

Memo

Datum 21 december 2022	Ons kenmerk 11208040-012-ZKS-0001	Aantal pagina's 1 van 30
Contactpersoon Lynyrd de Wit, Dick Mastbergen	Doorkiesnummer +31(0)88 335 7728	E-mail Lynyrd.deWit@deltares.nl

Onderwerp
Registratie baggerwerkzaamheden in de Waddenzee

Inhoud

1	Aanleiding	2
2	Toelichting rol Rijkswaterstaat	3
2.1	Beheer vaargeulen in de Waddenzee	3
2.2	Beheerplan	4
2.3	Trends in geregistreerde baggervolumes	5
2.4	MARS	8
3	Toegepaste baggermethoden en registratie	9
3.1	Baggermethoden in de Waddenzee	9
3.2	Baggervolumeregistratie	13
3.2.1	Sleephopperzuigers	13
3.2.2	Ploegen en agitatiebaggeren	14
3.2.3	Grijperkraan en backhoe	15
4	Bodemonderzoek baggervakken	15
4.1	Peilingen	15
4.2	Bodemsamenstelling onderzoek	16
5	Voorgestelde berekeningsmethode baggervolumes	18
5.1	In-situ baggervolume	18
5.2	Beunvolumes	20
6	Conclusies en Aanbevelingen	21
6.1	Conclusies	21
6.2	Aanbevelingen	22
6.2.1	Baggermethoden	22
6.2.2	Sediment	23
6.2.3	Eco-morfologische effecten	24
6.2.4	Invoering	24
7	Referenties	30

1 Aanleiding

Rijkswaterstaat is 2016 gestart met een programma voor de ontwikkeling van kennis over de morfologie van de Nederlandse Waddenzee en voor het inbedden hiervan in beleid en beheer. In dit programma wordt morfologische kennis op een structurele manier verzameld, geanalyseerd, geordend en geborgd. Daarnaast wordt de kennis toegankelijk gemaakt voor beleids- en beheervraagstukken op het gebied van veiligheid, bereikbaarheid, natuur en overige gebruiksfuncties. Hiertoe wordt afstemming gezocht met beleidsmakers, beheerders, adviseurs, wetenschappers en gebruikers van het wad. Het voorliggende memo wordt uitgebracht als onderdeel van dit kennisprogramma.

Deltares werkt voor Rijkswaterstaat aan het KPP onderzoeksprogramma HV09 2022 – Beheer en Onderhoud Waddenzee, om te zorgen voor een goede kennis- en informatiebasis voor diverse morfologische en sediment-gerelateerde vraagstukken in de Waddenzee. Het deelproject 9, Registratie baggerwerkzaamheden, heeft als doel om eenduidigheid te verkrijgen bij de registratie van de baggerhoeveelheden in de Waddenzee. De gerapporteerde gegevens dienen zo bruikbaar en representatief mogelijk te zijn voor de vertaling naar morfologische en ecologische effecten zoals vertroebeling die het baggerwerk teweeg brengen.

Baggerwerkzaamheden spelen een grote rol in de morfologie van de Waddenzee (Figuur 1). Baggergegevens zijn vaak aanleiding tot beleidsbeslissingen of onderzoek. De totale baggerhoeveelheid in de Waddenzee dient bijvoorbeeld onder 3.6 miljoen m³ per jaar te blijven. Deze baggergegevens worden echter niet eenduidig geregistreerd. Registratie verschilt per aannemer die de baggerwerkzaamheden uitvoert en de manier van registreren verschilt ook voor verschillende baggermethodieken.

In de periode 2010-2022 zijn meer dan zes verschillende aannemers voor Rijkswaterstaat actief geweest op de Waddenzee, met daarmee ook meer dan zes verschillende registratiesystemen (zie Tabel 1). Doordat de registratie verschilt per aannemer, is het niet duidelijk of de gegevens één op één vergelijkbaar zijn met elkaar. Zo kan het zijn dat de ene aannemer consistent een lager baggervolume rapporteert dan de andere aannemers, bijvoorbeeld door verschillende meetmethoden of verschillende aannamen in sediment dichtheid en samenstelling. Om trends in jaarlijkse baggervolumes te kunnen detecteren, zou er gestreefd moeten worden naar een uniform meet- en registratiesysteem. Daarom is er een deelproject opgestart om hier advies in te geven.



