordt aangepast. Via overvloed stroomt sediment terug in zee.

Als het laadruim vol is, wordt gestopt met het zuigen en wordt(en) de sleepkop(pen) van de zeebodem opgehaald. De sleepopperzuiger vaart vervolgens naar de suppletielocatie langs de kust om het zand te lossen.

Het belangrijkste proces waarbij selectie op basis van de korrelgrootte van het opgezogen sediment plaatsvindt is dat van het overvloeiverlies. De grovere korrels zullen relatief snel bezinken in de beun van het schip en komen niet in de overvloed terecht. De fijne deeltjes zullen in het water blijven zweven en spoelen mee overboord met de overvloed. Het gevolg van dit proces is dat in de beun van het schip minder fijn

sediment zit dan in het gebied waar het materiaal is opgezogen. In de beun zal de korrelgrootte daarom grover zijn dan in het wingebied.



Figuur 5 Foto van de zuigkop van een sleehopperzuiger: de Interballast I aan de kade in Breskens, 23/12/2014.

In theorie kan ook tijdens opzuigen nog enige selectie optreden van de korrelgroottes, omdat fijn sediment makkelijker wordt opgezogen dan grof sediment. In de praktijk zal dit effect niet optreden, omdat de ingezette pompcapaciteit voldoende is voor het opzuigen van het gehele mengsel. Een duidelijk voorbeeld van het vermogen om ook grove delen van de zeebodem op te zuigen is de aanwezigheid van zwerfkeien in het suppletiezand op Texel (van der Meulen, 2004).



Figuur 6 Overvloei uit de beun van een kleine sleehopperzuiger (gemarkeerd door oranje-gestippelde lijn).

2.4 De korrelgrootte in suppleties op de vooroever en het strand

Bij het aanbrengen van suppleties wordt het zandwatermengsel uit de beun van het schip op de plek van bestemming gebracht. Het aanbrengen verloopt verschillend voor strand- en vooroeversuppleties.

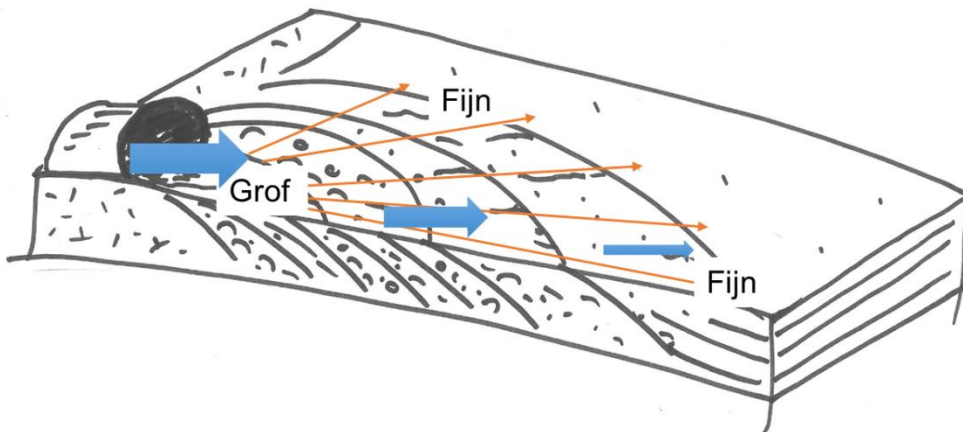
Strandsuppleties worden aangebracht op het droge en deels natte deel van het strand. Vanuit de beun van de sleephopperzuiger wordt het zandwatermengsel in een leiding gepompt. De leiding loopt tot op het strand en daar stroomt het zandwatermengsel uit de pijp (Figuur 7). Aansluitend wordt het zand geëgaliseerd en verdeeld door shovels over het strand en worden de persleidingen verlegd.



Figuur 7 Foto van een strandsuppletie bij Hoek van Holland, waarbij het zandwatermengsel met grote kracht op het strand wordt gespoten, waarna het water afstroomt naar de zee. De bulldozer leidt de stroming in goede banen en verdicht het zand (opname 2007, bron: <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat / Harry van Reeken)

Bij het aanbrengen van een strandsuppletie vindt sortering van de korrels plaats, waarbij laagjes en pakketjes met meer fijne en meer grove korrels worden gevormd. De sorteringsprocessen treden op tijdens het uitstromen van het mengsel van zand en water uit de pijpleiding het strand op. De grootste stroomsnelheden treden op bij de monding van de pijp en naarmate het water verder uitstroomt en uitwaaiert nemen de stroomsnelheden af. In de pijp en aan het uiteinde ervan zijn de stroomsnelheden dermate hoog dat alle korrels in suspensie blijven. Bij het afnemen van de stroomsnelheden zullen de grofste korrels eerst bezinken – vlakbij de monding van de pijp- en de fijnste het laatst – verder weg van de pijp. De verdeling van de korrelgroottes die dit oplevert lijkt een beetje op de verdeling die wordt aangetroffen bij de delta's. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 8.

Omdat de positie van de pijp steeds wordt aangepast, om zo het zand overal op het strand te suppleren verschuiven ook de plekken waar de grove en de fijne korrels komen te liggen. Op sommige plekken kunnen daarom grove laagjes op fijne laagjes komen te liggen en op andere plaatsen is dat omgekeerd. Ook complexere opbouwen zijn mogelijk, onder andere omdat het uitstromen uit de pijp geen continue proces is, maar opstart bij het aankoppelen van een sleephopperzuiger en uitdooft als deze leeg is.



Figuur 8 Schematische weergave van de uitstroming en korrelgrootteverdeling bij een strandsuppletie. De blauwe pijlen geven de afnemende stroomsnelheden weer, de oranje lijnen de gradiënt in de korrelgrootte, van grof naar fijn.

De processen die hierboven zijn beschreven, resulteren in een sortering van de korrelgroottes binnen de aangebrachte strandsuppletie en dit is een herverdeling van korrelgroottes. Dit leidt niet noodzakelijkerwijs tot een verandering van de gemiddelde korrelgrootte van het gesuppleerde sediment. Dat gebeurt wel als met het vrijkomende water ook wat fijn sediment en of zeer fijn sediment mee stroomt vanaf de suppletie. Net als bij het overloeverlies in de beun van het schip zou dit een vergroving opleveren van het resterende suppletiezand.

Vooroever- of onderwatersuppleties worden op de vooroever onderwater aangebracht, over het algemeen tussen de -5 en -7 m NAP. Een onderwatersuppletie wordt bij voldoende diepgang meestal aangelegd met behulp van klappen/kleppen: het zandwatermengsel stroomt dan uit bodemkleppen onder in het schip. Bij ondiepere gedeeltes wordt gebruik gemaakt van rainbowen, het zandwatermengsel wordt dan vanaf de boeg van het schip in de lucht gepompt, zodat het in een straal met een grote boog de gewenste locatie bereikt. Het ligt voor de hand dat tijdens het aanbrengen van het zandwatermengsel via kleppen of rainbowen de verschillende korrelgroottes op verschillende wijze getransporteerd worden, maar gegevens hierover zijn ons niet bekend. Net als bij strandsuppleties zou er sprake kunnen zijn van het verlies van enig fijn sediment, omdat dat langer in suspensie blijft en door de stroming weggevoerd kan worden bij de suppletie.

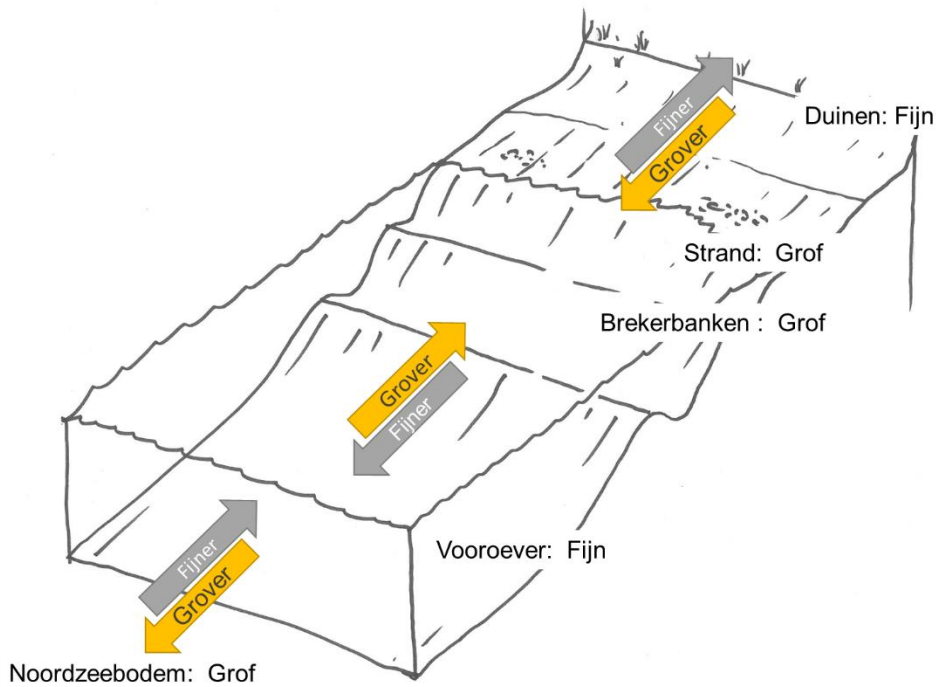
De korrelgrootte van het zand in een strand of onderwatersuppletie zal grover kunnen zijn dan het zand in de beun. Het is fysisch niet voorstelbaar dat het zand in strand- en onderwatersuppletie fijner wordt dan het zand in de beun³.

Direct na het aanbrengen van de zandsuppletie zullen de natuurlijke processen zorgen voor het transport en de herverdeling van het gesuppleerde zand. Deze processen zullen direct zorgen voor een herverdeling van korrels van verschillende grootte. Op het droge strand zorgt windtransport voor de selectieve afvoer van het fijne zand. Het grove materiaal blijft dan achter. Op het strand en op de onderwateroever zorgt de omwerking door golven en het transport door golven en stroming voor een herverdeling van grove en fijne korrels.

De omwerking en herverdeling van zand op het strand en op de onderwateroever vindt ook van nature plaats. De korrelgrootteverdeling op het strand, de duinen is schematisch weergegeven in Figuur 9. Langs de kust zijn de verschillen in korrelgrootte kleiner dan dwars op de kust. De grofste korrels worden aangetroffen in de omgeving waar de omwerking door golven het intensiefst is, dat zijn het lage strand en de binnenste brekerbanken. Op de diepere vooroever is het sediment fijner en ook het duinzand is fijner. Deze

³ Dat betekent niet dat uit metingen van de korrelgrootte van de suppletie en de beun niet zou kunnen blijken dat de suppletie een fijnere korrelgrootte heeft dan de beun. De monsternamen en de bepaling van de korrelgrootte kunnen namelijk dat soort verschillen opleveren.

schematische weergave van de korrelgrootteverdeling is onder andere gebaseerd op Van der Valk, (1992) en Guillen en Hoekstra (1996).



Figuur 9 Schematische weergave van de korrelgrootteverdeling op strand, vooroever en duin.

3 HET METEN VAN DE KORRELGROOTTE

3.1 Inleiding

Om de korrelgroottes van een zandmonster te inventariseren wordt vaak een discretisatie gemaakt in specifieke korrelgrootte klassen. Traditioneel worden de klassengrenzen en het aantal korrelgrootte klassen bepaald door de maaswijdte van de verscheidene zeven waarmee het monster gezeefd wordt. Zeven is echter allang niet meer de enige methode die gebruikt wordt voor het bepalen van korrelgrootteverdelingen. De valsnelheid en de optische eigenschappen van de korrels zijn eigenschappen van zand monsters die bij andere technieken worden toegepast. Ook zijn er technieken om in situ de bodemsamenstelling (en daarmee de korrelgrootte) te bepalen, zoals de MEDUSA (Multi-Element Detector system for Underwater Sediment Activity) techniek op basis van de natuurlijke radioactiviteit (e.g., Roberti, 2001). Elke meetmethode grijpt aan op andere eigenschappen van het sediment en kan derhalve bij hetzelfde sedimentmonster tot andere resultaten leiden. Ook de wijze waarop de bemonstering en voorbehandeling plaatsvinden, kan leiden tot verschillen in de resultaten. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de verschillende stappen voor het bepalen van de korrelgrootte.

3.2 Monstername

De monstername vindt voor het wingebied, de beun van het baggerschip, op de vooroever en op het strand op verschillende wijze plaats. De verschillen hebben met name te maken met de toegankelijkheid. In het wingebied en op de vooroever moet onderwater worden bemonsterd, vanaf een schip (in theorie kan ook door duikers worden bemonsterd, maar dit gebeurt sporadisch en wordt verder niet beschouwd). De beun van het baggerschip (of het zandwatermengsel dat in de beun wordt gepompt) wordt op het schip bemonsterd. Het strand is toegankelijk voor het zetten van (hand)boringen of bemonstering met een schep (o.i.d.).

Bemonstering vanaf schepen vindt plaats met een happersysteem (inclusief de boxcorer) en of met een steekbuissysteem (boring). Happers en boringen kunnen zowel in ondiep als diep water worden ingezet. De omvang van de boot, die mede wordt bepaald door diepgang, is doorslaggevend voor het type apparaat dat ter plekke kan worden ingezet. In de praktijk betekent dit dat lange boringen (langer dan ruwweg 2 m) tot dieper water (meer dan 12 m) beperkt zijn.

Het belangrijkste verschil tussen happers en boringen is de indringingsdiepte, die bij happers beperkt is. Zo heeft de veelgebruikte Van Veen happer bijvoorbeeld een maximale indringingsdiepte van ongeveer 0.25 m. Grote boxcorers kunnen de bovenste 50 cm van het sediment bemonsteren. Dit betekent dat met happers alleen de toplaag van het sediment bemonsterd kan worden. Een happersysteem is minder geschikt voor monsternamen in geval van de aanwezigheid van niet-geconsolideerd slib en stenen. Boringen kunnen veel dieper in het sediment doordringen, waarbij de daadwerkelijke einddiepte bepaald wordt door het boorsysteem. Veel gebruikte vibrocore boorsystemen op Noordzee de hebben een maximale einddiepte van twee tot zes meter. Een vibrocore apparaat trilt een holle buis de bodem in, zodat deze wordt gevuld met sediment. Als de vibrocore zijn einddiepte heeft bereikt wordt deze de bodem uit getrokken. Spoelboringen ("ro-flush") en steekboringen kunnen een grotere einddiepte bereiken. Spoelboringen betreffen boringen waarbij water met een spuitpomp onder druk in de boorbuis wordt ingebracht, terwijl de boorbuis wordt rondgedraaid met behulp van een boormotor. Het ingespoten water spoelt de grond los met behulp van de boorkop, waarna het sedimentmonster langs de boorbuis omhoog wordt gebracht. Een steekboring betreft een boring waarbij een buis met een scherpe rand de bodem in wordt geslagen of geduwd. Deze buis heeft een beperkte lengte, van enkele decimeters tot een meter. Als de buis is gevuld wordt deze omhoog gehaald en wordt een lege steekbuis ingebracht, waarna het proces wordt herhaald. Dit gebeurt binnen een omhulling, die samen met de buis steeds verder de bodem in wordt gewerkt. De maximale diepte van de boring wordt bepaald door de maximale lengte van de omhullende verbuizing die de bodem in kan worden gewerkt.

Over de verschillende happers- en boorsystemen wordt verder nog opgemerkt dat een onderscheid gemaakt kan worden in ongestoorde en gestoorde oftewel gemengde/geroerde boringen of happen. Ongestoorde

boringen of happen laten de structuren en geologische opbouw zien en geven daarmee veel inzicht in de opbouw van de ondergrond. Boxcorers (een mechaniek waarmee een box in het sediment wordt gedrukt en daarna met een klep wordt afgesloten), vibrocorers en steekboringen leveren ongestoorde monsters. Gemengde monsters, zoals die met bijvoorbeeld een Van Veenhapper worden verzameld, geven geen inzicht in structuren en geologische opbouw van de bodem. Spoelboringen, waarbij met water het materiaal naar boven wordt gebracht, leveren niet alleen gemengde monsters, maar hebben daarbij als nadeel dat al het fijne sediment wordt weggespoeld.

Bemonstering van de beun vindt plaats met een emmer onder de stortkoker of met een speciale happer uit het beun. Alternatieve methoden zijn bemonsteringen met een steekbuis of Edelmanboor. Voor een representatieve monsternamen zijn meerdere monsters verdeeld over de lengte van het schip en op verschillende hoogtes van de beun nodig, als gevolg van sorteringsprocessen in de beun. Vaak worden monsters genomen in een drietal raaien, één bij de boeg, één midscheeps en één bij het achterschip, waarbij per boring twee grepen worden genomen, één op 1 m diepte en één greep op 1 m van de onderzijde van de beun. Dit betreffen geroerde (=gemengde) monsters.

Bemonstering van zandsuppleties op het strand kunnen in het droge worden uitgevoerd. Met een handboorinstallatie (zuigbuis) kunnen monsters tot enkele meters worden verzameld. Met de schep kan de toplaag worden bemonsterd.

Het verzamelen van monsters voor korrelgroottebepalingen is arbeidsintensief en daarmee duur. Dat geldt in extreme mate voor bemonsteringen vanaf een schip, waarbij de kosten voor het schip en bemanning, de apparatuur en de mobilisatie sterk bijdragen aan de totale kosten. Het aantal monsters wordt daarom naast wettelijke verplichtingen mede bepaald door het beschikbare budget en niet noodzakelijkerwijs door de veronderstelde geologische opbouw en variatie van de ondergrond.

In algemene zin geldt dat het monster representatief dient te zijn voor de korrelgrootte-populatie ter plaatse. Hierop wordt bij de aanbeveling nader ingegaan.

3.3 Voorbehandeling

Voorbehandeling van de monsters voor de korrelgrootte kan verschillende stappen omvatten. Een deel van de stappen is puur functioneel, het is bijvoorbeeld bij bepaalde metingen belangrijk om grove deeltjes te verwijderen omdat anders het meetapparaat verstopt kan raken. Andere stappen hebben te maken met het (hoofd)doel van metingen. Als het hoofddoel van de monsters de chemische eigenschappen van het zand betreft, is het bijvoorbeeld zinvol om de kalkrijke en organische delen te verwijderen, omdat die een geheel afwijkende samenstelling hebben.

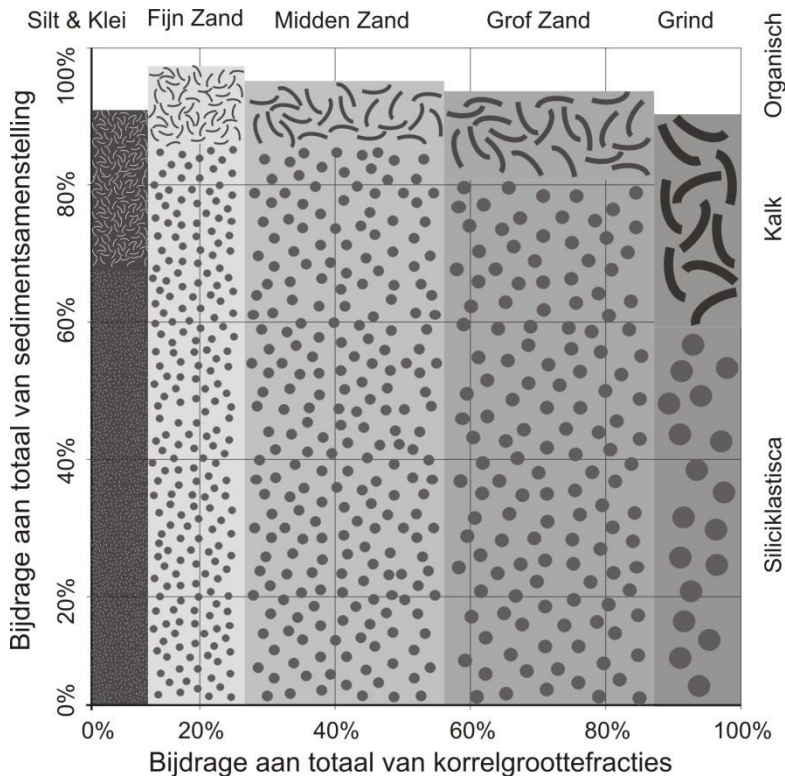
Vier mogelijke en algemeen voorkomende stappen in de voorbehandeling zijn:

1. Organische fractie verwijderen;
2. Kalkfractie verwijderen;
3. Afzeven van de grove fractie/ afzeven van de fijne fractie;
4. (Ultrasoon) schudden van het monsters.

Deze stappen worden hieronder beknopt toegelicht:

Organische fractie verwijderen

Het verwijderen van het organische materiaal kan plaatsvinden door het verhitten van het monster (> 500° C; < 900° C), of door het oplossen met waterstofperoxide. De organische fractie is vaak relatief rijk aanwezig in het fijne bereik (silt en klei) en in het grove bereik.



Figuur 10 Schematische weergave van een zandmonster (Figuur 1) na het verwijderen van de organische fractie.

Kalkfractie verwijderen

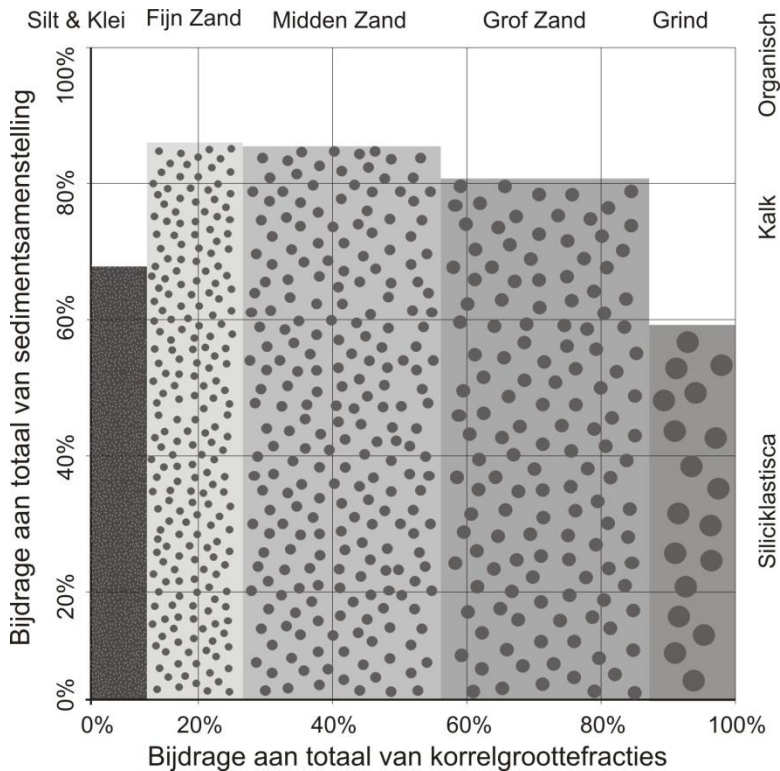
Het verwijderen van de kalkfractie gebeurt door een behandeling met zuur, waardoor de kalk wordt opgelost, of door het verhitten van het monster ($> 900^{\circ}\text{C}$). Alle schelpen en schelpfragmenten worden bij deze stap verwijderd. Bij monsters uit het mariene bereik heeft dit meestal consequenties voor het grove bereik van de monsters, omdat veel van de schelpen en schelpfragmenten tot de grovere delen behoren. Soms heeft de monsterbehandeling gevolgen voor de fijnste fracties, in die gevallen dat fijne kalkdeeltjes aanwezig zijn in het sediment.

Afzeven van de grove fractie/ afzeven van de fijne fractie

Afhankelijk van de meetmethode en –techniek wordt een deel van de fracties verwijderd. Een voorbehandelingsstap bij het bepalen van de korrelgrootte met droog zeven volgens NEN-EN 933-1 is bijvoorbeeld het nat afzeven van de fractie kleiner dan $63\ \mu\text{m}$. De voorbehandeling bij het bepalen van de korrelgrootte met een laser particle sizer bestaat uit het afzeven van de fractie grover dan een bepaalde maat (bijvoorbeeld 2 mm). Van de afgezeefde fracties wordt het drooggewicht bepaald en dit wordt aan de meetresultaten toegevoegd.

(Ultrasoon) schudden van het monsters

In sommige voorbereidingsprotocollen worden monsters in een ultrasoon bad voorbereid, of op een andere wijze geschud, zodat samengeklonterde deeltjes uiteen vallen. Het wel of niet uitvoeren van zo'n stap en de intensiteit en duur ervan kan invloed hebben op de gemeten korrelgrootte (Prins & Stuut, 1999). Met name bij de korrelgroottebepaling van cohesieve (klei) deeltjes en fragiele kalkdeeltjes (zoals schelpen van eencellige organismen) kan deze voorbereidende stap de korrelgrootteverdeling beïnvloeden.



Figuur 11 Schematische weergave van een zandmonster (Figuur 1) na het verwijderen van de kalkfractie en de organische fractie.