Figuur 1 Kwelder ten westen van pier bij Holwerd. Foto Deltares

De gevolgde aanpak is geweest om in een aantal interviews met betrokkenen van Rijkswaterstaat en de aannemers op het gebied van baggerwerk, contracten en registratiemethoden, aangevuld met een beknopt literatuuronderzoek, inzicht te verwerven en in voorliggend memo samen te vatten met een aanbeveling. De volgende interviews zijn gehouden voor dit project:

- Rijkswaterstaat mensen betrokken rondom het baggerwerk in Waddenzee en Eems;
- Rijkswaterstaat MARS team;
- Oud Rijkswaterstaat medewerker die jarenlang betrokken was bij de registratie van de baggerhoeveelheden in de Waddenzee;
- Via email contact met de baggeraars Van der Lee en Van der Kamp.

De resultaten van de interviews zijn vastgelegd in bespreekverslagen en zijn in deze memo verwerkt.

Na de kaderstelling in hoofdstuk 0 volgt in hoofdstuk 2 een toelichting op de rol van Rijkswaterstaat als beheerder van het Natura 2000 gebied en opdrachtgever voor het baggerwerk in de Wadden- en Noordzee, trends in de geregistreerde baggervolumes en een speciale paragraaf over het bij Rijkswaterstaat ontwikkelde registratiesysteem voor sleehopperzuigers MARS.

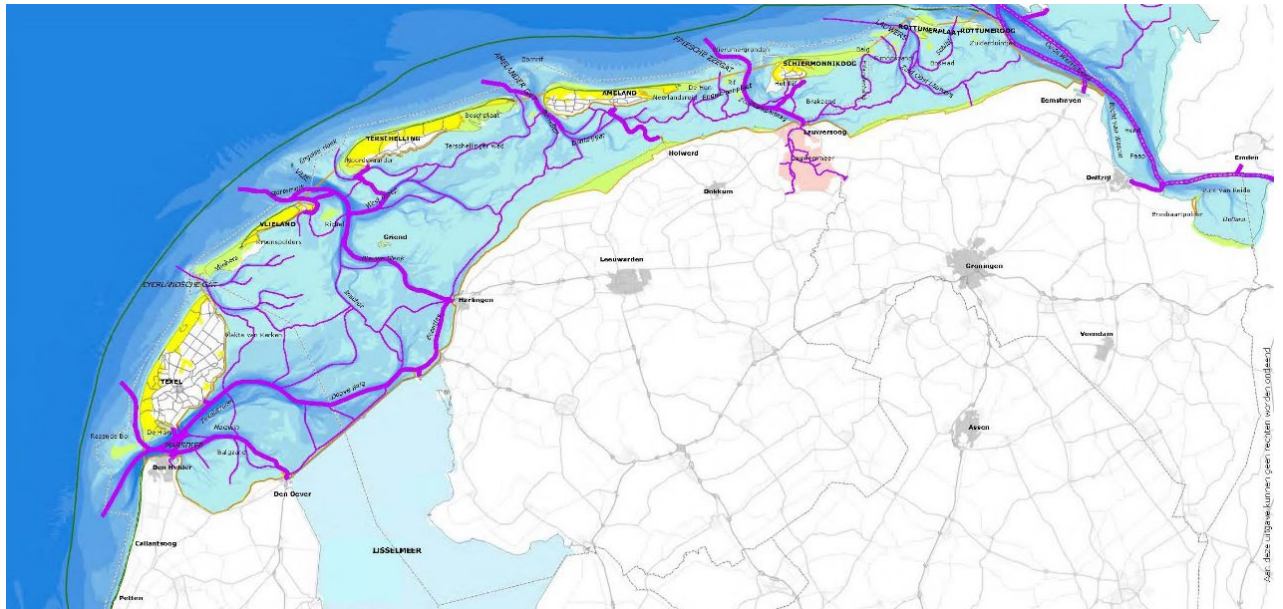
Hoofdstuk 3 beschrijft de toegepaste baggermethoden en registratiesystemen, hoofdstuk 4 het bodemonderzoek en hoofdstuk 5 de berekeningsmethoden waarmee een eenduidige registratie van baggervolumes kan worden gerealiseerd. Hoofdstuk 6 ten slotte geeft de conclusies en aanbevelingen en hoofdstuk 7 de referenties.