De crux van verschillende stappen in de voorbehandeling is dat deze een effect kan hebben op de korrelgrootteverdeling (zie bijvoorbeeld den Hartog en Spronk, 1997). Kalk en organisch materiaal is meestal oververtegenwoordigd aan de grove of juist de fijne zijde van de korrelgrootteverdeling. Door het materiaal te verwijderen verschuift de bijdrage van de verschillende klassen in het overgebleven materiaal. Het wel of niet schudden van de monsters kan ook een verschuiving in de korrelgrootteverdeling opleveren. Het afzeven van een grove of juist fijne fractie heeft niet direct een verschuiving van de korrelgrootteverdeling tot gevolg, maar betekent veeleer dat voor een deel van het monster een andere techniek wordt gebruikt dan voor het resterende deel.

De belangrijkste consequentie van de verschillende wijze van voorbehandeling is dat alleen resultaten waaraan eenzelfde voorbehandeling ten grondslag heeft gelegen, kwantitatief onderling vergeleken mogen worden. Als de voorbehandeling verschilt, is namelijk niet uit te sluiten dat verschillen in korrelgrootte tussen monsters (deels) zijn veroorzaakt door die voorbehandeling (Deltares, 2017).

3.4 Meten

Voor de daadwerkelijke meting van de korrelgrootteverdeling zijn verschillende methoden beschikbaar, waarbij hier een onderscheid wordt gemaakt in:

- Zeven;
- Diffractie;
- Gravimetrisch;
- Overige (Coulter principe, vergelijkend ..)

Zeven

Bij zeven wordt het monsters gezeefd over een set zeven met een afnemende maaswijdte. Dit kan zowel droog als nat gebeuren. Na afloop wordt gewogen hoeveel sediment op de betreffende zeef is blijven liggen.

Zeven is een geschikte methode voor de bepaling van de korrelgrootteverdeling van relatief grove monsters. De omvang en geometrie van de korrels zijn de factoren die bepalend zijn voor deze wijze van korrelgroottemeting.

DiffRACTIE

De korrelgrootte kan ook worden bepaald met laser diffractie analyse, waarbij een laserstraal geprojecteerd op het monster en het verstrooiingspatroon van de laserstraal wordt bepaald. Op basis van de verstrooiing wordt dan de korrelgrootte en de korrelgrootteverdeling berekend met optische modellen (Fraunhofer/Mie theorie). Dit is geautomatiseerd in laser-particle sizers, die door verschillende fabrikanten (Coulter, Malvern, Fritsch, ...) op de markt worden gebracht. De omvang en de refractie van de korrels zijn de factoren die bepalend zijn voor deze wijze van korrelgroottemeting.

Gravimetrisch

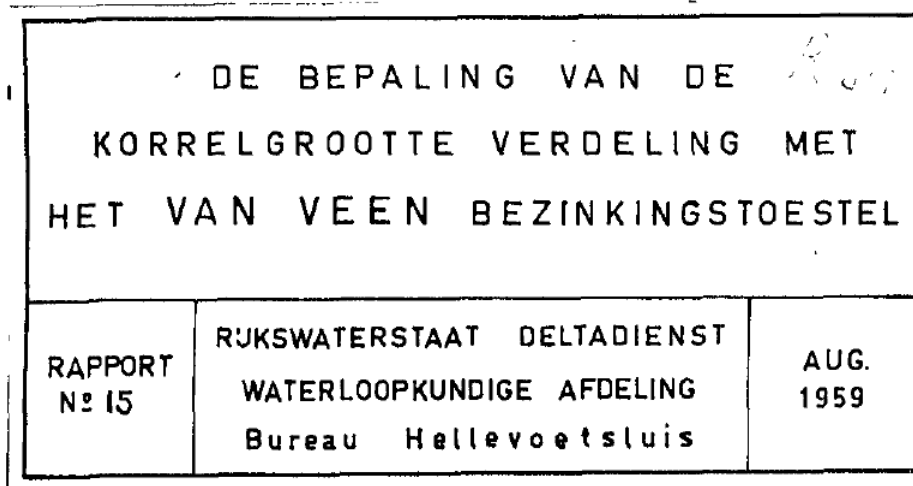
Bij gravimetrische methoden wordt gebruik gemaakt van de algemene eigenschap dat grotere korrels een grotere valsnelheid hebben dan kleinere korrels. De traditionele methode voor het bepalen van de korrelgrootte van de fijnste fracties omvat het inbrengen van het monster in een smalle koker gevuld met een vloeistof met een bepaalde temperatuur, waarbij de hoogte van de door bezinking vormende zandkolom na vaste tijdsverlopen gemonitord wordt. Dit wordt omgezet naar korreldiameter volgens bekende relaties. Als alternatief wordt tijdens het uitzakken van de suspensie met behulp van een pipet op een vaste hoogte na vaste tijdsverlopen de vaste stofconcentratie van een monster gemeten (uitgedrukt ten opzichte van de initiële concentratie). Deze concentratie geeft het percentage deeltjes waarvan de valsnelheid kleiner of gelijk is aan de uitzakkingslengte over de verstreken tijd. De korreldiameter wordt dan verkregen uit de wet van Stokes. Tegenwoordig is proces geautomatiseerd en wordt de concentratie bepaald door het meten van de transmissie van röntgenstralen (X-ray). Er bestaan ook grote valkolommen met een geïntegreerde en geautomatiseerde weegschaal waarin ook zandmonsters kunnen worden gemeten. De massa en wrijvingscoëfficiënt van de korrels zijn de factoren die bepalend zijn voor deze wijze van korrelgroottemeting.

Overige

Het vergelijken van monsters met korrelgrootte liniaal, al dan of niet met behulp van een vergelijkingsmicroscop, is een snelle methode om inzicht te krijgen in de karakteristieke korrelgrootte van een monster. Het levert geen inzicht in de korrelgrootteverdeling.

Het Coulter principe heeft betrekking op de invloed die een deeltje in een vloeistof heeft op de geleidbaarheid en dit is toegepast in de Coulter counters. In eerste instantie zijn deze apparaten gebruikt voor het tellen van kleine deeltjes (met name bloedcellen), maar later is het principe ook toegepast in voor korrelgroottebepalingen (Coulter Multisizer).

De verschillende methodes voor het bepalen van de korrelgrootte hebben betrekking op verschillende eigenschappen van de deeltjes. Dat maakt een onderlinge vergelijking van resultaten die met verschillende meetmethoden zijn verkregen lastig. Zelfs het bepalen van slibgehalten met dezelfde methode maar in verschillende laboratoria is lastig (Spronk & Bakker, 2012). Blijkbaar kunnen kleine verschillen in de procedure leiden tot verschillende resultaten. De onderlinge vergelijking en het opstellen van formules voor het omrekenen van de ene naar de andere methode is (al sinds jaar en dag: figuur 10) onderwerp van verschillende studies (o.a. Zonneveld, 1994, Zwarts, e.a. 2004). Deze analyses hebben geen eenduidige formule opgeleverd om korrelgrootteverdelingen om te rekenen en daarom is hier geen voorbeeld opgenomen van een dergelijke formule.



Figuur 12 Voorblad van een oud Rijkswaterstaat rapport waarin wordt "nagegaan in hoeverre de resultaten verkregen met het bezinkingstoestel van Van Veen vergelijkbaar waren met verschillende zeefanalyses".

3.5 Presentatie en definities

De weergave van de korrelgroottes gaat per klasse. Traditioneel worden de klassengrenzen en het aantal korrelgrootte klassen bepaald door de maaswijdte van de verscheidene zeven waarmee het monster gezeefd wordt. Tabel 1 geeft de zeefnamen en bijbehorende korrelgroottes weer. Van korrelgroottebepalingen met andere methoden worden de waardes omgerekend naar zeefklassen.

De korrelgroottes worden uitgedrukt in mm, μm en met behulp van de ϕ -schaal.

De ϕ -schaal wordt verkregen met de formule: $\phi = -2\log D$

met D de korrelgrootte in mm.

Let op: Een groot getal op de ϕ -schaal gaat over fijne korrels, terwijl kleine getallen op de ϕ -schaal betrekking hebben op grove korrels.

De gehanteerde grenzen in korrelgrootte classificaties volgen niet noodzakelijkerwijs de zeefklassen. Als voorbeeld is de Nederlandse classificatie volgens NEN 5104 getoond in Tabel 2. Er is een veelvoud aan classificaties beschikbaar, zowel in Nederland als internationaal. Het is daarom aan te bevelen om niet alleen de naam van de fractie te vermelden, maar ook de onder- en bovengrens van de betreffende fractie.

Zeefnaam	Korrel diameter ϕ	Korrel diameter mm
van Fijn		
63 μm	4	0.063
125 μm	3	0.125
250 μm	2	0.250
500 μm	1	0.500
1 mm	0	1.0

Zeefnaam	Korrel diameter ϕ	Korrel diameter mm
2 mm	-1	2.0
C4	-2	4.0
C8	-3	8.0
C16	-4	16.0

naar Grof

Tabel 1 Korrelgrootte in phi-schaal (ϕ) en mm en de corresponderende zeven volgens NEN 2560.

Fractie	Ondergrens	Bovengrens
	van Grof	
Zeer grof grind	16 - 63 mm	
Matig grof grind	5,6 - 16 mm	
Fijn grind	2 - 5,6 mm	
Uiterst grof zand	0,420 - 2 mm	
Zeer grof zand	300 - 420 μm	
Matig grof zand	210 - 300 μm	
Matig fijn zand	150 - 210 μm	
Zeer fijn zand	105 - 150 μm	
Uiterst fijn zand	63 - 105 μm	
Silt	2 - 63 μm	
Lutum	- < 2 μm	

naar Fijn

Tabel 2 Nederlandse korrelgrootte classificatie volgens NEN 5104.

De resultaten van korrelgroottebepalingen worden meestal weergegeven in een grafiek: op de x-as de korrelgrootte en op de y-as het cumulatieve gewichtspersentages per fractie, van fijn (links) naar grof (rechts). Deze weergave wordt de zeefkromme genoemd.

Naast de korrelgrootteverdeling worden verschillende afgeleide parameters gebruikt, waarin eigenschappen van de verdeling in één getal worden weergegeven. Hier worden enkele genoemd:

D50: De mediane korrelgrootte, dit is de waarde waarbij 50% van de korrels grover zijn dan D50 en 50% fijner⁴.

⁴ In verschillende analyse rapporten wordt de D50 de gemiddelde korrelgrootte genoemd, of wordt een onderscheid gemaakt naar de korrelgrootte van de zandklasse (gedefinieerd als het bereik 63 μm -2 mm) zijnde de D50 en die van al het sediment d50. Voor de zandmediaan wordt de notering M63 gehanteerd.

D60/D10: de gelijkmatigheidscoëfficiënt, waarbij de D60 de korrelgrootte waarde is bij de 60% cumulatief gewicht en de D10 de korrelgrootte waarde is bij de 10% cumulatief gewicht. Soms is deze gedefinieerd voor het gehele monster, terwijl deze soms specifiek voor de zandfractie wordt berekend (gedefinieerd als het bereik 63 μm -2 mm).

Het is belangrijk om bij ieder analyse rapport of analyseresultaat goed te bekijken welke definitie is gehanteerd voor de afgeleide waarden en voor de gehanteerde korrelgrootteklassen, zodat niet per ongeluk verschillend gedefinieerde getallen met elkaar worden vergeleken.

4 KORRELGROOTTEGEGEVENS

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk staan de resultaten van de korrelgroottegegevens van de wingebieden, de beun van het schip en de strandsuppleties. De monsternamen en analyse van korrelgroottes heeft plaatsgevonden voor verschillende doeleinden. In de opnamegebieden worden boringen uitgevoerd om vast te stellen waar zand aanwezig is dat bruikbaar is voor het uitvoeren van zandsuppleties en of er stoorlagen (veen, klei) aanwezig zijn die beperkingen opleveren voor de winning. Wettelijk verplicht vanwege het Besluit Bodemkwaliteit (BBK) zijn boringen voor het uitvoeren van chemische analyses, om aan te tonen dat geen verontreinigingen in het materiaal aanwezig zijn en waarbij bepaald of en hoeveel slib aanwezig is dat door aanhechting verontreinigingen kan bevatten. Ook vanwege vergunningen Ontgrondingenwet (OG-wet) kan een verplichting tot bemonstering zijn opgenomen. De beun van de baggerschepen die zandsuppleties uitvoeren worden omdat dit is voorgeschreven in de ontgrondingsvergunning. Van het strand en de duinen zijn verschillende projectbemonsteringen uitgevoerd, waarbij de doelstellingen variëren van ecologische tot veiligheid tegen overstromingen.

4.2 Analyse

4.2.1 Data wingebied

De korrelgroottegegevens van de wingebieden zijn opgenomen in rapporten, waarin ook de boorlocaties en boorbeschrijvingen zijn opgenomen. Deze rapporten zijn beschikbaar bij Rijkswaterstaat. De metagegevens van de bemonstering van de wingebieden is compleet.

Een overzicht van de zandwingebieden behorend bij de beunmonsters waarvoor korrelgroottegegevens beschikbaar zijn (periode 2009-2011) is weergegeven in Tabel 3 (eerste kolom). De ligging van deze winkavels langs de Nederlandse kust is weergegeven in Figuur 11. De coördinaten hiervan zijn gebaseerd op verzamelde bronnen (vergunningen/beschikkingen; Tabel 3, tweede kolom). De bestemming van de beunladingen uit deze wingebieden is opgenomen in de vierde kolom van Tabel 3.

Om de koppeling te maken tussen het wingebied, de bemonstering van de beun en de suppletie moet van de gegevens uit verschillende bronnen duidelijk worden waar het zand voor welke suppletie is gewonnen. In de tot ons beschikking gestelde beungegevens wordt bij elk zandmonster melding gemaakt van een zogeheten 'zuigcode'. Dit betreft de code van het bijbehorende zandwingebied. In sommige gevallen blijkt de koppeling tussen wingebied, beun en suppletie complexer te zijn dan de gegevens doen vermoeden, omdat naar andere wingebieden is uitgeweken. De reden voor een dergelijke verandering is dat de sedimentsamenstelling in het oorspronkelijk aangewezen wingebied niet voldoet voor het uitvoeren van een suppletie. Deze informatie is beschikbaar in de contractgegevens voor de betreffende suppletie. Een mondelinge toelichting van Rijkswaterstaat is aanbevolen om te verifiëren of het juiste wingebied aan de goede beungegevens en zandsuppletie is gekoppeld.

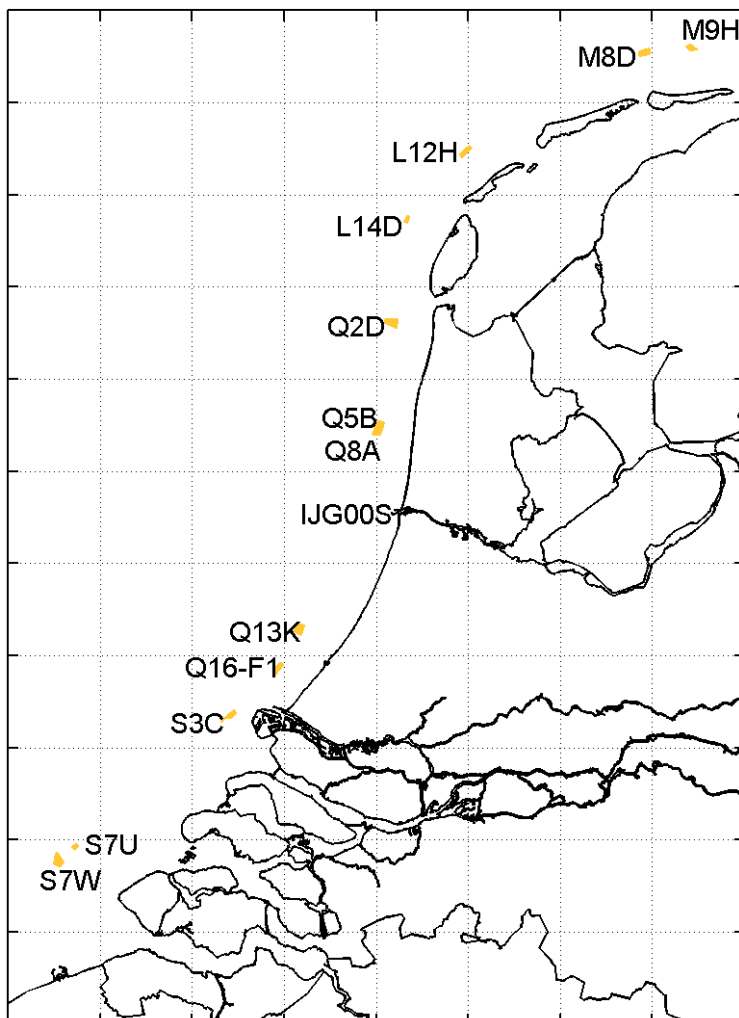
Code wingebied	Bron	Jaartal winning	Suppletie locatie
S7W	Vergunningenbank, bijlage 1 bij besluit DRZW/2009	2009	Strandsuppletie Walcheren en Zeeuws-Vlaanderen
S7U	Vergunningenbank, bijlage 1 bij besluit DRZW/2010	2010-2012	Strandsuppletie Domburg (Noord West Walcheren)

Code wingebied	Bron	Jaartal winning	Suppletie locatie
S3C	Beschikking Ministerie van Verkeer en Waterstaat WSV/2186	2008-2009	Primaire waterkering kust bij Voorne
Q16-F1	Beschikking Ministerie van Verkeer en Waterstaat VENW/IVW-2010/11144	2010-2015	Zandmotor Delflandse kust
Q13K	Beschikking Ministerie van Infrastructuur en Milieu	2013-2015	Project Kustwerk Katwijk
IJG00S	(Onderhoud vaarweg)		Strandsuppletie Heemskerk
Q8A	Vergunningenbank, bijlage 1bij besluit DRZW/2010-3204	2010-2012	Strandsuppletie Heemskerk
Q5B	Vergunningenbank, bijlage 1bij besluit DRZW/2010-3204	2010-2012	Strandsuppletie Heemskerk
Q2D	Beschikking Inspectie Verkeer en Waterstaat	2009-2011	Strandsuppletie zuidwest kust Texel
L14D	Vergunningenbank, bijlage 1bij besluit DRZN08-1645/MT/HG	2008	Vooroeversuppletie kust van Texel/Eierlandse Dam
L12H	Vergunningenbank, bijlage 1bij besluit DRZN08-1644/MT/HG	2008	Vooroeversuppletie kust van Vlieland
M8D	Vergunningenbank, bijlage 1bij besluit DRZN/2009-3483	2010-2011	Strandsuppletie Ameland West
M9H	Vergunningenbank, bijlage 1bij besluit DRZN/2009-3487	2010-2011	Strand- en vooroeversuppletie Ameland Midden
S7W	Vergunningenbank, bijlage 1bij besluit DRZW/2009	2009	Strandsuppletie Walcheren en Zeeuws-Vlaanderen
S7U	Vergunningenbank, bijlage 1bij besluit DRZW/2010	2010-2012	Strandsuppletie Domburg (Noord West Walcheren)
S3C	Beschikking Ministerie van Verkeer en Waterstaat WSV/2186	2008-2009	Primaire waterkering kust bij Voorne
Q16-F1	Beschikking Ministerie van Verkeer en Waterstaat VENW/IVW-2010/11144	2010-2015	Zandmotor Delflandse kust
Q13K	Beschikking Ministerie van Infrastructuur en Milieu	2013-2015	Project Kustwerk Katwijk
IJG00S	(Onderhoud vaarweg)		Strandsuppletie Heemskerk
Q8A	Vergunningenbank, bijlage 1bij besluit DRZW/2010-3204	2010-2012	Strandsuppletie Heemskerk
Q5B	Vergunningenbank, bijlage 1bij besluit DRZW/2010-3204	2010-2012	Strandsuppletie Heemskerk

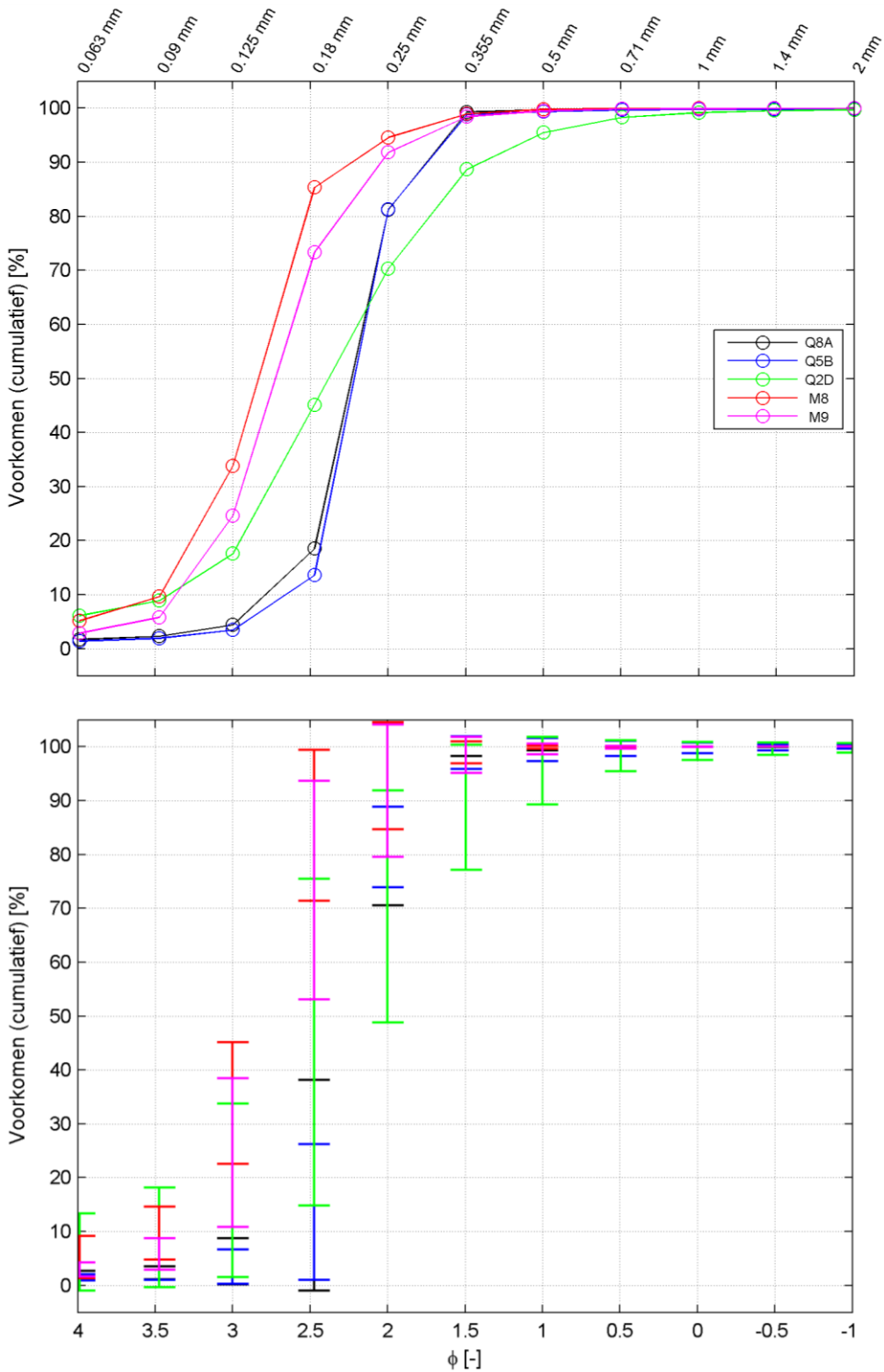
Tabel 3 Overzicht wingebieden-code (kolom 1), bijbehorende vergunning van zandwinning (kolom 2), jaartal van zandwinning (kolom 3) en locatie waar de suppletie heeft plaatsgevonden (kolom 4).

Figuur 14 toont de korrelgrootteverdeling voor monsters uit vijf wingebieden in het NW/NO deel van Nederland, steeds gemiddeld over de beschikbare monsters in het betreffende wingebied. Deze data is ontleend aan het Arcadis rapport, 2010 (D03011/WA9/044/006005). De boorstaten die in dat rapport zijn opgenomen vermelden een beschrijving volgens NEN 5104 waarbij zand- en grindgehalten door middel van natte zeving zijn bepaald en de fijne fractie ($< 63 \mu\text{m}$) middels een sedigraaf. Het kalkgehalte is niet bepaald en organisch stof wordt niet genoemd, hetgeen indiceert dat het monster niet is voorbehandeld (verder wordt melding gemaakt van mengmonsters die zijn samengesteld voor chemisch onderzoek).

Uit deze dataset blijkt dat de gemiddelde D50 varieert tussen ongeveer 150 en 210 μm in deze wingebieden, waarbij de noordoostelijke wingebieden (M8, M9) duidelijk fijner zijn dan de meer centraal gelegen Q8A en Q5B wingebieden (Figuur 14). Tevens is de verdeling in de M8 en M9 wingebieden uniformer vergeleken met de Q8A en Q5B wingebieden (vergelijk steilheidsverloop van de krommen in Figuur 14).