2 Toelichting rol Rijkswaterstaat

2.1 Beheer vaargeulen in de Waddenzee

Rijkswaterstaat (Noord-Nederland) beheert de vaargeulen in de Waddenzee (Figuur 2). De daarvoor gecontracteerde aannemer voert het onderhoudsbaggerwerk uit binnen de

voorwaarden die zijn opgesteld in het Natura-2000 beheerplan Waddenzee op basis van een prestatiecontract in het Programma Projecten en Onderhoud (PPO).



Figuur 2 Vaargeulen in Waddenzee (uit: Natura2000 Beheerplan Waddenzee)

Elk jaar wordt voor het vaargeulonderhoud in de Waddenzee in opdracht van Rijkswaterstaat rond 3 miljoen m³ zand en slib gebaggerd, waarvan ongeveer 1,5 miljoen m³ in de 12 km lange vaarweg Ameland-Holwerd, om het eiland bereikbaar te houden (Figuur 3).

Om de eco-morfologische effecten van baggeren en verspreiden in het Natura 2000 gebied te bepalen zijn modelstudies uitgevoerd en mede op basis daarvan zijn de verspreidingslocaties vastgesteld (Arcadis, 2016). Dit geldt alleen voor de toepassing van sleephopperzuigers waarbij het sediment van de baggervakken naar de verspreidingslocaties wordt gevaren. Voor agitatiebaggeren en ploegen is nog niet vastgesteld waar het sediment naar verwachting terecht komt en wat de eco-morfologische effecten zijn. Deels blijft het in het baggervak en deels in de nabije omgeving daarvan.

2.2 Beheerplan

In het Natura 2000 beheerplan Waddenzee 2016-2019 zijn de voorwaarden geformuleerd voor vrijstelling van vergunning voor het baggerwerk. In dit plan zijn de baggervakken aangegeven (in paragraaf 7.3.3 en Bijlage 3 van het beheerplanen als bijlage kaart 4 (Figuur 2)).

Dit beheerplan is nu nog steeds van kracht, omdat er nog geen nieuwe versie gereed is. Het in de tabellen opgetelde geschatte jaarlijkse baggervolume waarvoor Rijkswaterstaat verantwoordelijk is, in het Natura 2000 gebied, exclusief de vaargeul Eemshaven-Doekegat, bedraagt 3,652 miljoen m³/jaar. Het totaal voor al het genoemde baggerwerk, inclusief gemeentelijke havens en de vaargeul Eemshaven-Doekegat, bedraagt 8,724 miljoen m³/jaar. Voor de vaargeul Eemshaven-Doekegat is dit geschat op 2,7 miljoen m³/jaar. De baggervolumes betreffen beunvolumes in hoppers en bakken plus een verrekening voor agitatiebaggeren. In het beheerplan worden agiteren en ploegen ("op stroom zetten") wel toegestaan, mits het niet leidt tot transport van materiaal naar aangrenzende baggerlocaties.

Rijkswaterstaat houdt de baggervolumes jaarlijks bij om te verantwoorden dat binnen de voorwaarden van het beheerplan wordt gewerkt. Bovendien wordt een 3-jaarlijkse tussenevaluatie uitgevoerd, waarin ook de baggervolumes worden bekeken (Witteveen & Bos, 2022). Verdere informatie is opgenomen in Figuur 5 en Tabel 2, Tabel 3 en Tabel 4 achter in deze memo.



Figuur 3 Veerboot Ameland Foto Deltares

Periodiek wordt een nieuw baggercontract afgesloten met een geselecteerde aannemer of aannemerscombinatie, zie Tabel 1. Vanaf 2021 wordt het werk uitgevoerd door de Combinatie Bagger- en Aannemingsmaatschappij Van der Kamp en Baggerbedrijf De Boer.