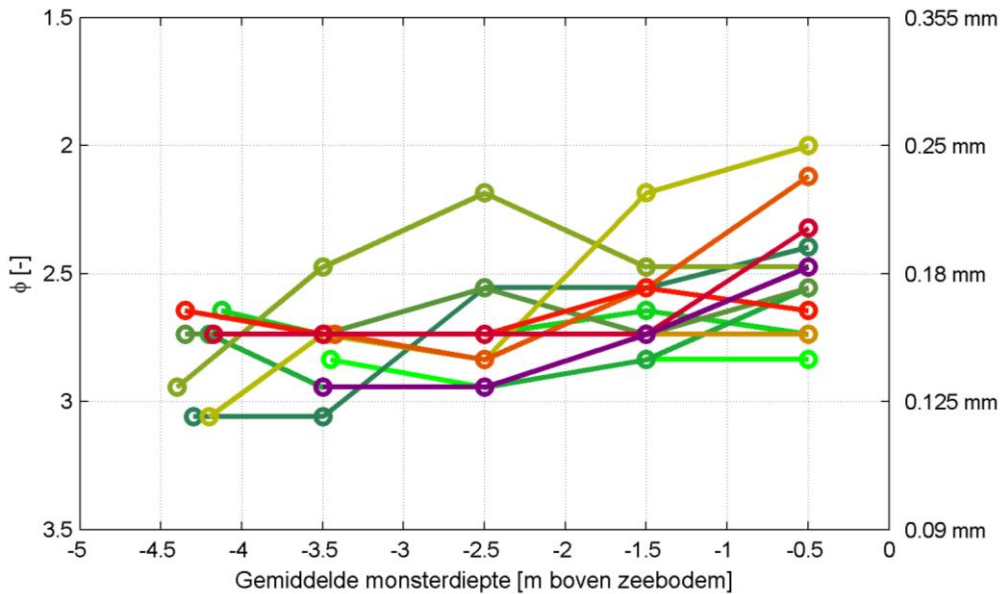
Figuur 13 Overzicht ligging wingebieden (coördinaten van wingebied volgen uit Arcadis, 2009) langs de Nederlandse kust. Zie Tabel 3 voor jaartal van suppletie.



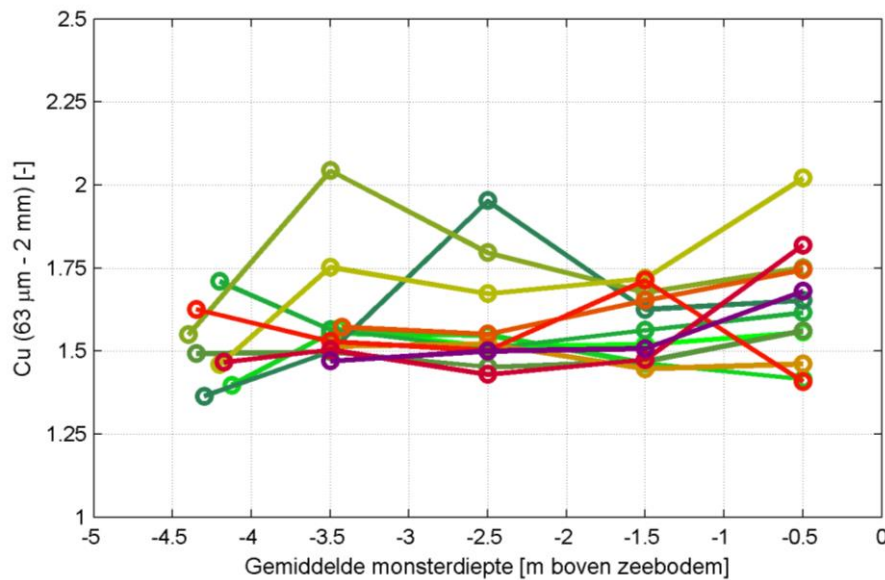
Figuur 14 Korrelgrootteverdeling voor monsters uit 5 wingebieden in het noordwestelijk en noordoostelijk kustgebied. Boven: de percentielwaarden per wingebied (gebaseerd op 24, 36, 49, 24 en 56 monsters voor respectievelijk Q8A, Q5B, Q2D, M8 en M9 wingebieden). Dit betreft gemiddelde waarden; de weergegeven lijnen zijn lineaire interpolaties tussen deze punten. Onder: de bijbehorende spreiding van de percentielwaarden, hier weergegeven als respectievelijk het gemiddelde plus en minus één standaard deviatie.

Om na te gaan of een verband bestaat tussen de korrelgrootte en monsterdiepte hebben we de beschikbare gegevens gesorteerd op monsterdiepte (Figuur 15; hierin stelt elk gekleurd lijntje een boring voor). Deze gegevens hebben betrekking op wingebied M9; in de overige gebieden reiken de boringen niet diep genoeg

om uitspraak te kunnen doen over een mogelijk verband tussen korrelgrootte en monsterdiepte. In Figuur 15 zijn twee aspecten waarneembaar. Ten eerste neemt de korrelgrootte in het algemeen af met toenemende diepte, hetgeen verklaard wordt door de geologie van het wingebied (Sectie 2.2). Ten tweede toont de korrelgrootte meer variatie voor monsters die ondiep zijn gestoken. Er blijkt geen duidelijk verband te bestaan tussen de gelijkmatigheidscoëfficiënt (D_{60}/D_{10}) van de zandfractie (gedefinieerd als korrelgrootte in het bereik $63 \mu\text{m} - 2 \text{mm}$) en de monsterdiepte (Figuur 16).

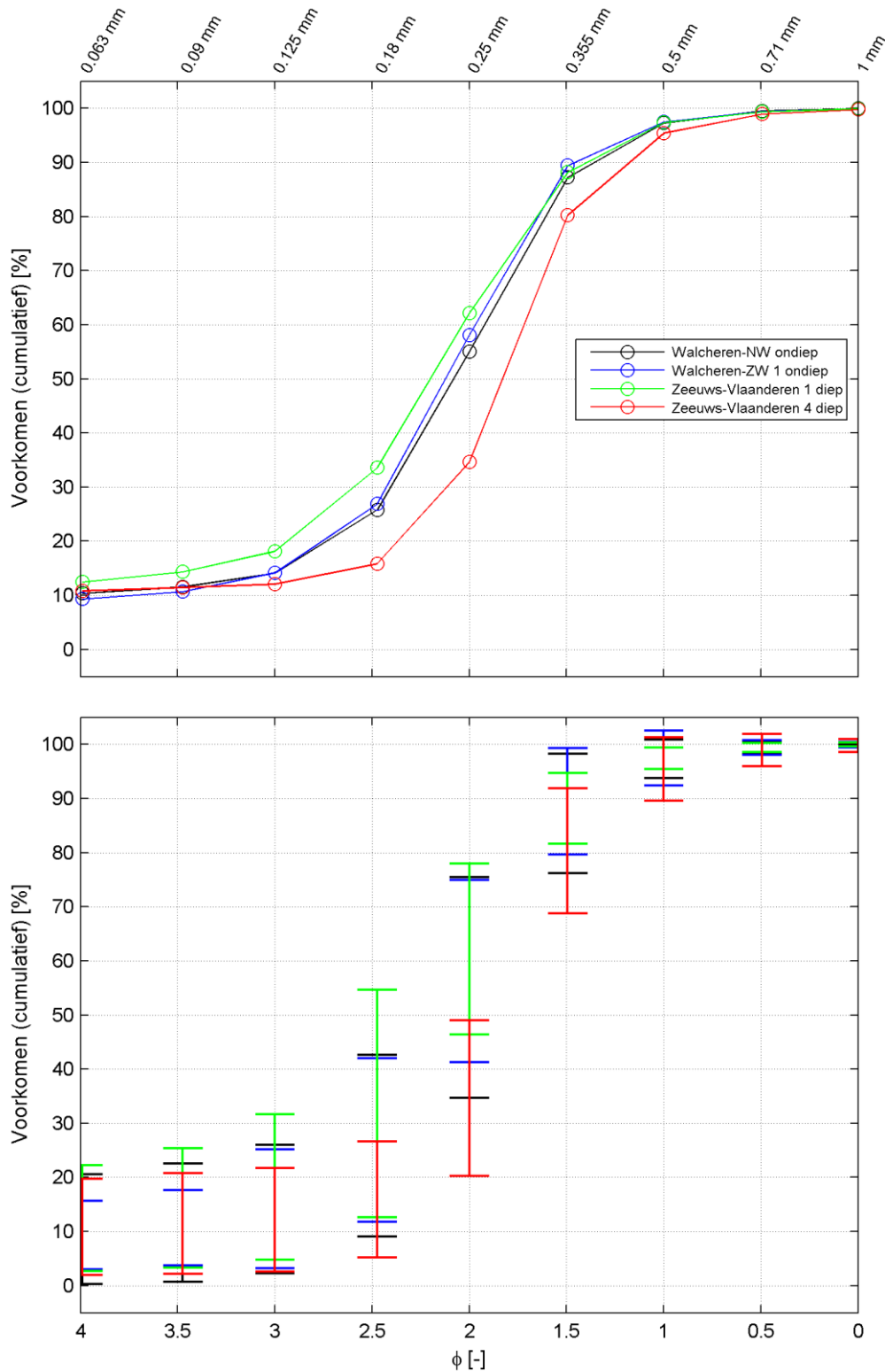


Figuur 15 Mediane korrelgrootte als functie van monsterdiepte in het M9 wingebied. D_{50} betreft waarde voor gehele korrelgrootteverzameling van monster. Elk gekleurd lijntje correspondeert met een boring.



Figuur 16 Gelijkmatigheidscoëfficiënt ($=D_{60}/D_{10}$) van de zandfractie ($63 \mu\text{m} - 2 \text{mm}$) als functie van monsterdiepte in het M9 wingebied. Elk gekleurd lijntje correspondeert met een boring.

Figuur 17 toont de korrelgrootteverdeling voor monsters uit vier wingebieden in het ZW deel van Nederland, steeds gemiddeld over de beschikbare monsters in het betreffende wingebied.

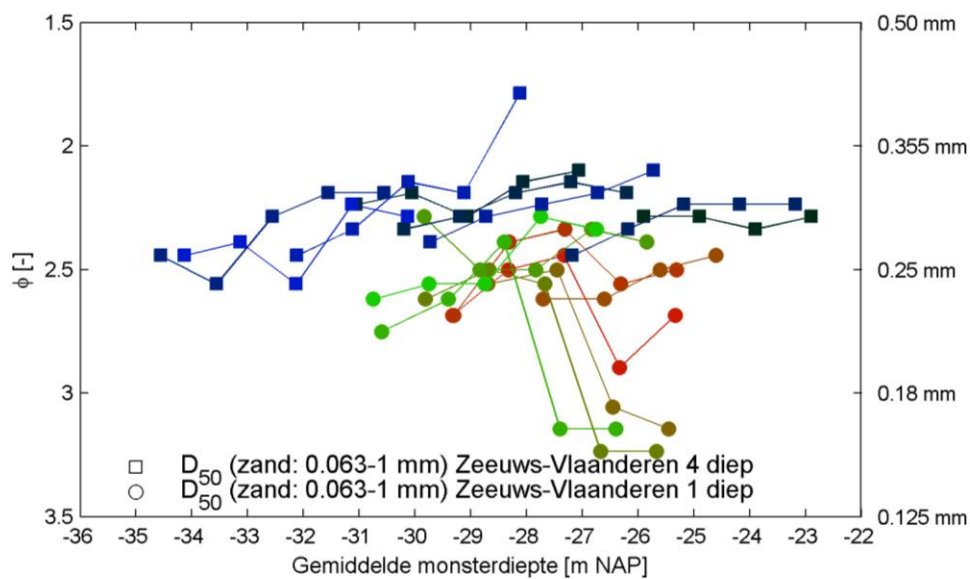


Figuur 17 Korrelgrootteverdeling voor monsters uit 4 wingebieden in het zuidwestelijk kustgebied. Boven: de percentielwaarden per wingebied (gebaseerd op 50, 64, 38 en 39 monsters voor respectievelijk Walcheren-NW ondiep, Walcheren-ZW-1 ondiep Zeeuws-Vlaanderen 1 diep en Zeeuws Vlaanderen 4 diep wingebieden). Dit betreft gemiddelde waarden; de weergegeven lijnen zijn lineaire interpolaties tussen deze punten. Onder: de bijbehorende spreiding van de percentielwaarden, hier weergegeven als respectievelijk het gemiddelde plus en minus één standaard deviatie.

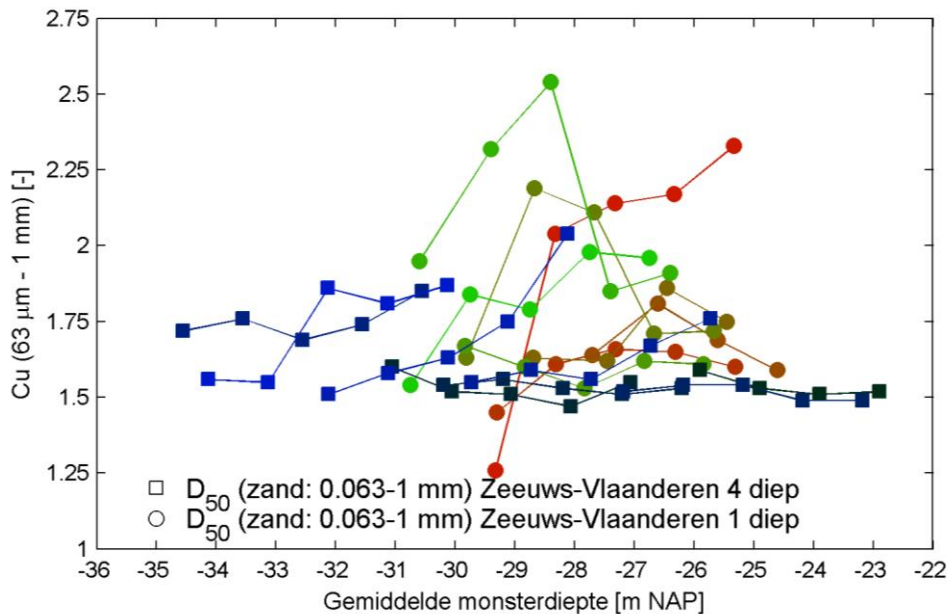
De data voor de wingebieden in het zuidwestelijke deel van het kustgebied is ontleend aan het rapport van Laban (2014, Marine Sampling Holland). Uit de daarin opgenomen boorstaten (met een beschrijving volgens NEN 5104) volgt dat zand- en grindgehalten door middel van natte zeving zijn bepaald en de fijne fractie (< 63 μm) middels een sedigraaf. Het kalkgehalte en het humus gehalte zijn niet bepaald, hetgeen indiceert dat

het monster niet is voorbehandeld (wel wordt melding gemaakt van chemische analyses, echter deze zijn niet opgenomen in het genoemde rapport). Opvallend is dat melding gemaakt wordt van een korrelgroottebepaling tot 2 mm, terwijl de getabelleerde waarden tot 1 mm gaan. Uit deze dataset blijkt dat de gemiddelde D50 varieert tussen ongeveer 210 en 300 μm in deze wingebieden (Figuur 17), waarbij de data in de twee ondiepe wingebieden zeer vergelijkbaar zijn. Tevens blijken de D50 waarden van deze wingebieden wat hoger te liggen dan die van de wingebieden in het NW/NO van Nederland, terwijl het percentage fijnste fractie ($< 63 \mu\text{m}$) hoger ligt in de eerstgenoemde wingebieden.

De wingebieden te Zeeuws-Vlaanderen liggen dieper dan andere gebieden, omdat de waterdiepte ter plaatse groter is. De boringen reiken daarom ook dieper (tot -35.1 m NAP). Uit deze data blijkt dat de mediane zanddiameter in het algemeen een verfijning laat zien met diepte onder de zeebodem, echter Zeeuws-Vlaanderen 1 toont op enkele plaatsen juist een vergroving met diepte (Figuur 18). Evenals voor de wingebieden in NW/NO Nederland blijkt geen duidelijk verband te bestaan tussen de gelijkmatigheidscoëfficiënt (D_{60}/D_{10}) van de zandfractie (gedefinieerd als korrelgrootte in het bereik $63 \mu\text{m} - 1 \text{ mm}$) en de monsterdiepte (Figuur 19).



Figuur 18 Mediane korrelgrootte als functie van monsterdiepte in Zeeuws-Vlaanderen 4 diep en Zeeuws-Vlaanderen 1 diep wingebieden. D_{50} betreft waarde voor korrelgroottes tussen $63 \mu\text{m}$ en 1 mm van het monster. Elk lijntje correspondeert met een boring.



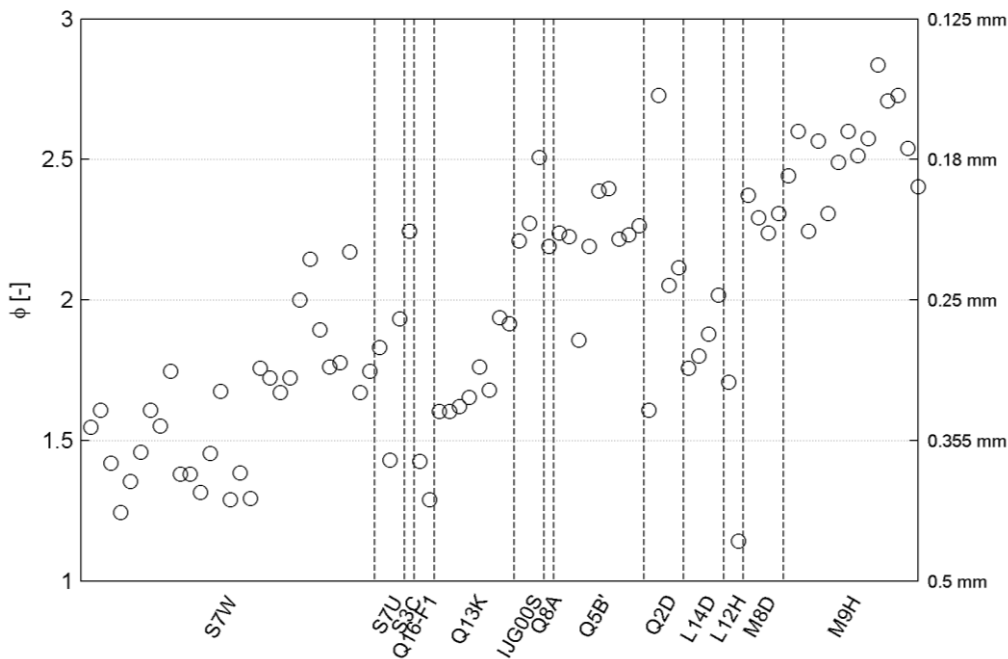
Figuur 19 Gelijkmatigheidscoëfficiënt (=D60/D10) van de zandfractie (63 µm - 1 mm) als functie van monsterdiepte in Zeeuws-Vlaanderen 4 diep en Zeeuws-Vlaanderen 1 diep wingebieden. Elk lijntje correspondeert met een boring.

De geologische informatie (boringen, happen) die is verzameld door de Geologische Dienst (of één van haar voorlopers), dan wel is aangeleverd door andere partijen wordt opgeslagen in de DINO-database. Deze gegevens kunnen worden opgevraagd en gebruikt. Deze gegevens zijn nog niet allemaal opgevraagd en de gegevens zijn niet opgenomen in de analyse. Het vereist een bewerkelijke analyse om de geschikte gegevens, waarvan zowel data als metadata beschikbaar is, uit de minder geschikte gegevens te filteren en de om te zetten naar bruikbare getallen.

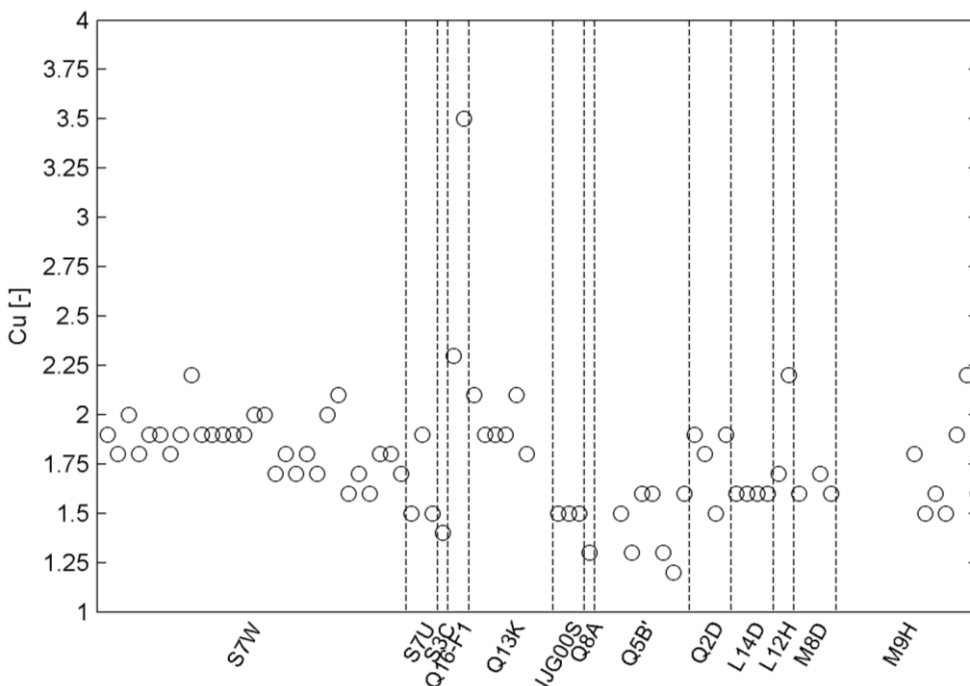
4.2.2 Data beun

De korrelgroottegegevens van de bemonsteringen in de beun van het schip zijn opgenomen in meetverslagen. In de meeste van deze rapporten is vermeld welke behandeling en bepaling heeft plaatsgevonden. Bij deze rapporten hoort een excel-spreadsheet, waarin de koppeling wordt gelegd tussen de naamgeving van de monsters in de datarapporten, het schip, de wingebieden (zuigcode) en bestemming (stortcode), de datum van de bemonstering, de reis van het schip. De metagegevens zijn met de combinatie van meetverslag en spreadsheet in vrijwel alle gevallen compleet.

De korrelgroottebepaling van de monsters heeft waarschijnlijk steeds plaatsgevonden volgens "proef 2 en 11 STD RAW 2010", oftewel zeef- en gravimetrische analyse. Figuur 20 toont de mediane korrelgrootte (D50) van de monsters genomen uit de verscheidene beunladingen uit de verscheidene wingebieden. Deze D50 is bepaald op basis van de gehele korrelgrootteverzameling van elk monster (ontleend aan Fugro rapporten 1609-0045-000, 1611-0068-000, waarbij wordt opgemerkt dat in de verklarende parameterlijst de vermelde D50 de mediane korrelgrootte betreft in plaats van de per abuis genoemde gemiddelde korrelgrootte). Zoals zichtbaar in Figuur 20 varieert de D50 tussen ongeveer $\phi=1$ (500 µm) en $\phi=3$ (125 µm). Ofschoon gepaard gaande met de nodige spreiding, bestaat een duidelijk grootschalig verband met geografische positie, waarbij de monsters fijner worden voor beunladingen uit wingebieden die in het meer noordoostelijke gedeelte van de Nederlandse kust gelegen zijn (Figuur 20). De gelijkmatigheidscoëfficiënt (D60/D10) laat daarentegen geen duidelijke trend zien langs de kust (Figuur 21). Mogelijk hebben andere parameters meer discriminerend vermogen, afhankelijk van de korrelgrootte-verdeling (bijvoorbeeld gericht op de kromming van de curve in hogere percentielen).



Figuur 20 Mediane korrelgrootte uitgedrukt als phi-waarde $= -\log_2(D_{50})$ met D_{50} in mm (gehele korrelgrootteverzameling van monster) van elk beunmonster, gesorteerd op wingebied (langs de Nederlandse kust, van ZW naar NO).



Figuur 21 Gelijkmatigheidscoëfficiënt $(=D_{60}/D_{10})$ van de gehele korrelgrootteverzameling van elk beunmonster, gesorteerd op wingebied (langs de Nederlandse kust, van ZW naar NO).

4.2.3 Beungegevens per scheepslading

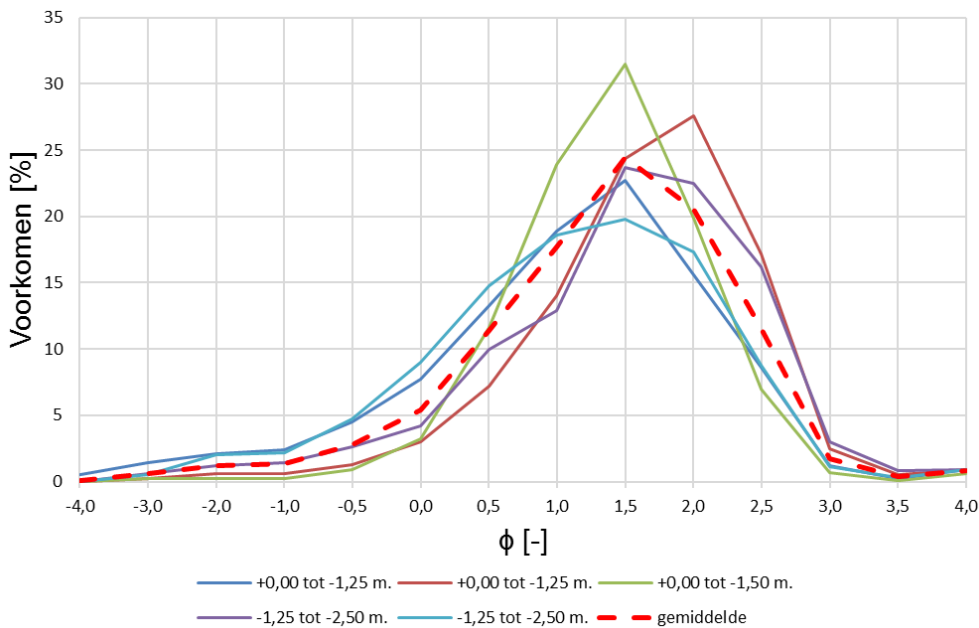
Bij de aanleg van Tweede Maasvlakte is van iedere scheepslading één monster genomen. Bij de versterking van de Hondsbossche en Pettemer Zeewering is van iedere scheepslading de korrelgrootte (d_{50}) bepaald en zijn van 45 scheepsladingen scheepslading vijf monsters genomen op verschillende dieptes, waarvan de korrelgrootteverdelingen zijn bepaald. Deze uitgebreide datasets geven de mogelijkheid om variatie in de

korrelgrootte in de beun te bepalen. Hiermee wordt duidelijker wat de waarde is van de incidentele korrelgroottebepalingen van de beun, zoals die voor de zandsuppleties worden uitgevoerd. Bij de zandsuppleties wordt over algemeen één monster per $500 \times 10^3 \text{ m}^3$ gewonnen zand genomen en geanalyseerd.

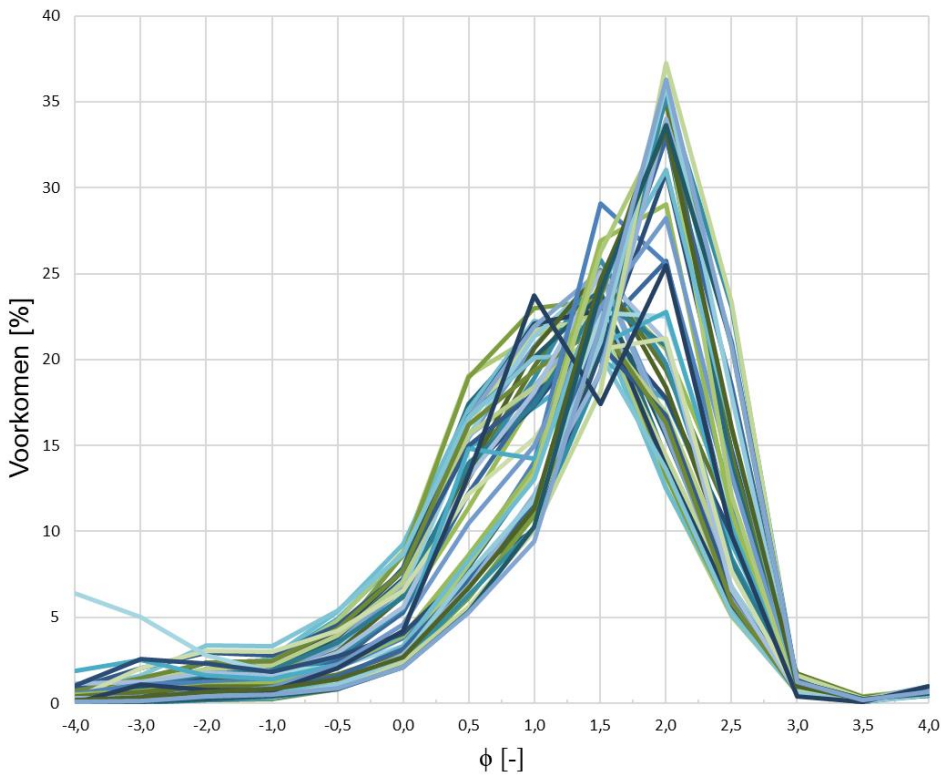
Hondsbossche en Pettemer Zeewering

De dataset met korrelgrootteverdelingen van de Hondsbossche en Pettemer Zeewering bestaat uit 45 beunladingen, in totaal 225 monsters, welk zijn gemeten in 2015. Van deze monsters is de zeefanalyse beschikbaar. Figuur 22 laat zien dat er een variatie zit binnen een beun lading van een schip, maar dat de variatie binnen een scheepslading niet afhankelijk is van de diepte van het monster. Het gemiddelde van deze monsters geeft een goede weergave van de korrelgrootteverdeling van een beunlading in een schip. In Figuur 23 is te zien dat de korrelgrootteverdelingen van de dataset overeenkomen, waarbij twee populaties herkend worden. De scherpe piek van de eerste verdeling ligt op $\phi=1,5$ (335 μm) en de piek van tweede verdeling ligt op $\phi=2$ (250 μm).

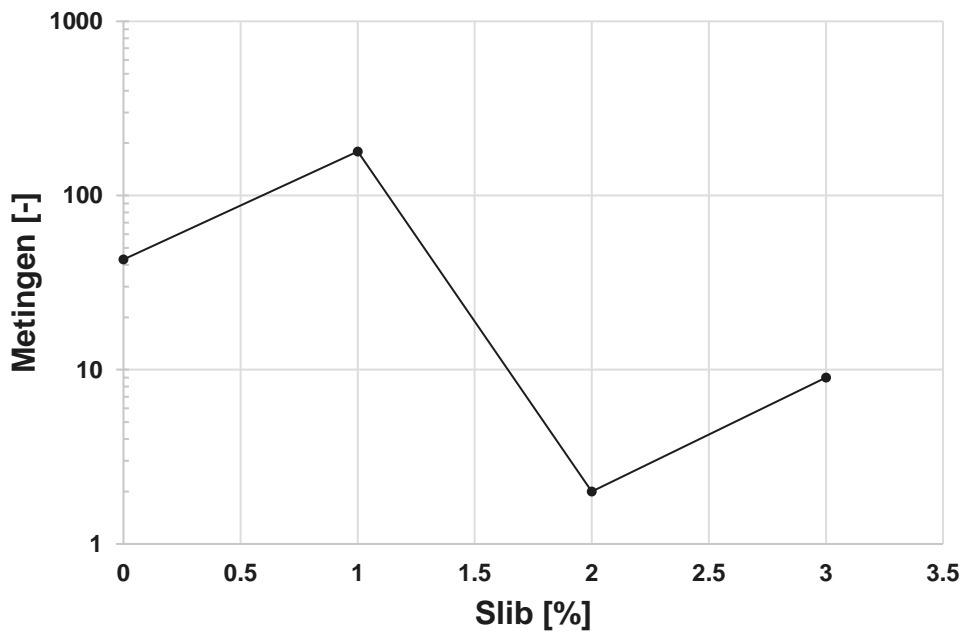
Figuur 24 laat voor de dataset van de Hondsbossche en Pettemer Zeewering zien dat in de meeste monsters minder dan 2% slib aanwezig is. Een klein deel van de gemeten slibpercentages ligt boven de 2% en de maximale percentages liggen op de 3 %.



Figuur 22 Korrelgrootteverdeling van vijf monsters op verschillende dieptes uit 1 beun van een schip (Hondsbossche en Pettemer Zeewering).



Figuur 23 Overzicht korrelgrootteverdeling van de gehele dataset van de Hondsbossche en Pettemer Zeewering.

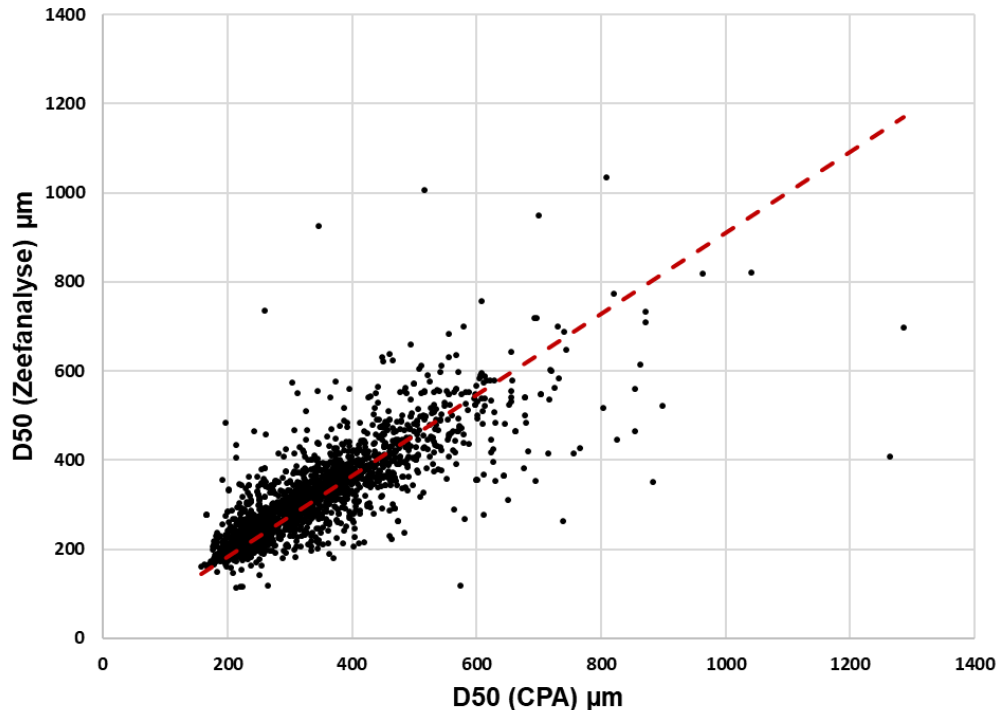


Figuur 24 Overzicht percentage slib per gemeten monster voor de beungegevens van de Hondsbossche en Pettemer Zeewering.

Maasvlakte

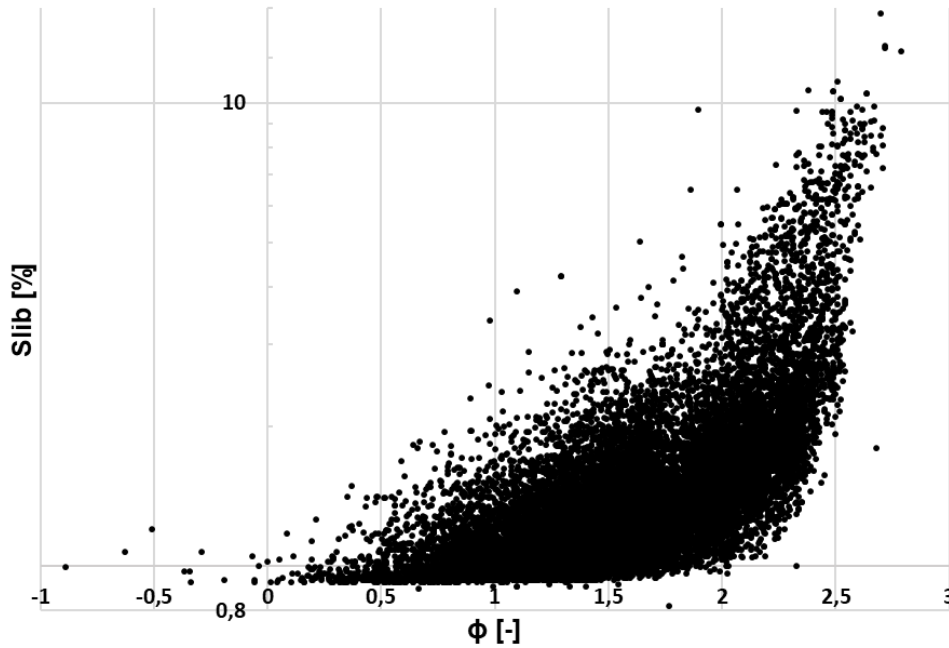
De dataset van de aanleg van de Maasvlakte II bestaat uit de maandelijkse rapporten uit 2009 en 2010 waar per schip één monster van de beun ladingen is genomen. Dit is 80% van al het gewonnen materiaal voor de aanleg van de tweede Maasvlakte.

Per monster is de D_{50} geanalyseerd, op basis van CPA metingen (real time particle analyzer aan boord van het schip), en het percentage slib. Zowel de D_{50} (CPA) als het percentage slib is (bijna) voor elk scheepslading per schip beschikbaar. Daarnaast is er voor enkele monsters ook een zeefanalyse uitgevoerd, waardoor voor enkele scheepsladingen zowel de D_{50} (CPA) als de D_{50} (zeefanalyse) beschikbaar is. Figuur 25 laat zien dat voor de Maasvlakte dataset er een verschil in uitkomst is tussen de verschillende meetmethodes van de mediane korrelgrootte, met een determinatiecoëfficiënt (R^2) van 0,62. Gemiddeld is de mediane korrelgrootte van de CPA-methode iets groter dan de mediane korrelgrootte van de zeefanalyse. Deze grafiek toont ook de grote variatie van de D_{50} van het aangebrachte zand.

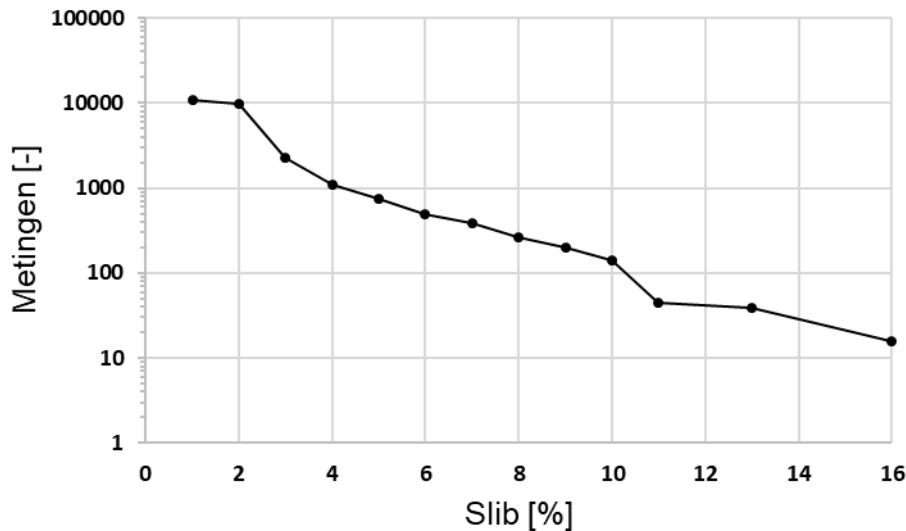


Figuur 25 Mediane korrelgrootte vergelijking van twee meetmethodes tegen elkaar uitgezet. Waarvan op de x-as D_{50} (CPA) en op de y-as D_{50} (zeefanalyse) waarbij $R^2 = 0.62$.

Figuur 26 toont het slibgehalte ten opzichte van de korrelgrootte. Deze grafiek laat zien dat vrijwel altijd een percentage slib aanwezig is in het beun monster. Ook is zichtbaar dat als de gemiddelde korrelgrootte fijn is, bij $\phi = 2,5$ ($180 \mu\text{m}$) over het algemeen een groter percentage slib aanwezig is in de beun. Omgekeerd geldt dat als de gemiddelde korrelgrootte grof is, bij $\phi=0,5$ ($750 \mu\text{m}$) het percentage slib lager is. De spreiding is overigens wel groot. Het grote aantal datapunten vertroebelt het beeld van de verdeling van de slibpercentages en daarom is de dataset in Figuur 27 ook op een andere wijze in beeld gebracht. Deze grafiek laat zien dat het grootste deel van de scheepsladingen tot 2% aanwezig is. Dit blijkt voor 78% van de schepen het geval te zijn. Het slibpercentage van de gehele dataset varieert tussen de 1 tot 16%. Het aantal scheepsladingen met een slibpercentages van 10% of hoger bedraagt 0,2 van het totaal aantal scheepsladingen en is daarmee zeer klein.



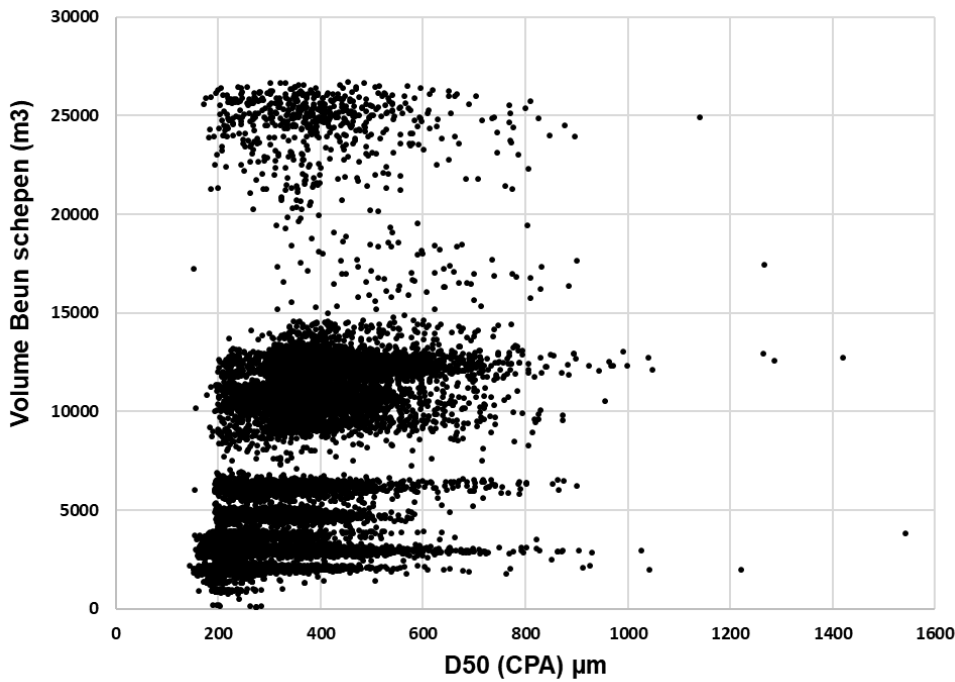
Figuur 26 Mediane korrelgrootte (D_{50} (CPA)) omgezet naar phi en uitgezet tegen het percentage slib in een monster op basis van de Maasvlakte data.



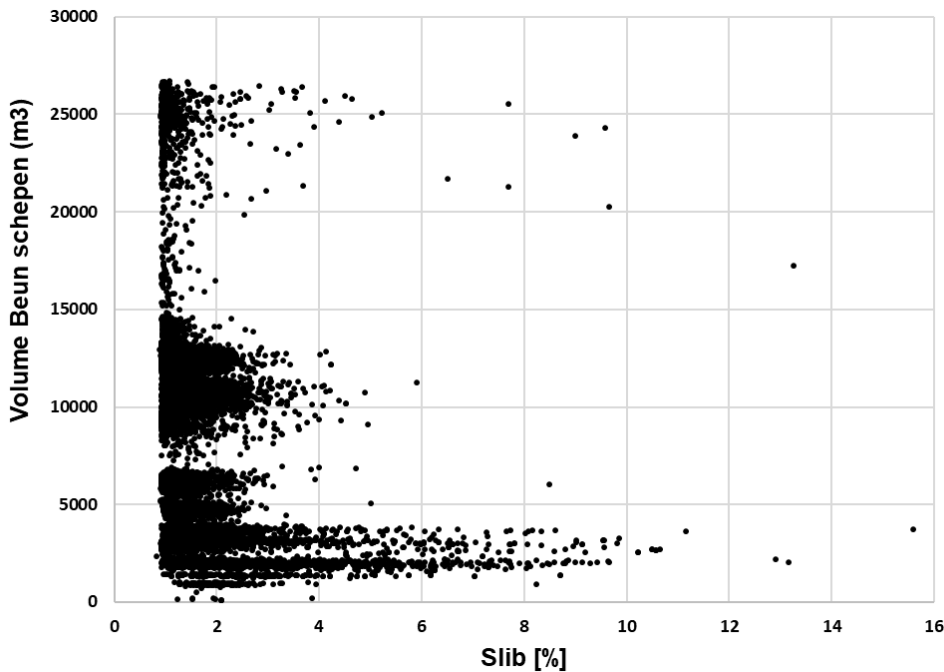
Figuur 27 Overzicht percentage slib per gemeten monster voor de beun gegevens van de Maasvlakte.

De Maasvlakte dataset geeft ook de mogelijkheid om te bepalen of er verbanden bestaan tussen de gemiddelde mediane korrelgrootte, de slibfractie en het beunvolume van het schip. Figuur 28 toont de D_{50} ten opzichte van het beunvolume per scheepslading. Uit de grafiek is op te maken dat er een gelijke verspreiding zit tussen de gemiddelde mediane korrelgrootte en het beunvolume van het schip en er geen relatie te vinden is. Het percentage slib ten opzichte van het beunvolume per scheepslading is getoond in Figuur 29. Hierin is goed te zien dat er gemiddeld meer slib aanwezig is bij schepen met een kleiner beunvolume dan voor schepen met een groter beunvolume. De reden hiervoor is niet bekend. Het beperkte percentage slib kan te maken hebben met de inzet van de grotere sleepopperzuigers tijdens een bepaalde fase van de zandwinning waarbij geologische afzettingen met minder slib zijn aangesneden. Het kan ook het

gevolg zijn van een verschil in overvloeien tussen de grote en de kleine baggerschepen, waarbij in de grotere beun meer selectie van grof en fijn sediment kan plaatsvinden.



Figuur 28 Vergelijking van de mediane korrelgrootte (CPA) tegen het volume beun per scheepslading.



Figuur 29 Vergelijking van het percentage slib tegen het volume beun per scheepslading.

De belangrijke resultaten van de korrelgrootte informatie van de HPZ en de tweede Maasvlakte zijn dat:

- De korrelgroottes per scheepslading verschillen, als gevolg van verschillen in de bodemsamenstelling binnen en tussen de wingebieden.

- De ladingen vrijwel altijd enig slib bevatten.

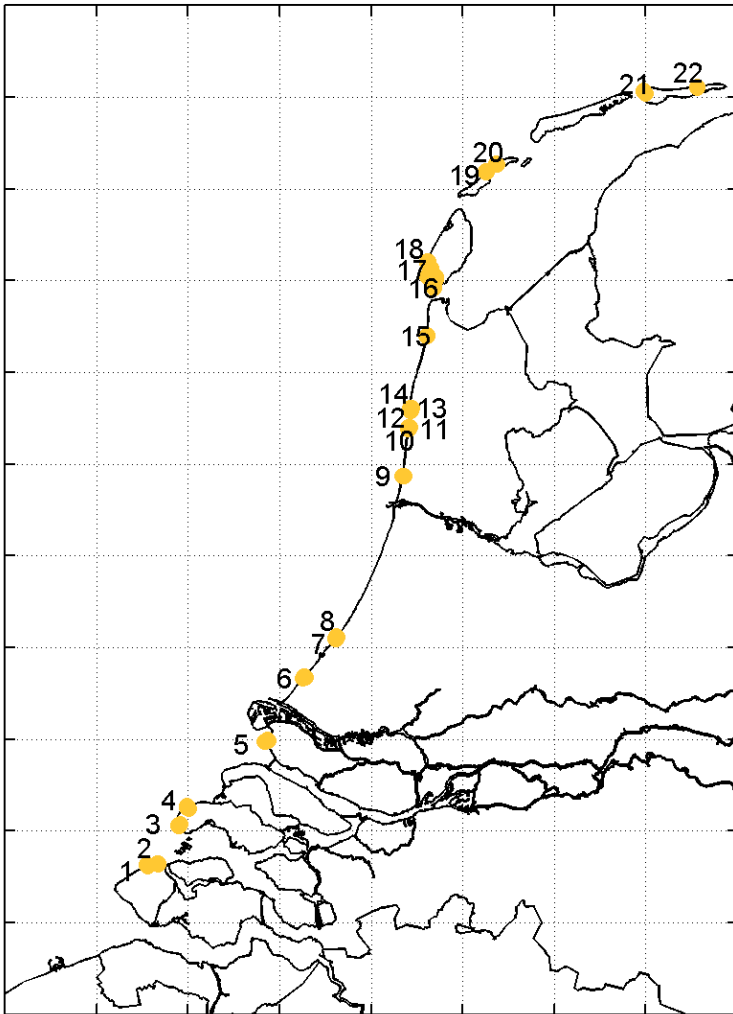
Het eerste punt betekent dat het nemen van een beperkt aantal monsters uit de beun van de schepen niet noodzakelijkerwijs een representatief beeld geeft van de korrelgrootte (verdeling) van het gesuppleerde zand. Het tweede punt betekent dat de aanname dat al het fijne sediment tijdens het overvloeien in het zandwingebied vrijkomt in de waterkolom niet gerechtvaardigd is. Tenminste een deel van het slib wordt met het zand mee getransporteerd naar de suppletie locatie en komt daar terecht.