De baggervolumeregistratie betreft een administratie van de aannemers, maar geen verrekening voor de kosten. Voor 2016 was sprake van een regiecontract voor het baggerwerk, voor 2016-2021 een prestatiecontract. Er is in 2021 een hybride contract afgesloten dat inhoudt dat de vaargeul op een bepaalde diepte met een boven- en ondergrens moet worden onderhouden (NGD = Nautisch gegarandeerde diepte). Dit betekent dus een prestatie, waarbij de aannemer zelf de methode kan kiezen. Het contract bestaat daarnaast uit benoemde activiteiten en verrekening op basis van de methode halve bol (voor sleephopperzuigers) of een andere registratie (bakken voor grijpers en inpeilen voor agitatiebaggeren en ploegboten).

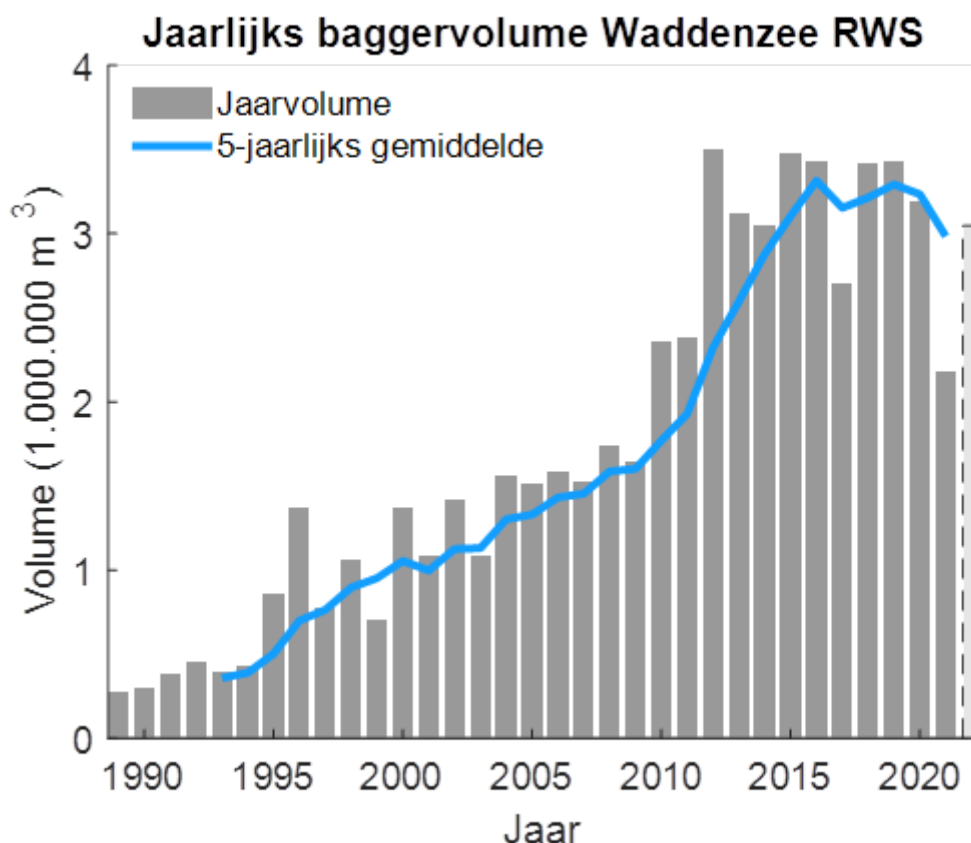
2.3 Trends in geregistreerde baggervolumes

Het probleem voor Rijkswaterstaat bij het bijhouden van de baggervolumes is nu dat de registratiemethode van de aannemers verschilt. In vorige contracten werden de volumes van ploegen bijvoorbeeld niet meegenomen. Nu wordt de halve-bolmethode toegepast om beunvolumes te bepalen in sleephopperzuigers, daarvoor werd het volume handmatig afgelezen of er werd simpelweg met het beschikbare beunvolume per trip gerekend. Het is dus niet duidelijk of de baggervolumes daadwerkelijk veranderen of alleen de registratie door

de verschillende aannemers. Hierdoor is ook niet te onderscheiden of er sprake is van een toe- of afname in baggervolumes over de tijd.