4.2.4 Data strand, onderwateroever en suppleties

De gegevens die in de vorige twee paragrafen zijn opgenomen hebben steeds betrekking op het sediment dat zal worden gesuppleerd. In deze paragraaf wordt niet alleen suppletiezand beschouwd, maar vooral het al aanwezige zand. De belangrijkste reden hiervoor is dat korrelgroottegegevens van zandsuppleties schaars zijn. Standaard vindt geen bemonstering van zandsuppleties plaats, zodat hiervoor een beroep moet worden gedaan op projectbemonsteringen. De schaarste van de gegevens zou een vergelijking van de korrelgroottes te zeer beperken. Vandaar dat in deze paragraaf verschillende sets met korrelgroottegegevens van het strand en de onderwateroever worden gepresenteerd.

In Figuur 30 is een aantal locaties langs de Nederlandse kust weergegeven waarvoor Stuyfzand e.a.(2012) korrelgroottegegevens alsmede geochemische gegevens van verzamelde zandmonsters hebben geanalyseerd. Dit betreffen zandmonsters van het strand, zeereep en duinen, en verkregen op verschillende diepten ten opzichte van het maaiveld. Het betreffen zowel monsters van natuurlijk zand (locatie 2, 4, 15, 16, 19) als suppletiezand, dat weer in meer of mindere mate herwerkt is door natuurlijke processen (hydrodynamisch of aerodynamisch), waarbij wordt opgemerkt dat dit onderscheid in veel gevallen niet eenvoudig is. Door Stuyfzand et al (2012) zijn de monsters ontdaan van kalk en organisch materiaal, waarna de korrelgrootte is bepaald met een laser particle sizer.

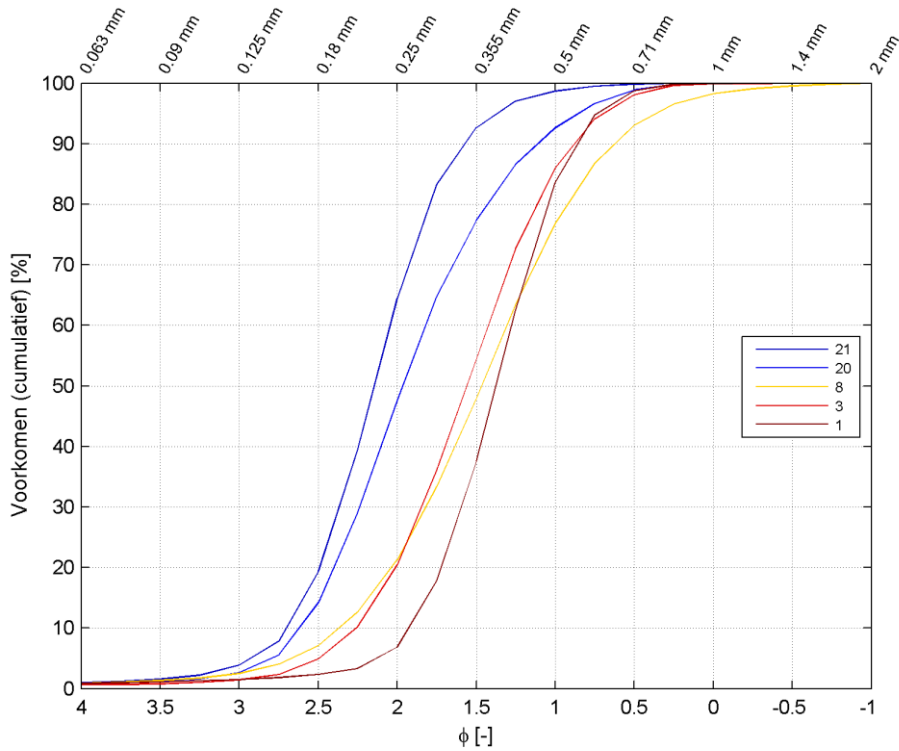
Om een indruk te krijgen van de variatie in de korrelgrootteverdeling toont Figuur 31 op basis van de beschikbare data van Stuyfzand e.a.(2012) korrelgrootteverdelingen voor een aantal locaties langs de Nederlandse kust. Uit Figuur 31 blijkt dat korrelgrootteverdelingen aanzienlijk verschillen voor monsters langs de Nederlandse kust waarbij in het algemeen geldt dat de Waddenstranden fijner materiaal bevatten dan de zuidwestkust van Nederland.



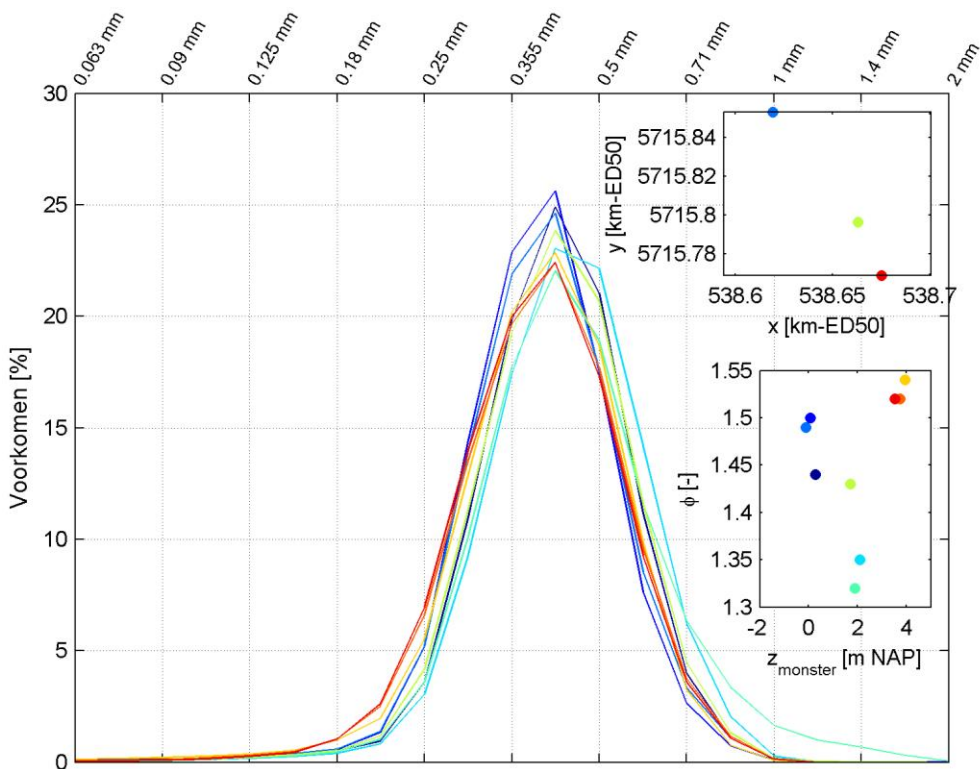
Figuur 30 Overzicht ligging zandmonsters langs de Nederlandse kust uit het onderzoek van Stuyfzand et al., 2012.

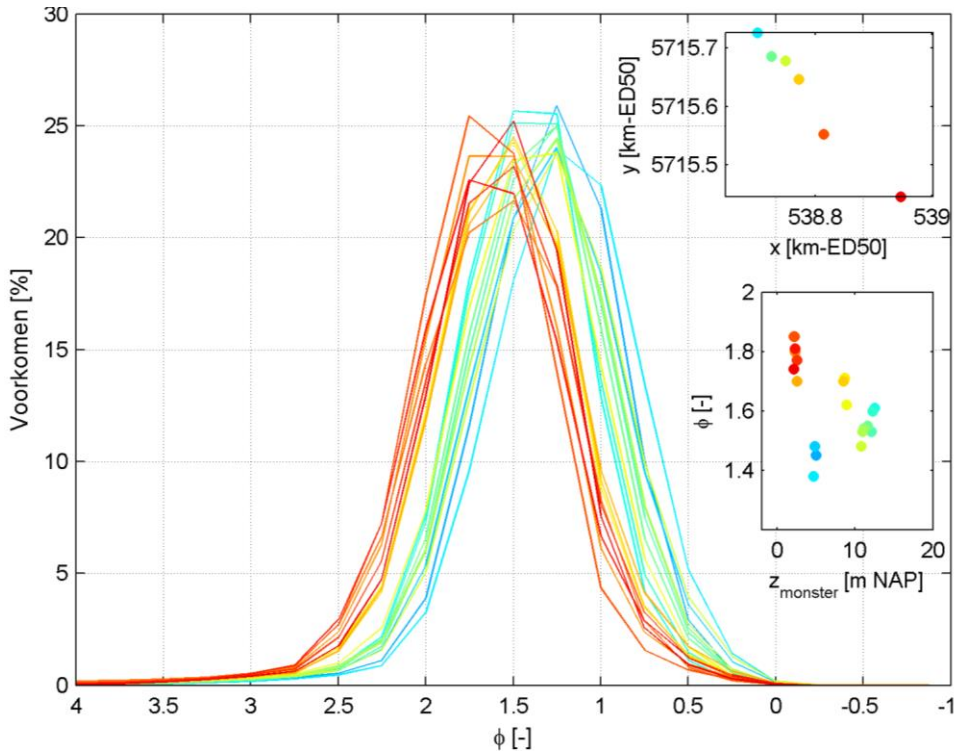
Echter, het vergelijk tussen gebieden is complexer dan Figuur 31 in eerste instantie doet vermoeden. In Figuur 31 zijn alleen de monsters weergegeven die met zekerheid afkomstig zijn van het strand. Hiervoor zijn als criteria gehanteerd dat de hoogteligging ≤ 0 m NAP en dat alle monsters zeewaarts gelegen van het betreffende monster ook aan die conditie voldoen. Het hoogtecriterium heeft eigenlijk een horizontale en een verticale component, het betreft zowel de ligging ten opzichte van de gemiddelde (oppervlakte) waterlijn, als monsterdiepte. Met het tweede criterium wordt voorkomen dat monsters in duinvalleien gelijkgesteld worden aan monsters op het strand. Alleen het zand van het strand beschouwen is een voorwaarde om de grootschalige relatie tussen korrelgrootte karakteristiek en kustlangse coördinaat vast te stellen.

Ter vergelijking met de korrelgroottes van het strand worden in Figuur 32, Figuur 34 en Figuur 36 zowel de monsters van het strand als die uit de duinen getoond. Uit genoemde figuren blijkt dat zand uit de duinen en zeereep doorgaans een fijnere samenstelling heeft dan strandzand, met variaties per locatie. Het verschil tussen het grovere zand van het strand en het fijnere zand van de duinen is duidelijk zichtbaar voor de meerderheid van de monsters bij Walcheren (Figuur 32). Het duinzand te Ameland-West lijkt echter niet zeer verschillend qua korrelgrootteverdeling ten opzichte van het strandzand aldaar (Figuur 36), terwijl het duinzand te Wassenaar aanzienlijk fijner is dan het strandzand aldaar (Figuur 34), waarbij de modus van het duinzand vergelijkbaar is met de modus van het strandzand te Ameland-West.



Figuur 31 Korrelgrootteverdeling van zandmonsters voor een aantal locaties langs de Nederlandse kust (zie Figuur 30 voor ligging van genummerde curven). Op locaties waar meerdere samples ≤ 0 m NAP voorkomen zijn de gemiddelde percentielen aangehouden.

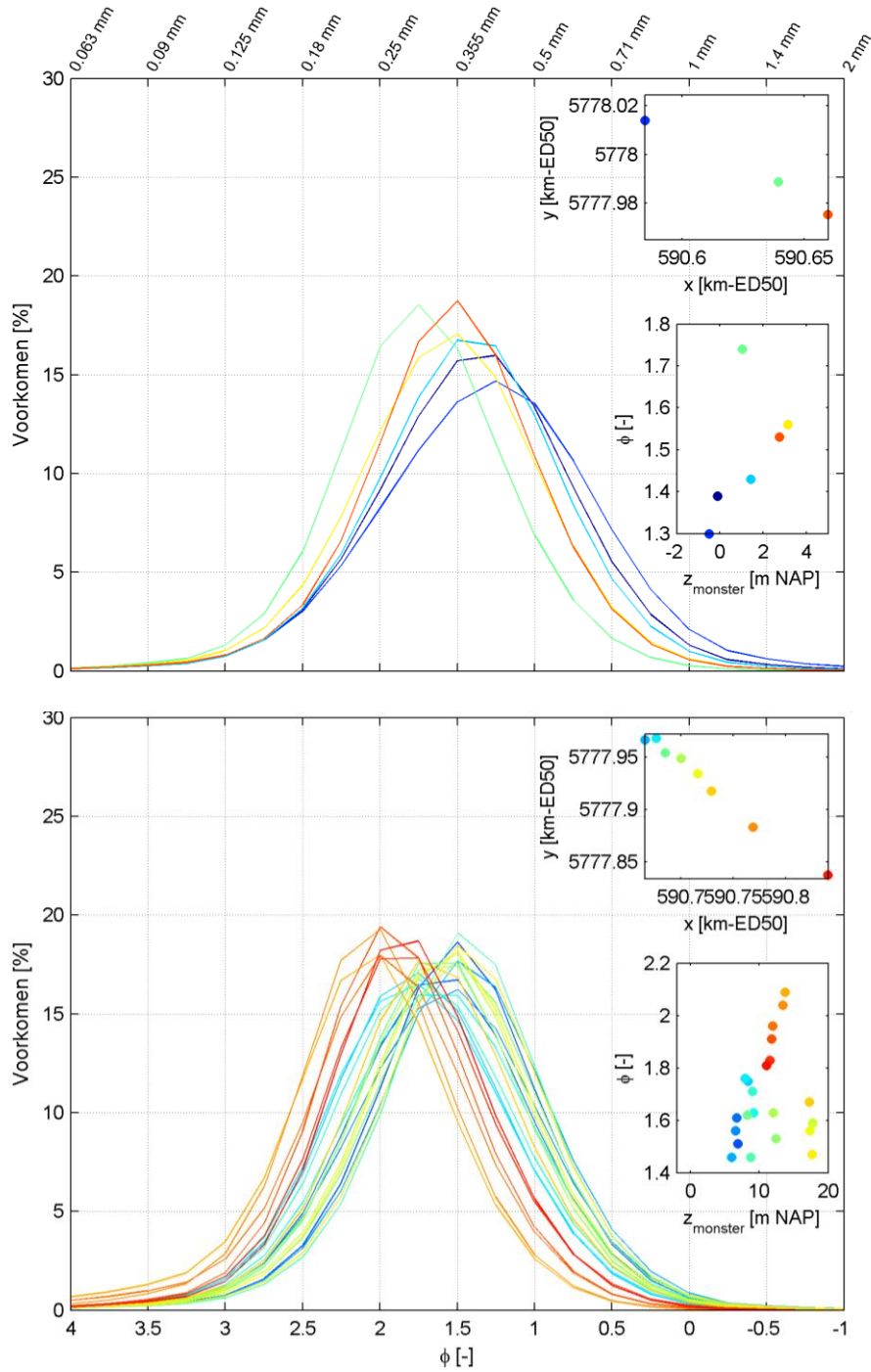




Figuur 32 Korrelgrootteverdeling van zandmonsters dwars op de kustlijn te Walcheren (locatie 1 in Figuur 30). Boven: monsters van het strand, zeewaarts van de duinvoet, onder: monsters in het duin, landwaarts van de duinvoet. Insets tonen ligging monsters (boven, zie ook Figuur 33 en merk op dat op punten meerdere monsters over de diepte zijn genomen) en mediane korrelgrootte (onder).



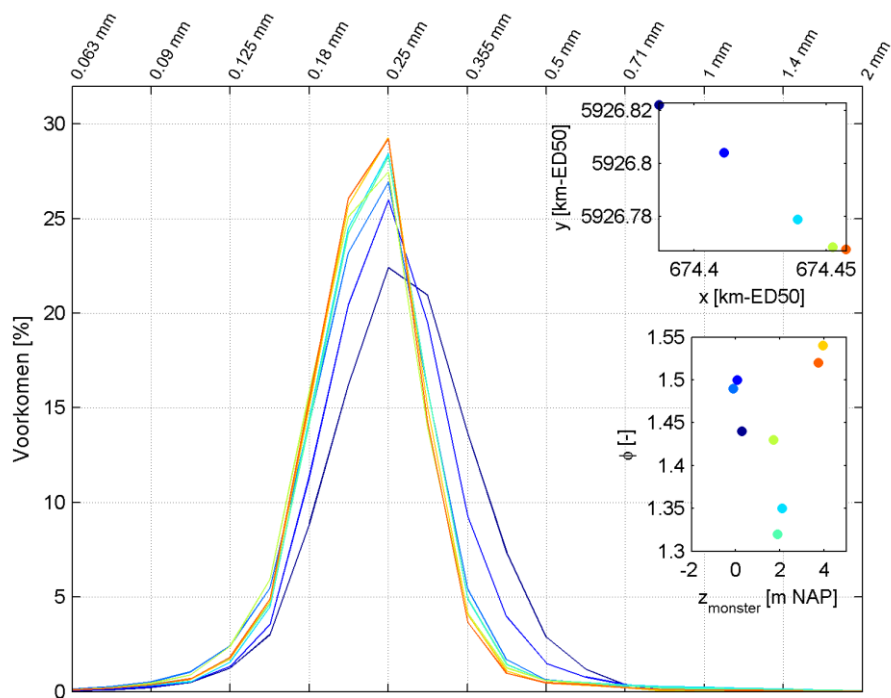
Figuur 33 Satellietfoto behorend bij Figuur 32, uit Stuyfzand e.a.(2012). De locaties van de monsters komen overeen met de locaties weergegeven in de inset van Figuur 32.

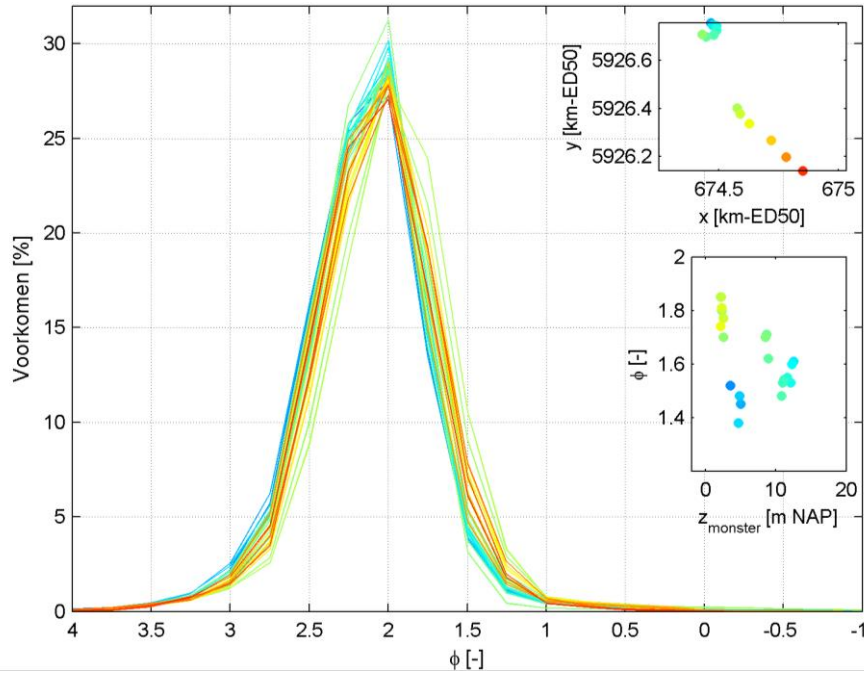


Figuur 34 Korrelgrootteverdeling van zandmonsters dwars op de kustlijn te Wassenaar (locatie 8 in Figuur 30). Boven: monsters van het strand, zeewaarts van de duinvoet, onder: monsters in het duin, landwaarts van de duinvoet. Insets tonen ligging monsters (boven, zie ook Figuur 35 en merk op dat op punten meerdere monsters over de diepte zijn genomen) en mediane korrelgrootte (onder).



Figuur 35 Satellietfoto behorend bij Figuur 34, uit: Stuyfzand e.a.(2012).





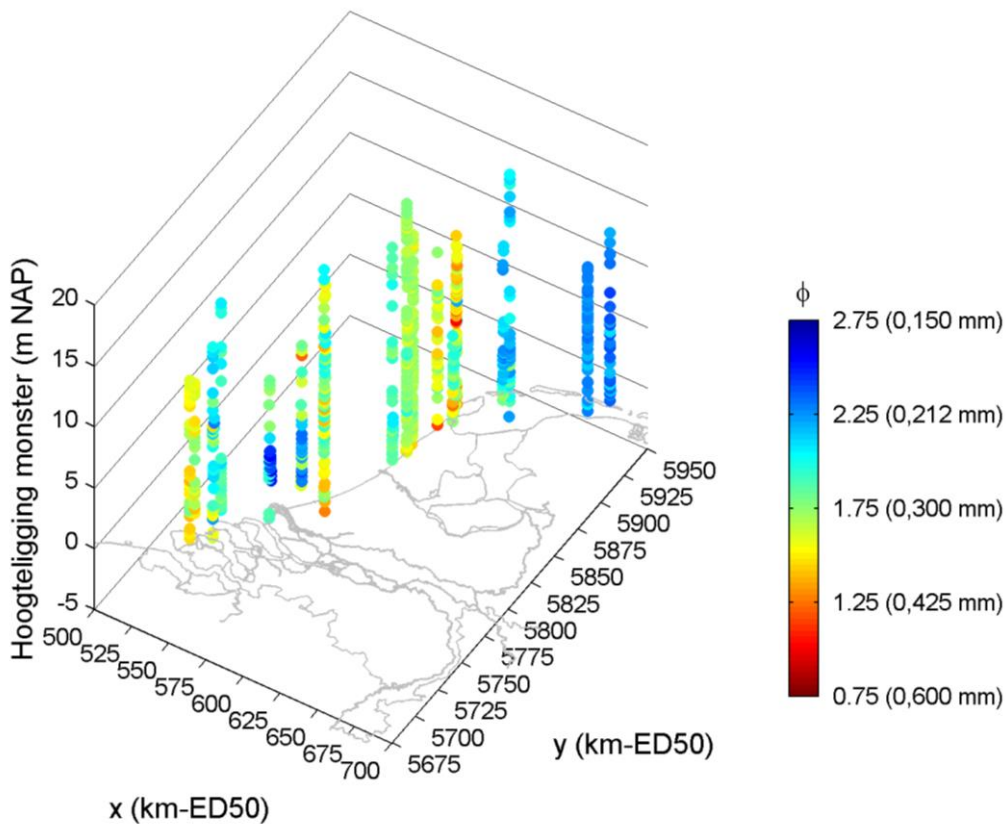
Figuur 36 Korrelgrootteverdeling van zandmonsters dwars op de kustlijn(m.u.v. enkele punten) te Ameland-West (locatie 21, Figuur 30). Boven: monsters van het strand, zeewaarts van de duinvoet, onder: monsters in het duin, landwaarts van de duinvoet. (boven, zie ook Figuur 37 en merk op dat op punten meerdere monsters over de diepte zijn genomen) en mediane korrelgrootte (onder).



Figuur 37 Satellietfoto met monsterpunten Ameland west behorend bij Figuur 34, uit: Stuyfzand e.a.(2012).

De complexe relatie tussen korrelgrootte en geografische locatie is samengevat in Figuur 38. Hierin is de gemiddelde korrelgrootte als functie van de drie ruimtelijke dimensies grafisch weergegeven. Hieruit blijkt dat

aanzienlijke verschillen bestaan in gemiddelde korrelgrootte op een gegeven hoogte t.o.v. NAP tussen locaties alsmede in gemiddelde korrelgrootte op verschillende hoogtes voor een gegeven locatie.



Figuur 38 Gemiddelde korrelgrootte (bepaald over bereik 0.00015-2 mm) als functie van ligging in 3D ruimte voor alle monsters (duin, zeereep en strand) uit de database van Stuyfzand e.a.(2012).

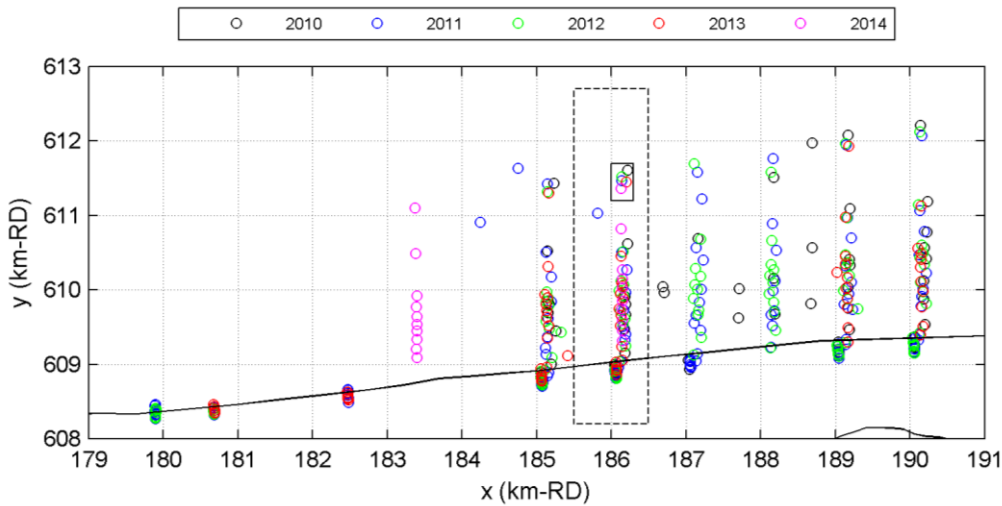
De korrelgrootteverdeling op een gegeven locatie heeft een dynamisch karakter. Verwacht kan worden dat een relatie bestaat tussen de tijd waarop bemonstering plaatsvindt en het moment waarop het gesuppleerde materiaal aanwezig is. Immers, direct na inbrenging in het fysische systeem wordt suppletiezand onderhevig aan golfwerking en stroming, eolisch transport en biologische processen.

Voor het gebied Ameland-Midden zijn korrelgroottegegevens bepaald voor een vijftal jaren (2010-2014; Figuur 39), als onderdeel ecologisch onderzoek rond de suppleties ter plaatse (Holzhauer e.a. (2014). Details over de wijze van bemonstering, de monsterbehandeling en de korrelgroottebepalingen zijn te vinden in het rapport van Holzhauer e.a. (2014). De verschillen in de voorbehandeling en analyse van de monsters maken de onderlinge vergelijkbaarheid van de korrelgrootteverdelingen niet mogelijk.

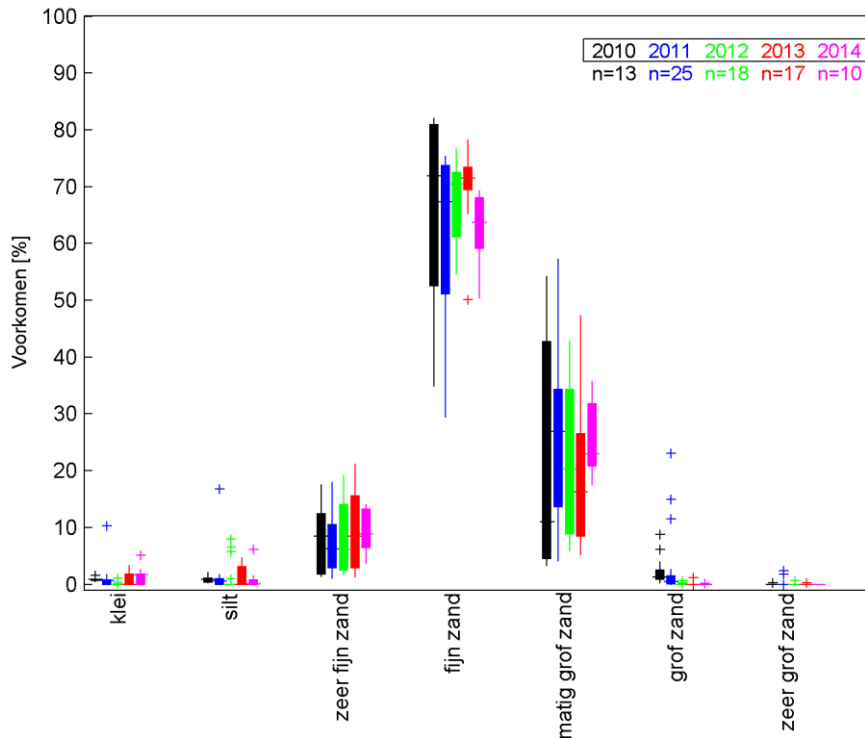
De verschillen in voorbehandeling en analyse volgen uit de rapportage en zijn zichtbaar in de dataset zelf. Van de monsters op het strand is heeft geen bepaling van de organische fractie plaatsgevonden. De monsters van de vooroever zijn bij aankomst in het laboratorium ingevroren op -16 °C en daarvan heeft wel analyse van de organisch fractie plaatsgevonden. De monsters zijn door verschillende partijen geanalyseerd, in 2010 en 2011 door de Vrije Universiteit van Amsterdam, in 2012 en 2013 door de Universiteit van Gent en in 2014 door Deltares (Deltares, concept). Hierbij is gebruik gemaakt van tenminste twee verschillende laser particle sizers (Sympatec Helios KR & Malvern). In de aangeleverde dataset zijn voor de verschillende jaren verschillende korrelgroottefracties gerapporteerd, die blijkbaar samenhangen met de partij die de bemonstering heeft uitgevoerd.

In het bemonsterde gebied zijn strand- en onderwatersuppleties aangebracht in de periode 2010-2011, die een (vrijwel) aaneengesloten geheel vormen van strandpaal 11 tot strandpaal 20. Uit de aangeleverde gegevens en uit de beschrijving van de bemonstering is niet te achterhalen welke monsters met zekerheid zijn genomen in gesuppleerde gebied. De gegevens worden daarom tezamen beschouwd.

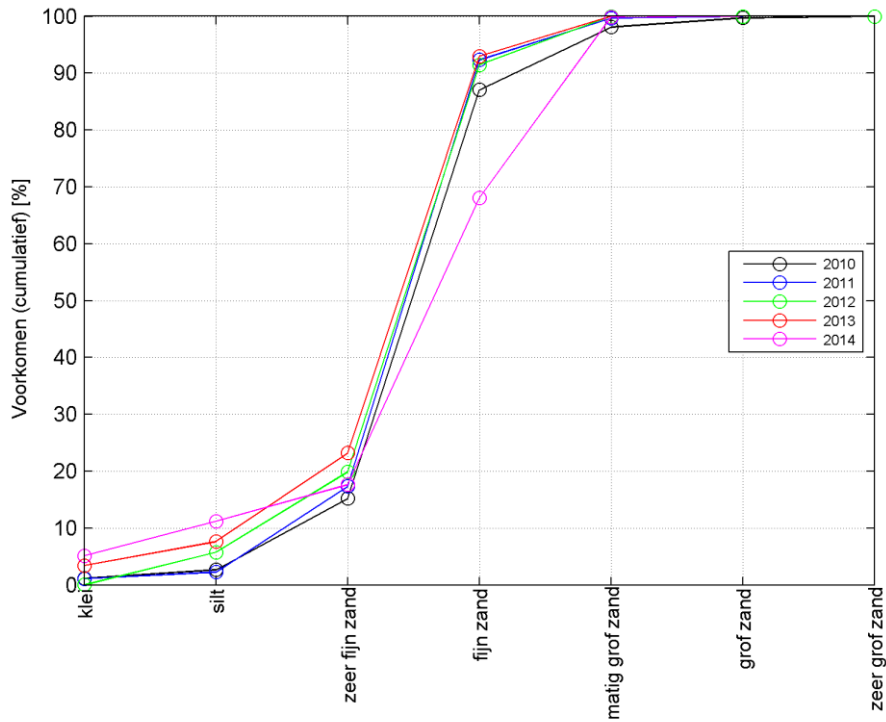
Figuur 40 toont de bulk-statistiek van 7 korrelgrootte klassen voor een kustdwars transect waarvoor data voor alle 5 jaren aanwezig is. Uit de overlap van de boxplots blijkt dat geen duidelijke trend in de tijd zichtbaar is. Om het ruimtelijke effect te isoleren toont Figuur 41 de korrelgrootteverdeling voor de vijf verschillende jaren, maar nu voor een enkel punt op ongeveer constante positie (doorgetrokken rechthoek in Figuur 39). Dit punt lijkt te verfijnen in de periode 2010-2013 (toename voorkomen klei, silt en zeer fijn zand), echter de verdeling verandert aanzienlijk in 2014.



Figuur 39 Ligging monsterpunten in Ameland-Midden.



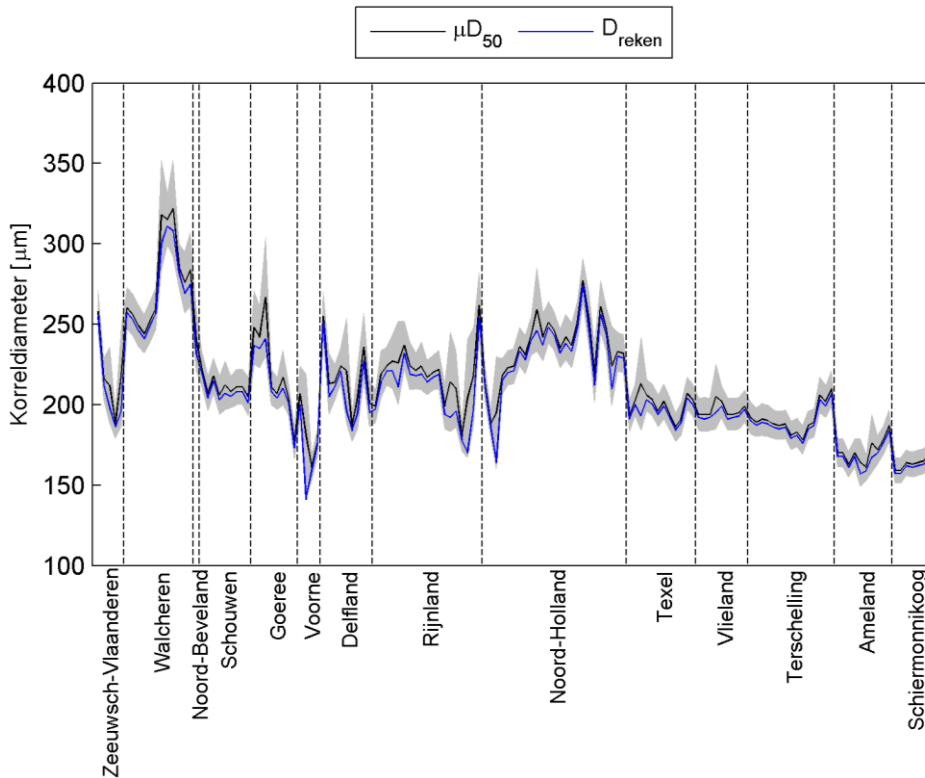
Figuur 40 Boxplot van voorkomen van 7 korrelgrootte klassen voor alle monsters die in de gearceerde rechthoek van Figuur 37 liggen (klei < 0.008 mm, silt 0.008-0.063 mm, zeer fijn zand 0.063-0.125 mm, fijn zand 0.125-0.25 mm, matig grof zand 0.25-0.5 mm, grof zand 0.5-1 mm, zeer grof zand 1-2 mm). Het aantal samples voor de verschillende jaren is weergegeven in de rechterbovenhoek.



Figuur 41 Korrelgrootteverdeling van zandmonster voor een relatief vast punt in de ruimte (doorgetrokken rechthoek in Figuur 39), voor vijf verschillende jaren. Korrelgrootte klassen zoals gedefinieerd in Figuur 40.

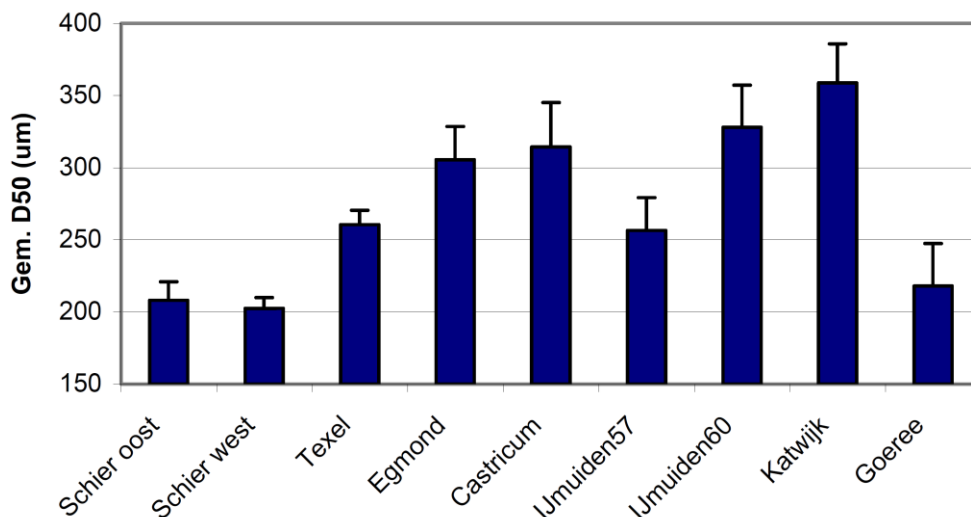
Uit Figuur 36 is gebleken dat de korrelgrootteverdeling tussen strandzand en duinzand minder verschillend is te Ameland dan bijvoorbeeld te Wassenaar (Figuur 34). Het is dan ook interessant om na te gaan hoe het tijdsbeeld van de korrelgrootteverdeling eruitziet voor locaties langs de Hollandse kust.

Figuur 42 laat het verloop zien van de mediane korrelgrootte van zuid naar noordoost langs de Nederlandse kust, zoals gerapporteerd in Kohsiek (1984). Hiervoor zijn in 1982 monsters verzameld langs de gehele Nederlandse kust waarbij om de 2 kilometer 4 monsters aan het oppervlak werden genomen, waarvan 2 monsters rond NAP, 1 monster net boven Gemiddeld Laag Water en 1 monster net boven Gemiddeld Hoog Water. De korrelgrootte is bepaald van de onbehandelde monsters door middel van zeven met een maaswijdte van $\frac{1}{2}$ phi. Janssen en Mulder (2004) vermelden dat bovendien enige zeven met de grofste en fijnste maaswijdte in de bemonstering zijn weggelaten door het bijna of geheel ontbreken van die fracties in de monsters. Vergelijking van het patroon in Figuur 40 met dat in Figuur 36 laat zien dat op hoofdlijnen sprake is van een vergelijkbaar patroon, met het fijnste zand in het noorden en het grofste zand in het zuiden. De monsternamen door Kohsiek (1984) heeft plaatsgevonden ruim voor de invoering van het suppletiebeleid (hoewel incidenteel en lokaal al voor 1982 suppleties zijn uitgevoerd) en geven inzicht in de autonome korrelgrootteverdeling langs de Nederlandse kust.

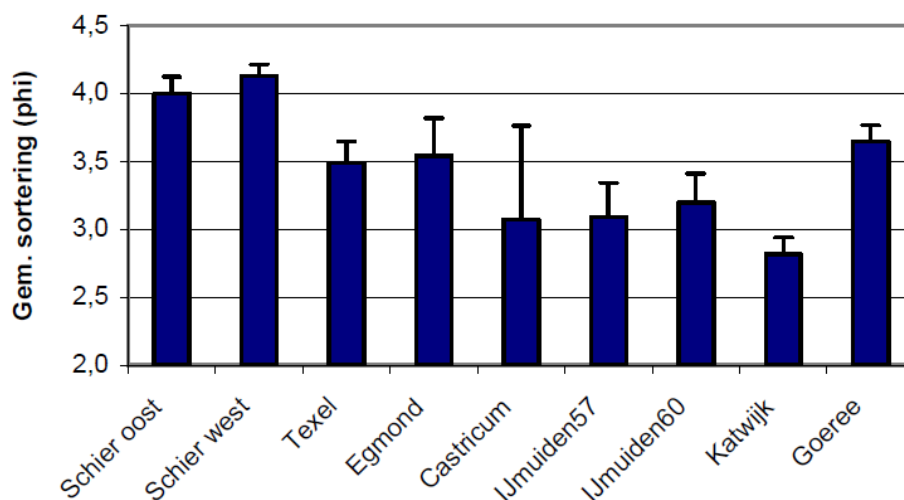


Figuur 42 Verloop van mediane korrelgrootte langs de Nederlandse kust volgens de 1982-dataset van Kohnsiek (1984).

Door Janssen en Mulder (2004) zijn in 2001-2002 op 42 locaties langs de Nederlandse kust monsters genomen, waarbij steeds 1 monster werd genomen tussen Gemiddeld Laag Water en NAP en 1 monster tussen NAP en Gemiddeld Hoog Water. De monsters werden voorbehandeld met waterstofperoxide en zoutzuur om het organische stof en kalk te verwijderen alvorens de korrelgrootte werd bepaald met behulp van een Malvern-laser particle sizer te Rijkswaterstaat, RIKZ in Middelburg. De resultaten van dit werk worden getoond in Figuur 43 (gemiddelde korrelgrootte) en Figuur 44 (sortering van de korrels).



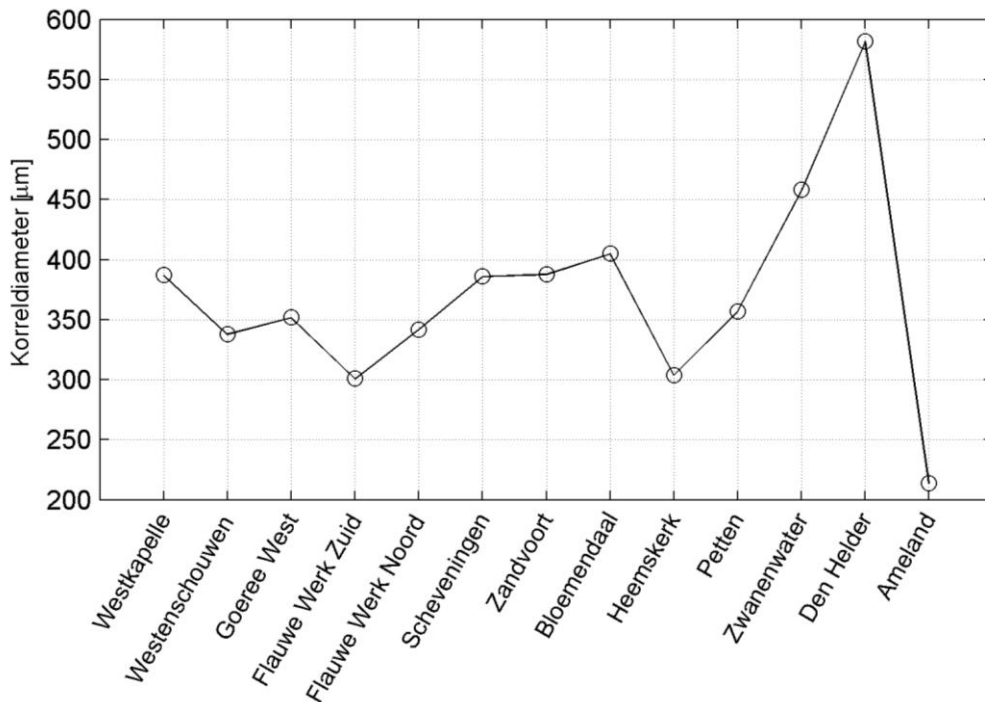
Figuur 43 Gemiddelde korrelgrootte op de door Janssen en Mulder (2004) bemonsterde stranden (uit het betreffende rapport, hun figuur 4.2).



Figuur 44 Sortering op de door Janssen en Mulder (2004) bemonsterde stranden (uit het betreffende rapport, hun figuur 4.4).

Bovendien is door Janssen en Mulder (2004) een gedetailleerd vergelijk gegeven tussen de dataset van Kohsiek uit 1982 en hun eigen dataset uit 2001/2002, waarbij verdisconteerd wordt voor de verschillende analyse methoden (o.a. met behulp van bevindingen uit Zonneveld, 1994). Op basis van die vergelijking wordt door Janssen en Mulder (2004) geconcludeerd dat, ondanks het aanbrengen van grover suppletiezand sinds 1990, geen statistisch verschil bestaat in het patroon van geografische variatie in gemiddelde korrelgrootte langs de Nederlandse kust in een periode van ongeveer 20 jaar (1982-2002).

In 2007 zijn door Leewis e.a.(2012) 13 verschillende stranden (exclusief 4 control stranden) bemonsterd waarvoor in de periode 1994-2007 eenmalig een suppletie heeft plaatsgevonden. Per strand werden 4 monsters genomen tussen Gemiddeld Hoog Water en Gemiddeld Getijniveau. Na drogen in een 70°C oven en ontdaan van organische stof en kalk door behandeling met waterstofperoxide en zoutzuur is de korrelgrootte bepaald met behulp van een Fritsch Laser Particle Sizer A22 XL-wet. De resultaten hiervan worden getoond in Figuur 45. In dit figuur is vooral de piek te Den Helder opvallend. De oorzaak van het verschil tussen het patroon, zoals dat volgt uit de gegevens Leewis (2012) in Figuur 45 en de patronen op basis van de gegevens van Kohsiek (1982) in Figuur 42 en Janssen en Mulder (2004) in Figuur 43 is ons niet bekend. Het is ook niet duidelijk waarom de waarden voor de gemiddelde korrelgrootte van Leewis e.a. (2012) zoveel groter zijn dan bijvoorbeeld de waarden die zijn gerapporteerd door Janssen en Mulder (2004) en Kohsiek (1982). Mogelijk heeft de bemonstering van alleen het natte strand door Leewis e.a. (2012) invloed op de korrelgrootte. Omdat het verschil in het patroon en de gemiddelde korrelgrootte ten opzichte van de andere studies duidelijk verschillen en niet duidelijk is waarom deze verschillen optreden is deze gegevens set niet betrokken in de vergelijking.

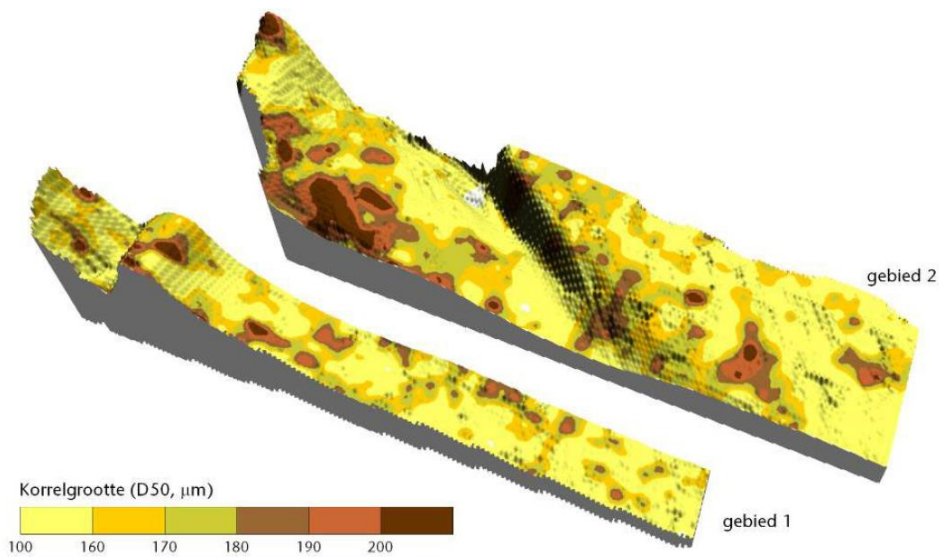


Figuur 45 Verloop van gemiddelde korrelgrootte langs de Nederlandse kust volgens de 2007-dataset van Leewis e.a.(2012).

Er zijn voor verschillende projecten zandmonsters verzameld van strand en suppletie, dan wel op andere wijze korrelgroottes bepaald. Hieronder worden twee voorbeelden gegeven van dit soort bemonsteringen die in de vergelijking niet zijn betrokken.

In 2004 zijn tien bemonsteringen uitgevoerd van strandsuppleties op verschillende locaties langs de Nederlandse kust. De analyse van deze monsters (steeds twee mengmonsters uit een groot aantal gestoken monsters) was gericht op het vaststellen van de samenstelling in het kader van het bouwstoffenbesluit. De enige korrelgrootte karakteristiek is het lutumgehalte en dit leent zich niet voor vergelijking met andere korrelgroottegegevens. Deze gegevens zijn daarom niet in de vergelijking betrokken.

Door Koomans en Van Dalfts (2006) zijn in 2005 bemonsteringen uitgevoerd naar de bodemsamenstelling en de aanwezigheid van bodemdieren op de onderwateroever van Schiermonnikoog (bij Rijsstrandpaal 9, op waterdiepte van NAP -2 tot -7 m). De korrelgrootte van het sediment op de onderwateroever is gebiedsdekkend bepaald, zoals getoond in Figuur 46. De basis voor de bepaling van de korrelgroottes zijn de natuurlijke radiometrische eigenschappen van het sediment, die zijn gemeten met het MEDUSA systeem. Ook zijn de korrelgroottes bepaald van de monsters, die zijn gebruikt voor de analyse van de bodemdieren. Deze waarnemingen geven inzicht in de verdeling van de korrelgroottes (en enkele andere sedimenteigenschappen) over de vooroever en de relaties met het aantal bodemdieren. Omdat de set van Schiermonnikoog afkomstig is, waar nog nooit een zandsuppletie heeft plaatsgevonden, is de set niet bruikbaar voor vergelijking van de gegevens van wingebied, beun en strand.



Figuur 46 3D weergave van de vooroever bij Schiermonnikoog (Koomans & van Dalssen, 2005).

4.3 Vergelijk wingebied-beun-strand/onderwateroever

Het vergelijken van de korrelgroottes in wingebied, beun en op het strand dan wel de onderwateroever vindt plaats aan datasets met korrelgroottegegevens waarvan vaststaat dat deze met verschillende voorbehandelingen en analysetechnieken zijn uitgevoerd. Met de verschillende technieken, zijn verschillen geïntroduceerd tussen de datasets.