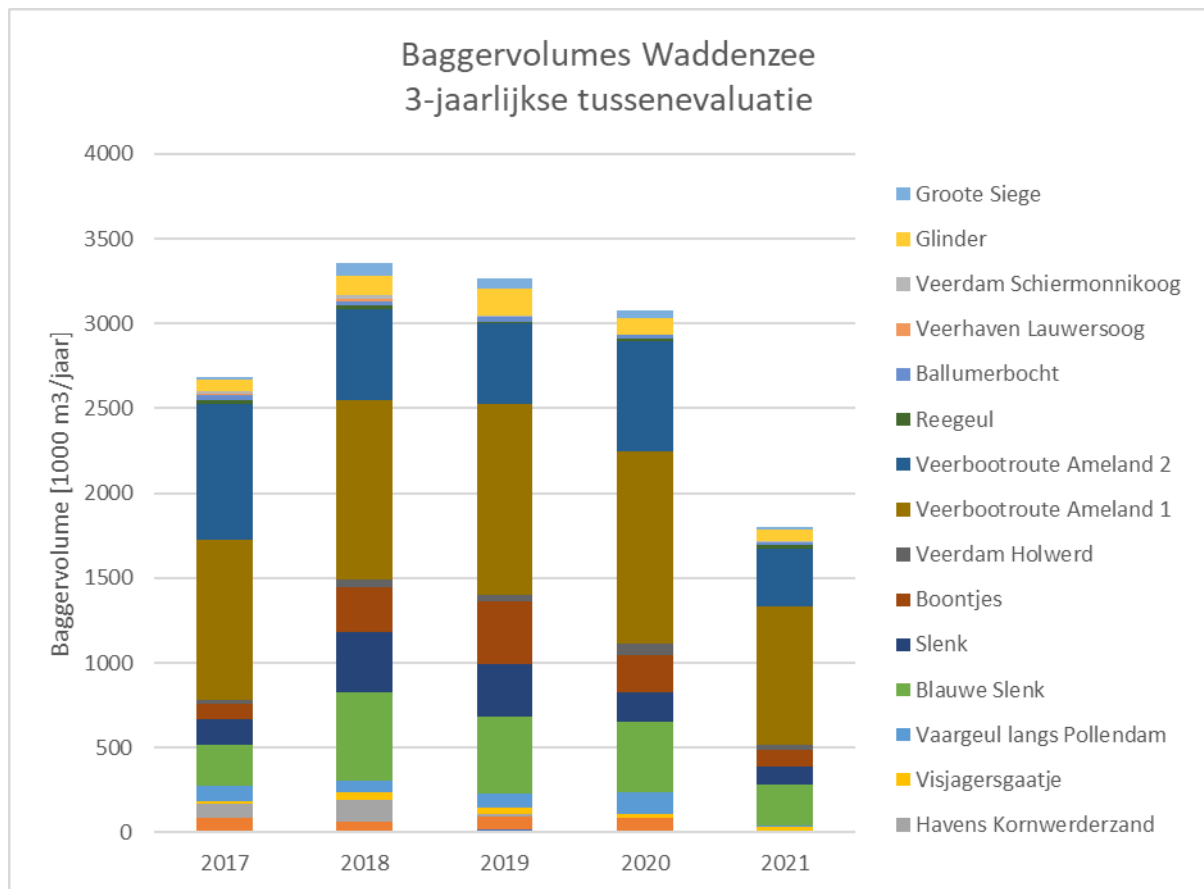
Op basis van de registraties tot nog toe kunnen de trends onderscheiden worden en kan meer gericht gezocht worden naar de oorzaken in eventuele trendbreuken. Figuur 4 geeft de totaal geregistreerde baggervolumes voor Rijkswaterstaat vanaf 1990, waarin de sterke stijging duidelijk zichtbaar is.

De toename van het baggervolume zoals in de vaarweg Ameland-Holwerd, is ontstaan na verdieping en verbreding in 2010, waardoor de natuurlijke sedimentatie is toegenomen. Echter ook ander contractvormen en toepassing van andere bagger- en registratiemethoden kan hieraan bijgedragen hebben. Daarnaast spelen morfologische effecten een rol, bijvoorbeeld doordat de plaatgebieden en kwelders zoals bij Holwerd voortdurend ophogen, waardoor de komberging van het gebieden afneemt en daarmee ook de stroomsnelheden, wat leidt tot aanslibbing.

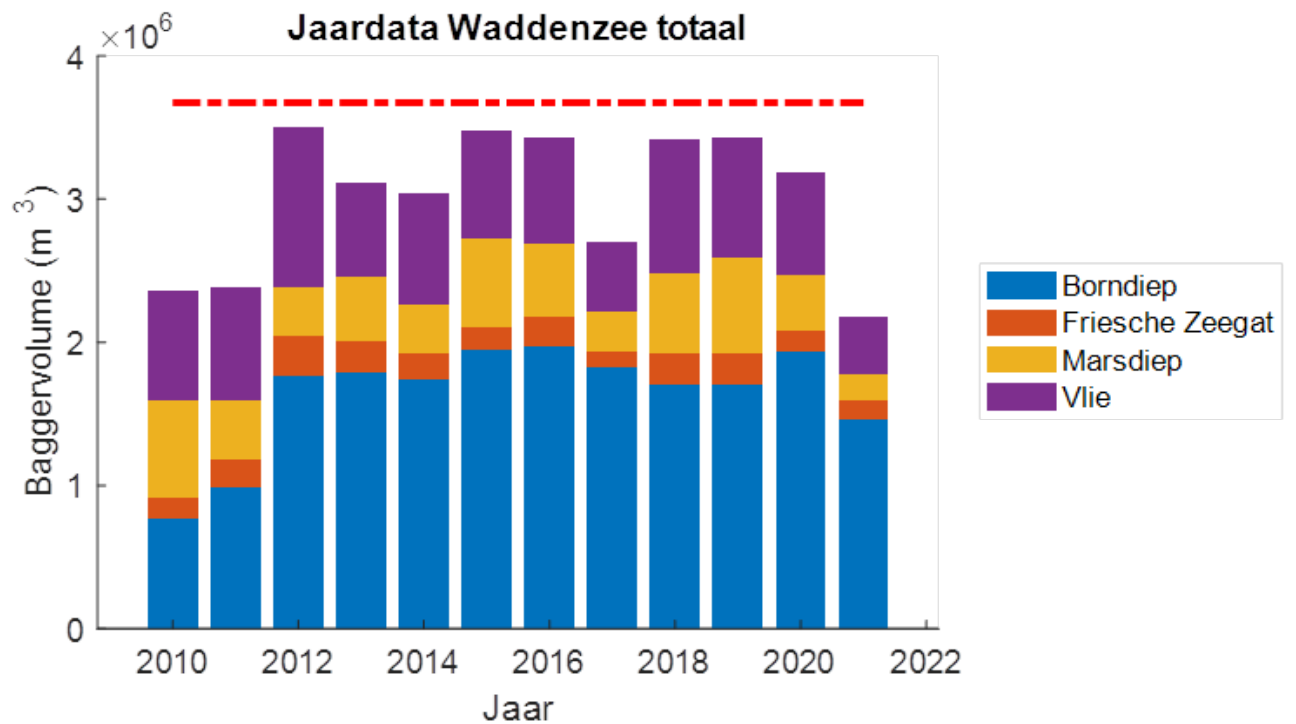


Figuur 4 Geregistreerde totale baggervolume in de Waddenzee vanaf 1990, De cijfers voor 2022 zijn nog niet compleet (Rijkswaterstaat)

In Figuur 5 is te zien is dat in 2021 de baggervolumes weer lager zijn dan gemiddeld in voorgaande jaren. Dit kan veroorzaakt zijn door het relatief kalme weer in dat jaar. Door stormen kan er immers veel sedimentatie in de geulen optreden. In 2022 lijken de volumes weer hoger uit te vallen, zoals te zien in Figuur 4. Figuur 6 geeft een overzicht per locatie vanaf 2010.



Figuur 5 Baggervolumes Waddenzee per jaar en per locatie (Data 3-jaarlijkse tussenevaluatie).



Figuur 6 Baggervolumes Waddenzee per jaar en per locatie vanaf 2010 (Rijkswaterstaat). De rode gearceerde lijn geeft het plafond van 3,672 Miljoen m^3 /jaar volgens het Beheerplan.