Uit de voorgaande paragrafen is duidelijk geworden dat de gegevens grote variatie kunnen vertonen. Voor het wingebied is de mediaan bepaald aan de hand van de korrelgrootteverdeling zoals weergegeven in Figuur 14. Voor de beun is de gemiddelde mediaanwaarde genomen van de monsters (Figuur 20). Het bepalen van de korrelgrootte van de suppletie op het strand of de onderwateroever is lastiger, omdat daarvan geen structurele bemonstering heeft plaatsgevonden. Waar deze gegevens beschikbaar waren, is gebruik gemaakt van die informatie, anders is uit een van de andere databronnen geput, zoals is aangegeven in de laatste kolom van Tabel 4. Tabel 4 toont een vergelijking van de mediane korrelgrootte in het wingebied, de bijbehorende beunlading en het strand waarvoor de suppletie is bedoeld.

Vergelijking van de waarden in Tabel 4 per wingebied-suppletie toont dat de mediane korrelgrootte in de beun in vrijwel alle gevallen groter is dan de mediane korrelgrootte van het wingebied. Bij vak Q13K is de mediaan van de beunmonsters groter dan die van het wingebied. De overwegend hogere waarde voor de beunladingen suggereren dat het verlies van fijn materiaal in de overflow tijdens het beladen van de sleephopperzuiger meetbaar is. De mediane korrelgroottes in de wingebieden zijn in alle gevallen grover dan de korrelgrootte van het strand. De korrelgrootte van de beun is echter niet altijd grover dan de korrelgrootte op het strand. Er is dus geen sprake van een uitgesproken reeks van grof naar fijn van wingebied via beun naar strand. Bij deze constatering horen de opmerkingen dat:

- De bemonsteringen, voorbehandelingen en korrelgroottebepalingen verschillen, zodat een kwantitatieve vergelijking niet mogelijk is;
- De representativiteit van de bemonstering in veel gevallen waarschijnlijk niet voldoende is.

Voor het uitvoeren van een kwantitatieve vergelijking zijn aanvullende gegevens noodzakelijk, die alleen verkregen kunnen worden door gerichte bemonstering en bepaling (zie hoofdstuk 5).

	Wingebied ϕ (mm)	Beun ϕ (mm)	Strand ϕ (mm)	Bron/Locatie strand
S7Y	1.75 (0.30)	1.36 (0.39)	1.54 (0.34)	Royal HaskoningDHV 2015, Cadzand-Kievitte West
S7U	2.10 (0.23) ¹	1.71 (0.30)	1.38 (0.39)	Stuyfzand e.a.2012, locatie 22-1, +0.3 m NAP
S3C	2.10 (0.23) ²	2.24 (0.21)	1.89 (0.27)	Stuyfzand e.a.2012, locatie 18-1, +0.4 m NAP
Q16A-F1	1.61 (0.33) ³	1.36 (0.39)	1.55 (0.34)	Stuyfzand e.a.2012, locatie 17-2, +2.5 m NAP
Q13K	1.61 (0.33) ⁴	1.72 (0.30)	1.47 (0.36)	Janssen en Mulder, 2004, fig. 4.2
Q8A	2.25 (0.21)	2.19 (0.22)	2.19 (0.22)	Heemskerk (kustvak raai 50), strand-1982
Q5B	2.25 (0.21)	2.22 (0.21)	2.19 (0.22)	Heemskerk (kustvak raai 50), strand-1982
Q2D	2.40 (0.19)	2.13 (0.23)	2.27 (0.21)	ZW kust Texel (kustvak raai 12), strand-1982
L12K	2.15 (0.23) ⁵	1.40 (0.38) ⁶	1.87 (0.27) ⁷	Stuyfzand e.a.2012, gemiddelde van locatie 3-1 (-0.4 & -0.6 m NAP) en locatie 4-1 (-0.3 & -0.5 m NAP)
M8	2.80 (0.14)	2.30 (0.20)	2.49 (0.18)	Ameland-West (kustvak raai 6), strand-1982
M9	2.70 (0.15)	2.54 (0.17)	2.56 (0.17)	Ameland-Midden (kustvak raai 16), strand-1982

- Gemiddelde waarde van Walcheren-NW ondiep en Walcheren-ZW 1 ondiep (Figuur 17, dit rapport).
- Gelijkgesteld aan S7U, daarmee enigszins onzeker, maar gezien ligging verwacht grover van samenstelling te zijn dan noordelijk gelegen Q16-F1 wingebied.
- Gelijkgesteld aan Q13K, hetgeen gezien de relatief nabije ligging waarschijnlijk een geldige aanname is.
- Gemiddelde van d50 waarden voor Q13K-40, Q13K-41 en Q13K-42 uit onderzoeksrapport Fugro, 2010.
- Hoewel de vergunning betrekking heeft op winkavel L12H heeft de eigenlijke zandwinning ten behoeve van de onderwaterversuppletie te Vlieland met name betrekking gehad op winkavel L12K (pers. comm. G.J. Harpe). De verkregen data voor de nabijgelegen winkavels L12J en L12H tonen een grovere samenstelling van de monsters (gemiddelde mediaan van de zandfractie van respectievelijk 0.29 mm en 0.27 mm met waarden van individuele monsters oplopend tot 0.44 mm).
- Deze waarde is gebaseerd op slechts 2 monsters die onderling aanzienlijk verschillen (mediane korrelgrootte van respectievelijk 0.36 mm en 0.45 mm). De gemiddelde waarde voor winkavel L14D (eveneens in 2009) laat een fijnere samenstelling zien (0.28 mm). Het is echter onzeker of deze beunladingen betrekking hebben op winkavel L14D of op winkavel L14B1, gezien het voorkomen van stenen in het gebied te winkavel L14D (pers. comm. G.J. Harpe).
- Dit betreft een gemiddelde mediaan van de monsters op het intergetijde strand van Vlieland Oost en Vlieland West (zie Stuyfzand et al., 2012), waarbij wordt opgemerkt dat in de vergunning (2008) betrekking heeft op een onderwaterversuppletie (geen strandsuppletie).

Tabel 4 Vergelijk mediane korrelgrootte wingebied-beun-strand.

4.4 Andere parameters van het suppletiezand

In de voorgaande paragraaf is genoemd dat vanwege de relatie tussen de ecologische waarde en de samenstelling van het strand en duinzand gebruik moet worden gemaakt van suppletiezand met zoveel mogelijk overeenkomende kenmerken. Voor wat betreft de korrelgrootteverdeling zijn daarvoor aanbevelingen gedaan. Voor andere parameters, zoals de korrelvorm (hoekig, afgerond), het percentage schelpen en schelpfragmenten en geochemische samenstelling zijn uit de wingebieden geen of vrijwel geen gegevens beschikbaar. Deze informatie wordt niet standaard verzameld. Alleen de aanwezigheid van schelpen en schelpfragmenten is soms genoteerd in boorbeschrijvingen op een beschrijvende wijze. Kwantitatieve informatie hierover is niet beschikbaar. Sturen op dergelijke eigenschappen is met de huidige gegevens niet mogelijk. Inwinnen van dit type gegevens voor toekomstige wingebieden op de Noordzee is vanwege de omvang van de wingebieden, de complexiteit van boren en bemonstering op zee en de benodigde analyse en uitwerking praktisch gezien niet mogelijk.

4.5 Slib in het suppletiezand

De korrelgroottegegevens uit de beun van de sleeophopperzuigers geven inzicht in het percentage fijn sediment ($< 63 \mu\text{m}$) dat van de winlocatie wordt vervoerd naar de suppletielocatie. Figuur 24 en Figuur 27 tonen in grafieken respectievelijk de slibpercentages van de beunbepaling voor de versterking van de Hondsbossche en Pttemer Zeewering en voor de aanleg van de tweede Maasvlakte. In de vrijwel alle beunladingen blijkt een klein percentage slib aanwezig. Voor de zandsuppleties varieert dit percentage tussen de 0,1 tot 2,9 %, zoals blijkt uit de gemiddelde waarden in Tabel 5.

Beun Uit wingebied	Gemiddelde % $< 63 \mu\text{m}$	Standaarddeviatie % $< 63 \mu\text{m}$
S7Y	2.4	1,5
S7U	0.1	0,1
S3C	0.3	n=1
Q16A-F1	2.3	1,8
Q13K	1.3	0,2
Q8A	1.2	n=1
Q5B	0.7	0,4
Q2D	2.9	1,4
L12K	0.1	0,1
M8	1.4	0,8
M9	1.4	1,0

Tabel 5 Overzicht van het gemiddelde percentage fijn sediment (fracties kleiner dan $63 \mu\text{m}$) in de beun van de schepen uit de wingebieden zoals vermeld in Tabel 4.

Voor één suppletie op de locatie Heemskerk (2011 -2012), die is uitgevoerd met sediment dat is vrijgekomen bij het baggeren van de geul bij IJmuiden, zijn percentages boven de 20% gerapporteerd. Deze hoge percentages hebben te maken met de samenstelling van het wingebied, waarbij in dit geval zeer slibrijk

sediment is gebaggerd. Waarnemingen van slib in gesuppleerd zand (een voorbeeld is getoond in Figuur 47) maken ook aannemelijk dat niet al het slib op de winlocatie achterblijft.



Figuur 47 Zand met slib in brokken (de donkere delen) in het gesuppleerde strand van het slibdepot Slufter (tussen Maasvlakte I en Voorne) in 2005 (waarneming en foto Jelmer Cleveringa, tijdens veldbezoek SLA Kustlijnzorg).

De aanwezigheid van fijn sediment in het suppletiezand betekent dat niet al het slib tijdens de zandwinning op de winlocaties uit het zand wordt gespoeld. Bij berekeningen van het vrijkomen van slib bij zandwinning wordt als aanname gehanteerd dat al het slib als overloeverlies overboord gaat op de winlocatie. Voor het bepalen van de effecten van zandwinning op de verspreiding van slib in de Noordzee is dit een te conservatieve aanname. Bij de berekeningen kan rekening worden gehouden met het een percentage slib dat naar het suppletiegebied wordt getransporteerd.

5 DISCUSSIE, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

5.1 Kwaliteit van de (meta)gegevens en de consequenties voor de onderlinge vergelijking

In het voorgaande hoofdstuk zijn gegevens gepresenteerd van de korrelgroottegegevens van wingebieden, de beun van het baggerschip en van strand- en onderwatersuppleties. Binnen de getoonde gegevenssets van de wingebieden en de beungegevens van de zandsuppleties zijn de gegevens vergelijkbaar, omdat de wijze van bemonstering, voorbehandeling en meten voor de twee sets hetzelfde is. Op basis van de beschikbare gegevens is niet vast te stellen of de uitgevoerde korrelgroottebepalingen voldoende representatief zijn. Onder dat voorbehoud zijn uitspraken over het ruimtelijke patroon in de korrelgrootteverdeling in de wingebieden langs de kust mogelijk, net als uitspraken over de verschillen in de beun langs de kust. Het grootschalige patroon in de gegevens uit de beun van het schip laat van zuidwest naar noordoost overwegend een trend zien van grover, tussen de 300 á 400 μm naar fijner, tussen de 150 en 200 μm . In de korrelgroottegegevens van de wingebied is een vergelijkbaar ruimtelijk patroon zichtbaar. Bij de gegevens uit de wingebieden geldt wel dat de korrelgrootte in sommige gebieden ook varieert met de diepte onder de zeebodem. De gegevens van de zandwinning voor de aanleg van de tweede Maasvlakte (Figuur 25) laten veel variatie zien in de korrelgrootte. Daarbij past de opmerking dat deze zandwinning zeer omvangrijk was en fors dieper (tot maximaal – 20 m onder de zeebodem) dan bij zandsuppletie. Bij deze diepe en omvangrijke zandwinning werden verschillende geologische lagen aangesneden en dat verklaart de grote variatie in de korrelgroottes. Bij de omvangrijke zandwinning voor de versterking van de Hondsbossche en Pettemer zeewering vallen de korrelgrootteverdelingen in tenminste twee populaties uiteen, met duidelijk verschillende mediane korrelgroottes (Figuur 23). Bij het zoeken van wingebieden voor zandsuppleties zijn gebieden met veel stenen (bij Texel) en grof zand (bij Vlieland) als wingebied, zodat het daadwerkelijke patroon in de korrelgrootteverdeling op de Noordzeebodem iets anders kan zijn.

Voor de korrelgrootteverdeling van suppleties, het strand en het duin is het complexer, hier mag alleen binnen elke set vergeleken worden, omdat de monsternamen, voorbehandeling en analyse anders heeft plaatsgevonden. Uitspraken over de ruimtelijke patronen binnen de sets zijn daarmee mogelijk. De uitzondering hierop is de set van gegevens van de ecologische monitoring voor Ameland en Schiermonnikoog, waarin onderlinge verschillen in de methodiek zitten in de opeenvolgende jaren.

De opnamejaren van de verschillende sets omvatten tenminste 30 jaar. Vanwege de verschillen tussen de sets en de vraag of de bemonstering voldoende representatief is, is het niet mogelijk om vast te stellen of in de loop van de jaren een verandering van de korrelgrootte (vergroving of verfijning) van het strand en duinzand heeft plaatsgevonden.

Bovenstaande betekent ook dat aan de vergelijking in paragraaf 4.3 van wingebied, via beun naar het strand/suppletie geen kwantitatieve waarde mag worden toegekend. Dat betekent dat er op basis van de waarnemingen geen conclusies kunnen worden getrokken over de effecten van de winning en het suppleren op de korrelgrootteverdeling van het zand.

On in de toekomst wel conclusies te kunnen trekken over de mogelijk invloed van suppleties op de korrelgrootteverdeling, is aanvullende monsternamen en analyse nodig. Voor het uitvoeren van een vergelijking tussen van wingebied, via beun naar suppletie moet worden gewaarborgd dat:

- Voldoende metingen worden uitgevoerd voor het wingebied, van de beun en op het strand. Voldoende betekent enerzijds dat recht wordt gedaan aan de variatie in de korrelgroottesamenstelling, binnen de praktische en financiële mogelijkheden. Bij de aanbevelingen wordt hier nader op in gegaan.
- De voorbehandeling (wel niet bevriezen/koelen van de monster, wel of niet verwijderen van kalk en organisch materiaal) en analyse (zeven, gravimetrisch, laser particle sizer) van de monsters op dezelfde wijze plaatsvindt (bij voorkeur in hetzelfde laboratorium, door dezelfde analisten).

5.2 Suppleties en korrelgrootte

Verschillende studies wijzen op de relaties tussen de ecologische eigenschappen van duin en strand en de korrelgrootteverdeling, de geochemische samenstelling, de korrelvorm en het percentage schelpen schelpen (zie o.a. Van der Wal e.a., 1995; Janssen en Mulder, 2004; Stuyfzandt e.a., 2010; Leewis e.a. 2012). Deze relaties verlopen direct, bijvoorbeeld door de invloed van de sedimenteigenschappen op het strandhabitat en indirect, bijvoorbeeld door de mate van verstuiving vanaf het strand.

Zandsuppleties kunnen in potentie de eigenschappen van het strandzand veranderen en kunnen daarmee de ecologische eigenschappen van strand en duin beïnvloeden⁵. De cumulatieve omvang van de zandsuppleties op de Nederlandse kust is dusdanig groot dat berekend kan worden dat een merkbaar deel van het zand in het actieve profiel op strand en de vooroever uit gesuppleerd materiaal bestaat. Voor intensief gesuppleerde gebieden (zoals Texel) is dat goed te bepalen, terwijl voor gebieden waar niet (Schiermonnikoog) of nauwelijks (Terschelling) is gesuppleerd geen sprake van merkbare invloed van suppleties zal zijn.

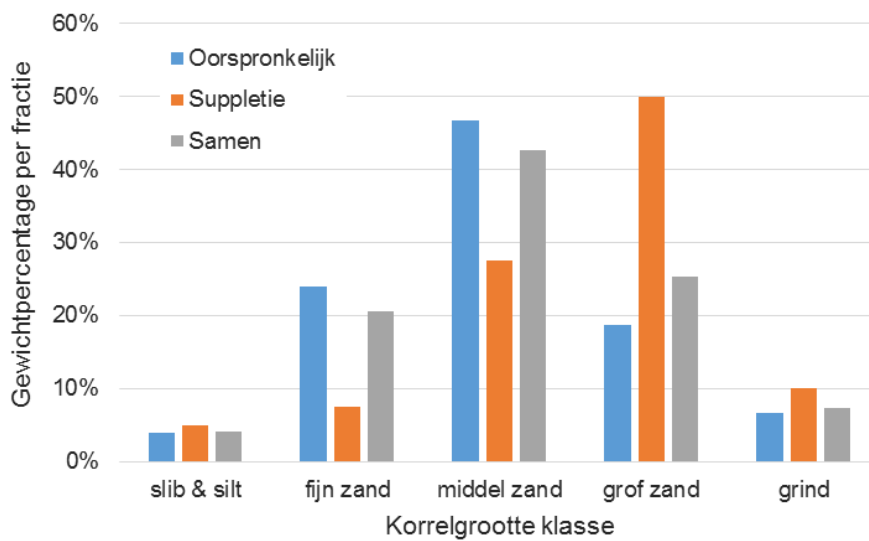
Op basis van de analyses uit het voorliggende rapport en andere studies (o.a. Leeuwis e.a., 2012) kan niet worden vastgesteld of zandsuppleties de korrelgrootteverdeling van strand en onderwateroever lokaal hebben beïnvloed. Een meer theoretische beschouwing kan daar nog wel licht op werpen. Of zandsuppleties de korrelgrootteverdeling van het strand of de vooroever kan beïnvloeden, wordt bepaald door de omvang van de suppleties én de korrelgrootteverdelingen. De omvang van de suppletie wordt in onderstaand rekenvoorbeeld beschouwd in verhouding tot het zand dat op de vooroever, op het strand en in de duinen in beweging is. Het zand van de suppletie wordt door alle morfodynamische processen (omwerking door golven en wind, verplaatsing van troggen en banken) gemengd met deze zone.

De relatieve invloed van korrelgrootteverdeling en omvang van de suppletie op de uiteindelijke korrelgrootte kan worden geïllustreerd met een rekenvoorbeeld. In dat voorbeeld wordt uitgegaan van een suppletie met een omvang van $1 \times 10^6 \text{ m}^3$ (dit komt overeen met een suppletie met een lengte van 2 km, gemiddeld 2 m dik over een breedte van 500 m). Voor de omvang van de actieve zone wordt een volume $3,75 \times 10^6 \text{ m}^3$ aangehouden, overeenkomend met een gebied van 5 km lang, 750 m breed en 1 m dik⁶. De korrelgrootteverdeling van de actieve zone voor het aanbrengen van de suppletie, is als 'oorspronkelijk' aangegeven in Figuur 48. De gemiddelde korrelgrootte van de actieve zone bedraagt $341 \mu\text{m}$. Ook de korrelgrootteverdeling van de relatief grove suppletie is aangegeven in de grafiek en de gemiddelde korrelgrootte daarvan bedraagt $480 \mu\text{m}$. In de suppletie is een veel grotere fractie grof zand aanwezig dan in het oorspronkelijke materiaal. In Figuur 48 is ook de korrelgrootteverdeling van de actieve zone in combinatie met het gesuppleerde zand zichtbaar, onder 'samen'. Dit is de korrelgrootteverdeling nadat volledige menging heeft plaatsgevonden van het suppletiezand en de actieve zone. De gemiddelde korrelgrootte van het mengsel is $371 \mu\text{m}$.

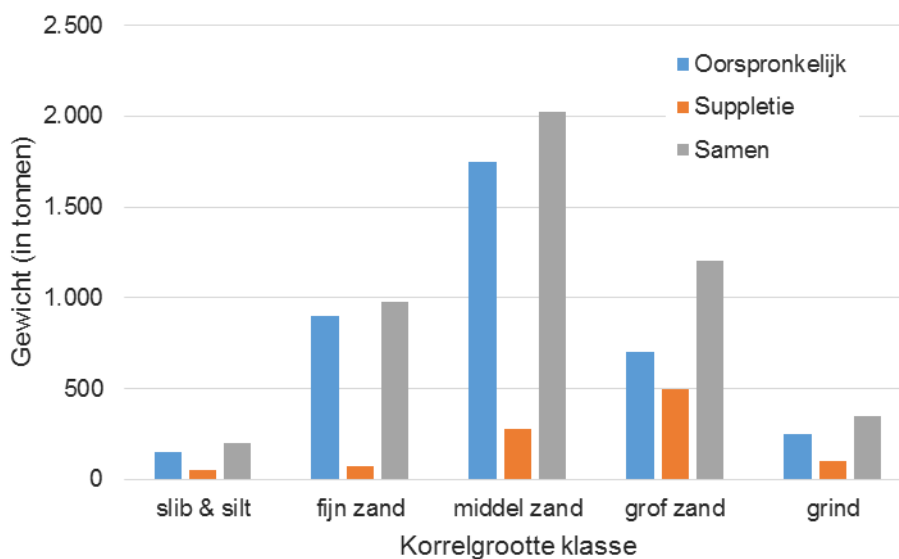
De toename met $30 \mu\text{m}$ lijkt heel beperkt in vergelijking met het veel grotere verschil tussen het oorspronkelijke materiaal en het suppletiezand. De beperkte toename is het gevolg van de menging van het suppletiezand in de groter actieve zone. Dit is inzichtelijk gemaakt door, in aanvulling op de grafiek met de percentages in Figuur 48 ook Figuur 49 op te nemen met de absolute bijdrage (in tonnen) per korrelgrootteklasse. In deze figuur is zichtbaar dat de absolute bijdrage van de suppletie op het aanwezige zand beperkt is.

⁵ Zandsuppleties veranderen ook andere eigenschappen van het strand en de vooroever, zoals de vorm van het profiel en de sedimentbalans. Deze veranderingen hebben ook invloed op de ecologische eigenschappen, maar worden in deze beschouwing buiten beschouwing gelaten.

⁶ De omvang van de actieve zone is een inschatting, op basis van evaluaties van onderwatersuppleties.



Figuur 48 Rekenvoorbeeld met korrelgrootteverdelingen van de actieve zone voor suppleren (Oorspronkelijk), de suppletie en de actieve zone gemengd met het suppletiezand (Samen).



Figuur 49 Rekenvoorbeeld met de bijdrage per korrelgrootteklasse van de actieve zone voor suppleren (Oorspronkelijk), de suppletie en de actieve zone gemengd met het suppletiezand (Samen).

Het rekenvoorbeeld is bedoeld om te illustreren dat de korrelgrootteverandering die door een suppletie, of opeenvolgende suppleties wordt geïntroduceerd, minder groot kan zijn dan verondersteld op basis van de korrelgrootte van de suppletie(s). De belangrijke aannames hierbij zijn dat de actieve zone groter is dan de suppletie en dat volledige menging plaatsvindt. Met de kennis van de dynamiek van strand en onderwateroever lijkt de eerste aanname gerechtvaardigd. De tweede aanname is alleen gerechtvaardigd als de hele suppletie ‘meedoet’ en in de actieve zone wordt omgewerkt. Hierin zit ook een tijdsaspect besloten, het kost enige tijd (afhankelijk van de omvang van de suppletie en de lokale dynamiek: maanden tot enkele jaren) voordat de omwerking heeft plaatsgevonden. Voor onderwatersuppleties, die zijn geplaatst in dynamische zone van troggen en banken is dit zonder meer te rechtvaardigen. Voor strandsuppleties die tot hoog in het profiel reiken, dat wil zeggen met een bovenzijde die tot ruim boven hoogwater reikt, is dat waarschijnlijk niet het geval. Dergelijke banketten kunnen lang aanwezig blijven op het strand, zonder dat het suppletiezand wordt omgewerkt. De invloed op de korrelgrootteverdeling van zo’n banket kan ter plaatse van de suppletie groter zijn en net zo lang aanwezig blijven als de suppletie zelf.

Uit het rekenvoorbeeld en de kanttekeningen die daarbij zijn gemaakt, zijn een aantal aanbevelingen te destilleren die betrekking hebben op de invloed van zandsuppleties op de korrelgrootte. Het uitgangspunt daarbij is dat, vanwege de relatie tussen sedimenteigenschappen en ecologische waarde, de oorspronkelijke korrelgrootteverdelingen van onderwateroever, strand en duin zoveel mogelijk behouden dienen te blijven. Om dat te bereiken geldt:

- Voor suppleties in gebieden waar veel is en wordt gesuppleerd en de invloed van het suppletiezand op de korrelgrootteverdeling groter is, dient de korrelgrootteverdeling van het suppletiezand goed aan te sluiten op de oorspronkelijk aanwezige verdeling;
- Omgekeerd geldt dat voor suppleties in gebieden waar slechts incidenteel wordt gesuppleerd het minder belangrijk is om aan te sluiten de op de oorspronkelijke korrelgrootteverdeling;
- Voor suppleties die in de actieve zone worden geplaatst (reguliere onderwatersuppleties, 'lage' strandsuppleties) hoeft de korrelgrootteverdeling minder goed aan te sluiten dan bij suppleties die buiten de actieve zone worden geplaatst (banketten tot hoog op het strand, duinverzwaringen, onderwatersuppleties op dieper water).

Wat betreft de korrelgrootteverdeling kan erop worden gewezen dat het patroon in de korrelgrootte op strand en duin langs de Nederlandse kust overeenkomt met het patroon van de korrelgrootte in de wingebieden. Het patroon bestaat uit relatief grof zand op de Zeeuwse kust en in de nabijgelegen wingebieden en fijn zand op de Waddeneilanden en in de wingebieden die daarbij liggen. Dit vergelijkbare patroon heeft haar oorsprong in de ontstaansgeschiedenis van de Nederlandse kust in het Holoceen, waarbij overwegende verplaatsing van sediment dwars op de kust heeft plaatsgevonden en het transport langs de kust beperkt is geweest. De oorsprong van het zand dat van nature op het Nederlandse strand en in de duinen aanwezig is, ligt in de Noordzee. Wat betreft het sturen op de eigenschappen van het suppletiezand, kan voor de korrelgrootte de bestaande praktijk worden gevolgd, waarbij een zoekgebied in de Noordzee op korte afstand van het suppletiegebied wordt uitgezocht. Op basis van boringen, monsternamen en korrelgrootteanalyses van de het zoekgebied kan daarbinnen het wingebied worden bepaald, met een korrelgrootte die aansluit bij het suppletiegebied.

5.3 Conclusies

Kwantitatieve conclusies over de verschillen in de korrelgroottes kunnen op basis van de beschikbare gegevens niet worden getrokken. De reden hiervoor is dat de bemonstering, voorbehandeling en meetmethode verschilt voor wingebied, beun en strand en suppletie.

Binnen de deelgebieden/bemonsteringen (wingebied, beun, onderwateroever/strand/duin) is wel een vergelijking mogelijk van de korrelgrootteverdeling. Het grootschalige patroon van de korrelgroottes in de wingebieden en op onderwateroever/strand/duin is vergelijkbaar, met het grovere zand in het zuiden en het fijnere zand in het noorden. Wel zijn er op de Noordzee gebieden met grover sediment (grond, stenen). Omdat die gebieden zoveel mogelijk vermeden worden als wingebied, blijkt dit niet uit de korrelgrootteverdelingen.

Om wel een vergelijking te kunnen maken tussen wingebied, beun en strand en suppletie zijn aanvullende gegevens nodig, die alleen verkregen kunnen worden door gerichte bemonstering en analyse.

Gegevens over andere sedimenteigenschappen, zoals de vorm van de korrels en het schelpgehalte worden niet structureel ingewonnen en gerapporteerd. Het lijkt niet praktisch mogelijk om dergelijke gegevens te verzamelen en te rapporteren.

De korrelgroottegegevens van de beun van de baggerschepen geven aan dat niet al het fijne sediment in het wingebied in de Noordzee vrijkomt. Deze informatie kan worden gebruikt om de berekeningen over slibverspreiding in de Noordzee te verfijnen.

5.4 Aanbevelingen

In dit hoofdstuk zijn al aanbevelingen opgenomen ten aanzien van het bemonsteren en analyseren van wingebieden, beun, suppletie en strand, gevolgd door voorbehandeling en analyse op identieke wijze. Essentieel is dat om onderlinge vergelijking mogelijk te maken, de voorbehandeling (wel niet bevriezen/koelen van de monster, wel of niet verwijderen van kalk en organisch materiaal) en analyse (zeven, gravimetrisch, laser particle sizer) van de monsters op identieke wijze plaatsvindt (bij voorkeur in hetzelfde laboratorium, door dezelfde analisten).

In paragraaf 5.2 zijn aanbevelingen opgenomen voor de complementariteit tussen de korrelgroottes van win- en suppletiegebied.

In aanvulling op de bovengenoemde aanbevelingen volgen hier de aanbevelingen over de bemonstering van de verschillende gebieden en de beun tot en met de rapportage. Deze aanbevelingen zijn er op gericht om de bruikbaarheid van korrelgroottebepalingen voor analyses en onderzoeken te vergroten.

Om antwoord te krijgen op de vraag welke relatie er is tussen de korrelgrootte van het zand in het wingebied, het zand in de beun van de schepen en het zand van de zandsuppletie is het aan te bevelen om dit voor één suppletie te onderzoeken. Met de aanbeveling over de onderlinge vergelijkbaarheid in het achterhoofd, betekent zo'n onderzoek dat alle verzamelde monsters op de identieke wijze worden voorbehandeld en geanalyseerd, bij voorkeur in hetzelfde laboratorium door dezelfde analisten. Zo kan worden vastgesteld of bij de betreffende suppletie sprake is van structurele veranderingen in de korrelgrootte van wingebied tot suppletie.

Representativiteit van de monsternamen

Bij het zetten van boringen en het nemen van monsters in het wingebied, de beun, van suppleties, op het strand, op de onderwateroever en in de duinen is de intentie dat de steekproef representatief is. Dit is een buitengewoon lastig aspect van de bemonsteringen, omdat op voorhand lang niet altijd duidelijk welke variatie te verwachten is in het te bemonsteren gebied. Dit kan het beste worden geïllustreerd met een voorbeeld. Door Van der Wal e.a. (1994) is achteraf vastgesteld dat voor het ene wingebied 2 boringen volstonden om de variatie te beschrijven, terwijl voor het andere wingebieden 7 nog niet voldoende waren om de variatie te beschrijven. Het verschil heeft te maken met de lokale opbouw van de ondergrond, die afhankelijk is van een veelvoud aan factoren (periode van afzetting, afzettingsmilieus,...). Dit betekent dat op basis van de kennis van het ene wingebied, geen uitspraken kunnen worden gedaan over het noodzakelijke aantal boringen in andere wingebieden. Voor de variatie in de korrelgrootte op het strand en de vooroever geldt dit in iets mindere mate (het afzettingsmilieu is hetzelfde), maar toch kan veel variatie optreden. De variatie op het strand treedt op in het vlak en in de verticaal.

Naast de gewenste representativiteit van de boringen en bemonsteren spelen praktische en financiële aspecten een rol. Zo is het uitvoeren van boringen op zee (wingebied, vooroever) een dure activiteit door de vereiste inzet van een schip, bemanning en apparatuur en kost ook de verwerking van de boringen (opensnijden, beschrijven, bemonsteren) veel geld. Bij het plannen van een boorcampagne op zee moet rekening worden gehouden met de beschikbaarheid van schepen, apparatuur, mensen en het weer. Het uitvoeren van een bemonsteren op het strand is in vergelijking met een boorprogramma op zee beduidend minder duur. Het vereist ook de nodige planning (onder andere rekening houden met hoog- en laagwater) en in sommige gevallen (Waddeneilanden, Zeeuws-Vlaanderen) relatief veel reistijd. In vergelijking met het uitvoeren van boringen en bemonstering is de uiteindelijke analyse van de korrelgroottes een relatief beperkte kostenpost.

Bemonstering van de wingebieden

Voor voldoende representativiteit is het uitvoeren van veel boringen en het verzamelen van veel monsters gewenst ('liever teveel dan te weinig'). Vanwege de praktische aspecten en de kosten is dat zelden een werkbare strategie. Het bepalen van een redelijk compromis, kan gebeuren op basis van praktische ervaring. Voor de wingebieden betekent dat gebruik wordt gemaakt van bekende geologische informatie over de verbreiding van aspecten (reeds uitgevoerde boringen, seismiek en denkmodel: Deltares, 2017). Op grond van de variatie die onder andere in het voorliggende rapport is gerapporteerd, moet bij bemonsteren voor de korrelgrootte van één wingebied worden gedacht aan tenminste enkele boringen en een tiental

korrelgroottebepalingen. Door het benutten van de bestaande geologische informatie en het opstellen van geologische modellen voor de wingebieden (Deltares, 2017), kan gerichter worden geboord, zodat de alle aanwezige geologische lagen worden bemonsterd. Indien voldoende betrouwbare geologische informatie beschikbaar is (in de vorm van boringen en geïnterpreteerde seismische informatie) kan een ruimtelijk geologisch model worden opgebouwd en gecombineerd met korrelgroottegegevens. Daarmee komt kwantitatieve informatie beschikbaar over de volumes met verschillende korrelgroottes in de wingebieden.

Bemonsteren van de beun

Bij de reguliere bemonstering van de beun wordt per 500.000 m³ één monster genomen. In zandwingebieden met weinig variatie in de ondergrond is dit voldoende om inzicht te krijgen in de korrelgrootte van het gesuppleerde zand. De gegevens van de beunladingen van de versterking van de Hondsbossche en Pettemerzeewering laten twee populaties zien, die ook met een minder intensieve bemonstering en analyse waren gedetecteerd. De korrelgrootteanalyses van alle scheepsladingen van de aanleg van Tweede Maasvlakte laten meer variaties zien, zowel in de korrelgroottes, als in de slibgehalten. Waarschijnlijk heeft dit te maken met de omvang en diepte van deze zandwinning en mogelijk ook met de geologische opbouw van het wingebied.

Voor de beunbemonstering van zandwingsuppleties, waarbij het wingebied een complexe geologische opbouw heeft is het wenselijk om meer monsters te nemen dan de 1 per 500.000 m³, bijvoorbeeld door in dergelijke gevallen 1 monster per 100.000 m³ te nemen en te laten analyseren. Zo kan worden voorkomen dat het beeld van de korrelgrootte wordt bepaald door één uitbijter, wanneer in de bemonsterde beun toevallig net een relatieve grove of relatief fijne geologische laag terecht is gekomen.

Voor het uitvoeren van gericht onderzoek naar de relatie tussen korrelgroottes van het wingebied, de beun en de suppleties is het niet voldoende om te volstaan met 1 monster per 500.000 m³. Bij voorkeur wordt dan uit elke scheepslading één monster genomen, waarvan de korrelgrootte wordt bepaald. Mogelijk blijkt dan achteraf dat het wel wat minder had gekund, omdat veel van de korrelgrootteverdelingen overeen komen. Maar dat is beter dan achteraf constateren dat mogelijk informatie is gemist. Een alternatieve benadering is om de wel alle scheepsladingen te bemonsteren en daarvan dan in eerste instantie een deel te laten analyseren. Mocht later blijken dat informatie mist, dan kan alsnog analyse plaatsvinden van de resterende monsters.

Bemonsteren van suppleties

Het bemonsteren van een (onderwater)suppletie moet bij voorkeur tijdens de uitvoering van de suppletie, of snel (binnen een tot twee weken) na de afronding van de suppletie worden uitgevoerd. Na de afronding van de suppletie vindt direct transport van zand en sortering van korrels plaats. Langer wachten na afloop van de suppletie betekent dat de kans toeneemt dat resultaten worden beïnvloed door de herverdelingsprocessen. Een bemonstering van strand, duin en suppletie zal tenminste een tiental monsters en korrelgroottebepalingen omvatten.

Strandsuppleties

Hoewel het bewerkelijk is, is het zinvol om bij ten minste een deel van de monsterpunten een putje te graven. Een blik op het profiel in zo'n putje kan namelijk in veel gevallen duidelijk maken of er sprake is van een 'actieve zone', waarin het zand is omgewerkt en van origineel suppletiezand. Het zand van de suppletie kan dan afzonderlijk worden bemonsterd van het zand in de actieve zone. Dit betekent wel dat hierover ook duidelijk wordt gerapporteerd, zodat ook achteraf nog kan worden vastgesteld welk monster op welk materiaal betrekking heeft. Foto's van het bemonsterde gebied, monsterlocaties en van eventuele putjes zijn een zinvolle aanvulling op een beschrijving met coördinaten, hoogte en de dikte van de bemonsterde laag.

Vooroeversuppleties

De waterdiepte ter plaatse van onderwatersuppleties betekent dat vanaf een schip bemonsterd moet worden. Het type schip dat wordt ingezet bepaald de mogelijkheden voor de bemonstering. In de praktijk wordt eigenlijk alleen bemonstering met bodemhappers of boxcorers uitgevoerd bij een onderwatersuppletie. Als de mogelijkheid bestaat om boxcores te nemen, dan is het aanbevelenswaardig om dat te doen. De kernen van de boxcorers bieden namelijk dezelfde mogelijkheid als de putjes op het strand, namelijk een blik op het bodemprofiel. De blik op het profiel levert inzicht in de eventuele aanwezigheid van een actieve laag en van gesuppleerd sediment. Van de verschillende lagen kunnen dan gericht monsters worden verzameld.

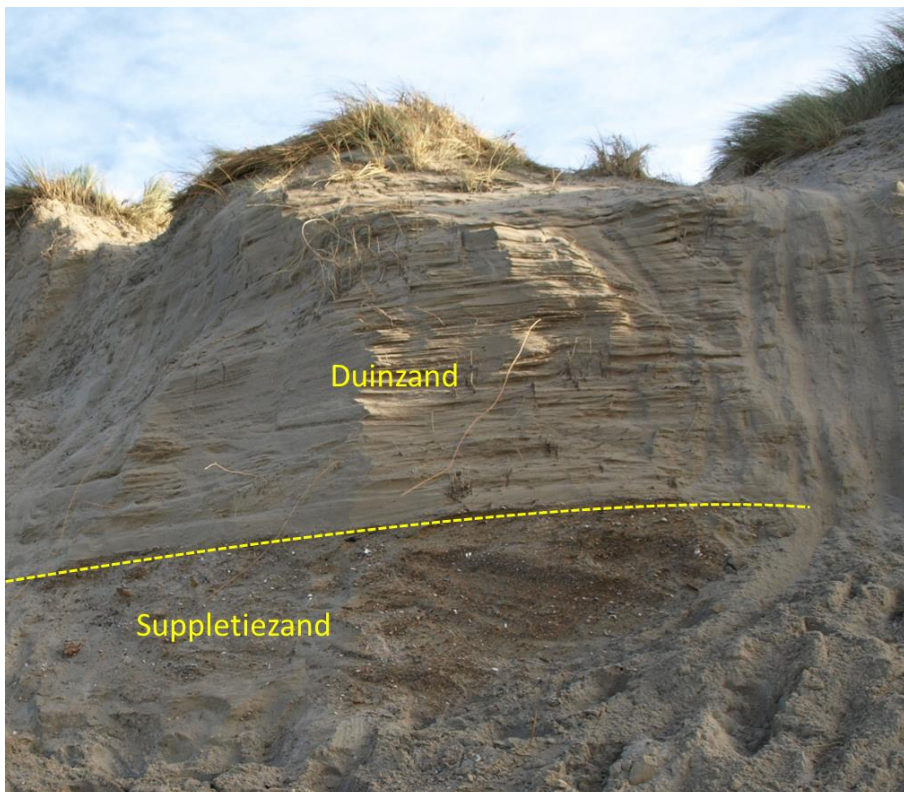
Van een dergelijke monsternamen dient net verslag te worden gedaan, met inbegrip van foto's van de bodemprofielen met monsterlocaties, zodat kan worden getraceerd op welk soort monster de korrelgroottebepaling betrekking heeft. Logischerwijs moet alle relevante informatie (posities, hoogte, dikte van de bemonsterde laag) worden genoteerd en gerapporteerd.

Monsternamen en beschrijving

Het beschrijven en bemonsteren van boorkernen, van het strand en van kernen van boxcorers is een vak. Training en ervaring met het bekijken en beschrijven van de profielen is gewenst, zodat de juiste monsters worden verzameld.

Ter illustratie is in Figuur 50 een foto opgenomen van een duinklif waarin twee typen sediment zichtbaar zijn, met heel verschillende structuren, korrelgroottes en sortering en schelpen. Ook is structuurloos zand zichtbaar aan de onderzijde en aan beide zijden, dat is ontstaan door betreding. Het bovenste deel van het klif bestaat uit fijn zand, dat zeer goed is gesorteerd. In het zand zijn de structuren zichtbaar die kenmerkend zijn voor de duinvorming. In combinatie met de setting, aan de bovenzijde van het klif en de restanten van de duinvegetatie is dit geïnterpreteerd als duinzand. Het sediment aan de onderzijde is veel grover dan het duinzand, slecht gesorteerd en zit vol schelpen. De structuren in combinatie met de korrelgrootte en sortering duiden op snelle afzetting, zoals die plaatsvindt tijdens een zandsuppletie. Het is dan ook aangeduid als suppletiezand. Strandzand heeft heel andere karakteristieken, hoewel het lokaal (rond brekerbanken) wel enigszins vergelijkbare structuren kan vertonen. De interpretatie op deze locatie wordt geholpen door de positie hoog boven het eigenlijk strand en de kennis dat in dit gebied meerdere suppletie zijn uitgevoerd.

Bemonsteren van een dergelijk duinklif, met duinzand en suppletiezand kan een monster opleveren van duinzand, als boven het grensvlak is bemonsterd, van suppletiezand als er onder wordt gemonsterd, of van een combinatie als beide worden meegenomen. Oefening met het herkennen van de verschillende typen afzettingen en dit meenemen bij het uitvoeren en rapporteren van de bemonstering helpt bij de analyse en de interpretatie van korrelgrootteverdelingen.



Figuur 50 Foto van een duinklif (steilwand) bij het Zwin (Zeeuws Vlaanderen), waarin aan de onderzijde grof, slecht gesorteerd en schelprijk materiaal aanwezig is en aan de bovenzijde goed gesorteerd fijn zand (foto J. Cleveringa, dec 2015).

Gecombineerde rapportage

De informatie van de bemonstering wordt eerst verzameld, waarna de korrelgrootte bepaling worden uitgevoerd. Vaak resulteert dit in twee afzonderlijke rapportages van de monsternamen en de korrelgroottebepaling. Uitzondering op deze regel zijn de rapportages over de sedimentsamenstelling in de wingebieden. De waarde van de korrelgroottegegevens wordt medebepaald door de compleetheid van informatie over de monsternamen. Het verdient aanbeveling om ook voor andere bemonsteringen te investeren in complete rapportages (inclusief foto's van monstergebied, profielen etc.). Juist voor toekomstige projecten is een zo compleet mogelijke en integrale rapportage zinvol.

6 LITERATUUR

- BGS & RGD, 1984. Flemish Bight, Sheet/Kaartblad 52°N-02°E, Sea bed sediments and Holocene- Holocene en oppervlaktesedimenten. Geologische kaart.
- Blauw, M., M. de Kleine, L. Vonhögen-Peeters, S. van Heteren, J. de Weert, P. van Gaans & Veronique Marges, 2017. Rapportage geologisch onderzoek zoekgebieden. Deltares rapport 1230624-003-BGS-0002
- CUR, 1987. Handboek Zandsuppleties. Uitgave CUR, Rijkswaterstaat en WL|Delft Hydraulics. CUR
- de Vries, R. 2009. Korrelgrootte karakteristiek van het strand; Effecten van suppleties op het sediment en profiel van het strand. Afstudeeronderzoek Van Hall Larenstein, Leeuwarden.
- Deltares, concept. Ontwikkeling van het bodemleven in de vooroever na aanleg van een onderwatersuppletie 2009-2014. concept rapport.
- Den Hartog, G. & G. Spronk, 1997. Deeltjesgrootte bepaling met voorbehandeling (RIKZ-methode) en zonder voorbehandeling (McLaren-methode). Rijkswaterstaat RIKZ, Notitie RIKZ/97.0807.
- Geschiere, M. 2009. Grondonderzoek zandwingebieden Noordzee 2010, ARCADIS D03011.006005
- Guillén, J. & P. Hoekstra, 1996. The "equilibrium" distribution of grain size fractions and its implications for cross-shore sediment transport: a conceptual model. Marine Geology Volume 135, p. 15–33.
- Holzauer, H., T. Vanagt, K. Lock, M.C. van Oeveren, A. de Backer, K. Hsotens, J. van Daltsen, J. Reinders. 2014, Ecologische effecten suppletie Ameland 2009-2012; Interim rapportage ihkv KPP B&O Kust Ecologie. Rapport Deltares 1207723-000-ZKS-0013.
- Huisman, B.J.A. E.E. Sirks, L. van der Valk, D.J.R. Walstra, 2014. Time and spatial variability of sediment grading in the surfzone of a large scale nourishment. Journal of Coastal Research: Special Issue 70 - Proceedings of the 13th International Coastal Symposium: 127-132. 2014
- Janssen, G.M. & S. Mulder. 2004. Ecologie van de zandige kust. Rijkswaterstaat, RIKZ 2004.033
- Janssen, G.M., L. Leewis, S. Marx (2011). Mitigation of the ecological effects of nourishment on sandy shores, a case study. In: Bayed, A. (ed.). Sandy beaches and coastal zone management. Proceedings of the Fifth International Symposium on Sandy Beaches – 19th – 23rd October 2009, Rabat, Marocco Travaux de l'Institut Scientifique, Rabat, Série Général; pp 121-123.
- Kohsiek, L.H.M., "De korrelgrootte karakteristiek van de zeereep (stuifdijk) langs de Nederlandse kust," RWS, 1984.
- Koomans R.L. & J. Van Daltsen, 2006. Brandingzone Schiermonnikoog; Bodemsamenstelling en ecologie. MEDUSA Project: 2005-P-090.
- Laban, C. 2014. Onderzoek zandwingebieden Walcheren NW ondiep, Walcheren ZW1 ondiep, Zeeuws Vlaanderen 1 diep, Zeeuws Vlaanderen 4 diep, Marine Sampling Holland MN-00622
- Leewis, L., Bodegom van, P.M., Rozema, J., Janssen, G.M. (2012). Does beach nourishment have long-term effects on intertidal macroinvertebrate species abundance? Estuarine, Coastal and Shelf Science, Volume 113, Pg 172-181.
- Maarten A. Prins & Jan-Berend W. Stuur (1999) 'Evaluation of the MALVERN 2600 laser-diffraction size analyser for use with fine-grained sediments'. Chapter 2 in: Prins, M.A., 1999. Pelagic, hemipelagic and turbidite deposition in the Arabian Sea during the Late Quaternary. Geologica Ultraiectina No. 168, Utrecht University, Ph.D. thesis, 192 pp.

Oyen T. V. Van Lancker, H. de Swart, 2013. De Noordzeebodem: een landschap vol pieken en dalen. De Grote Rede 35. p.17-22.

PIA, 2004. Beton- en metselzand uit de Noordzee? : eindrapport van de PIA Subwerkgroep Zeezand : resultaten van de haalbaarheidsstudie naar beton- en metselzandwinning voor de Hollandse en Zeeuwse Kust. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde (RWS, DWW), Expertisecentrum Bouwstoffen, begel. onderzoek Werkgroep Plan Implementatie Alternatieven Beton- en Metselzand (PIA), Subwerkgroep Zeeland. Red. M.W.I.M. van Heijst. Rapportnr. DWW-2004-001; Publicatiereeks grondstoffen ; 2004/1.

Rijkswaterstaat 2011. Kustlijnkaarten 2012.

Roberti, J.R. (2001). Meten met MEDUSA. Den Haag, Ministerie van Verkeer en Waterstaat/RIKZ: 1-30.

Rieu, R. S. van Heteren, A.J.F. Van der Spek & P.L. De Boer, 2005. Development and Preservation of a Mid-Holocene Tidal-Channel Network Offshore the Western Netherlands. Journal of Sedimentary Research 75(3):409-419

Spronk, G. & I. Bakker, 2012. Afstemming deeltjesgroottebepaling tbv MONEOS, verslag VNSC - werkgroep O&M - projectgroep Monitoring en Data.

Stuyfzand, P.J., S.M. Arens en A.P. Oost 2010. Geochemische effecten van zandsuppleties langs Hollands kust.KWR-rapport KWR 2010.048. De Vries

van der Meulen, M.J., S.F. van Gessel, J.J. Tiemersma & T.A.G.P. van Dijk. 2004. Grind en stenen voor de kust van Texel en de winbare voorraad suppletiezand. TNO-rapport NITG 04-236-B11299.

Van der Spek, A.J.F., A.C. de Kruif & R. Spanhoff, 2007. Richtlijnen Onderwatersuppleties. Rijkswaterstaat, RIKZ rapport 2007.012.

Van der Valk, A. 1992, Mid- and Late-Holocene Coastal Evolution in the Beach-Barrier Area of the Western Netherlands, PhD thesis Amsterdam (VU).

Van Rijn, 1993. Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas. Boek.

Wal, D. van der; Peters, B.A.M.; van der Putten, W.H.; van Tongeren, O.F.R. 1995. Inventariserend onderzoek naar de ecologische effecten van zandsuppletie. Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ. Ministerie van Verkeer en Waterstaat: The Netherlands. 110 pp

Zonneveld, P.C. (1994). Vergelijkend onderzoek korrelgroottebepaling (zeef/Malvern). Rijks Geologische Dienst. Rapport no. OP 6500.

COLOFON

KORRELGROOTTE VAN ZANDWINGEBIED TOT STRAND ANALYSE VAN GEGEVENS

KLANT

Rijkswaterstaat Zee en Delta

AUTEUR

Jelmer Cleveringa
Nathanaël Geleynse
Jessica Bergsma

PROJECTNUMMER

C03041.002060

ONZE REFERENTIE

083966612

DATUM

22 juli 2019

STATUS

Definitief

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 137
8000 AC Zwolle
Nederland
+31 (0)88 4261 261

www.arcadis.com