2.4 MARS

Er is een aparte bespreking geweest met het MARS team van Rijkswaterstaat. De sleehopperzuigers in de Waddenzee zijn, net als op de Noordzee, tegenwoordig allemaal voorzien van MARS (Monitoring And Registration System). Dit is een geavanceerd systeem van sensors en software aan boord, opgezet om TDS (Tonnen Droge Stof) te registreren. Het voordeel van rekenen in TDS is dat de baggerprestatie bepaald wordt op basis van het gebaggerde sediment en niet op het meegenomen proceswater. Vooral bij slib kan sterke verdunning en volumetoename optreden tijdens het baggeren. Bovendien houdt MARS nog een aantal andere productiedata bij, zoals locatie, werkduur, cyclustijden, vaarafstanden etc..

MARS is bedoeld voor het bepalen van gebaggerde hoeveelheden aan boord van zeegaande sleehopperzuigers (zie bijv. Figuur 7). MARS draait op een server van Rijkswaterstaat aan boord van de sleehopperzuigers van de opdrachtnemers. MARS maakt gebruik van diepgangsensoren en beunsensoren voor het berekenen van de gebaggerde hoeveelheden in TDS. MARS maakt ook gebruik van de sensor die de diepte van de zuigkop(-pen) doorgeeft.

MARS berekent desgewenst de hoeveelheid sediment in het beun terug in m^3 voor zand (voor programma Kustlijn­zorg), op basis van een calibratie m.b.v. een handmatige aanpeiling van de zandlaag onder de toplaag van water, of zonder omrekening direct in tonnen droge stof (TDS) voor slib (programma Baggeren & Bergen: vaargeulonderhoud).

In MARS wordt naast de TDS ook het totale ladingvolume gemeten, inclusief een eventuele waterlaag boven het sediment in de hopper na bezinking. Er zijn geen omrekeningsfactoren in MARS beschikbaar om de gemeten TDS om te rekenen naar het volume van het sediment in het beun zonder waterlaag, zoals bepaald met halve bol en monsters trekken of aanpeilen. Daarvoor zou een campagne opgezet kunnen worden, waarbij gedurende een bepaalde periode zowel met MARS als met de hand gemeten wordt. Dit zou dan voor alle te onderscheiden locaties (baggervakken) moeten gebeuren, omdat deze factor sterk kan wisselen, zie verder paragraaf 5 en Figuur 14.

De TDS worden bepaald uit het verschil in waterverplaatsing direct voor en na zuigen, het ladingvolume, de dichtheid van het zeewater op de baggerlocatie (van 1000 tot 1020 kg/m^3 in stappen van 5 kg/m^3) en een aangenomen minerale sedimentdichtheid van 2,6 t/m^3 (geldt zowel voor slib als zand, maar niet voor veen). Er wordt van uit gegaan dat het ladingoppervlak glad is, dus dat er geen droog sediment aan het oppervlak ligt.

Voor slib wordt altijd gerekend in TDS. Voor zandladingen wordt TDS weer teruggerekend naar m^3 door calibratie m.b.v. aanpeiling van de zandlaag onder de toplaag van water. Hieruit volgt de werkelijke (natte, waterverzadigde en vastgepakte) dichtheid van het zand in het beun, meestal een vrij hoge waarde van maximaal ongeveer 1,9 à 2 t/m^3 . De droge dichtheid is dan maximaal 1,6 TDS/m^3 (zie verder paragraaf 5.1).

Bij het zuigen van zand, bijvoorbeeld bij de zandwinning op de Noordzee, wordt de hopper optimaal doorgeladen door overvloeien, waardoor de geladen hoeveelheid zand in het beun toeneemt. Ook wordt wel gebruik gemaakt van AMOB (Arm Mengsel Over Boord), waarbij fijn sediment wordt uitgespoeld. Hierdoor gaat sediment verloren wat wel gebaggerd is, maar niet wordt geregistreerd in MARS. Om geleverde volumes te vergelijken met de gezogen volumes wordt bij Kustlijn­zorg een conversiefactor toegepast. Bij het zuigen van slib is overvloeien niet mogelijk, omdat het sediment niet snel genoeg bezinkt in het beun. Vanwege vertroe­belingsrestricties is het vaak ook niet toegestaan.

Er wordt gewerkt aan een versie van MARS, die ook toepasbaar is voor bijv. grijperkraan en beunbakken, zonder de noodzaak alle sensoren te moeten installeren, maar wel registratie biedt van de basisgegevens zoals locatie, werktijd etc. (mini MARS). Verder wordt gewerkt aan de mogelijkheid MARS data te combineren met GIS data in Geoweb.



Figuur 7 Sleephopperzuiger Pieter Hubert, beunvolume 931 m³, enkele zuigbuis Ø550 mm, maximale zuigdiepte 25 m, 536 kW baggerpomp (Bagger- en Aannemingsmaatschappij Van der Kamp BV)

3 Toegepaste baggermethoden en registratie

3.1 Baggermethoden in de Waddenzee

Het baggerwerk wordt in de huidige contractperiode uitgevoerd door de Combinatie Bagger- en Aannemingsmaatschappij Van der Kamp en Baggerbedrijf De Boer. Het ingezette materieel bestaat uit:

- sleephopperzuiger (kleinere of middelgrote types tot ca. 1000 m³)
- ploegboot
- grijper / bakken.

Met dit materieel worden verschillende baggermethoden gebruikt om de vaargeulen en havens op diepte te houden. In de Reizendatabase 2016-2021, een Excel sheet waarin Rijkswaterstaat de baggervolumes bijhoudt op basis van de toegeleverde cijfers over de contractperiode van Aannemersbedrijf Gebr. Van der Lee, wordt onderscheid gemaakt naar de volgende baggeractiviteiten:

- Verspreiden
- Agiteren
- Zand verplaatsen
- Zand winnen
- Ploegen

- Injecteren
- Knijpen.

De eerste vier methoden worden toegepast met sleephopperzuigers. Met een sleephopperzuiger wordt het sediment in de baggervakken al varend door een zuigbuis opgezogen en met proceswater in het beun gepompt.

Het gebaggerde sediment wordt naar de door Rijkswaterstaat toegewezen stort- of verspreidingslocatie gevaren en daar gelost door bodemkleppen. Andere losmethoden zoals overboord pompen door een leiding of over de boeg spuiten (rainbowen) worden niet toegepast in de Waddenzee. Soms wordt het gezogen zand voor een ander project in de Waddenzee weer gebruikt, zoals voor kustsuppleties of bij de versterking van de Afsluitdijk (dit wordt geregistreerd als zand verplaatsen).

De zandwinning in de Waddenzee is afgebouwd tussen 2016-2021 en vanaf 2022 geheel gestopt. Er stroomt veel zand de Waddenzee in via het Marsdiep, afkomstig van suppleties van de Hollandse kust, maar ook bij Ameland. Dit zand komt ten goede aan het platenareaal als compensatie voor bodemdaling en zeespiegelstijging. Zandwinning in de Waddenzee is dus niet meer gewenst, het kan beter in de Noordzee worden gewonnen.

Agitatiebaggeren wordt eveneens uitgevoerd met een sleephopperzuiger, waarbij de bodem wordt losgemaakt met waterjets bij de sleepkop die over de bodem wordt getrokken, maar waarbij het mengsel niet wordt opgezogen. Het sediment wordt dichtbij de bodem losgewoeld en vermengd met omgevingswater, waarna het kan afstromen als dichtheidsstroom naar de diepste delen of door het getij kan worden meegenomen (op stroom gezet). Agiteren kan ook plaatsvinden door het oppompen en direct weer lossen van het materiaal. Dit geeft meer vermenging en vertroebeling bij het oppervlak en een minder effectieve dichtheidsstroom. Doordat het mengsel door de zuigbuis gezogen wordt kunnen debiet en dichtheid dan wel worden gemeten. Het is niet altijd duidelijk welke methode wordt toegepast of welke meer effectief is en minder ecologische effecten bewerkstelligt.

De afstand waarover het sediment kan afstromen hangt sterk af van de fijnheid van de deeltjes. Een suspensie van slib kan over aanzienlijke afstanden stromen of met het getij meegenomen worden, maar zand slechts over geringe afstand. Ook de bodemtopografie speelt een rol, de dichtheidsstroom zoekt immers de diepste delen op.

Momenteel wordt bijvoorbeeld de sleephopperzuiger Pieter Hubert ingezet met een beunvolume van 931 m³ (Figuur 7).

Ploegen is een vorm van mechanisch agiteren met een soort hark die over de bodem wordt getrokken door een speciaal vaartuig. Bijvoorbeeld ploegboot Peter (Figuur 8).

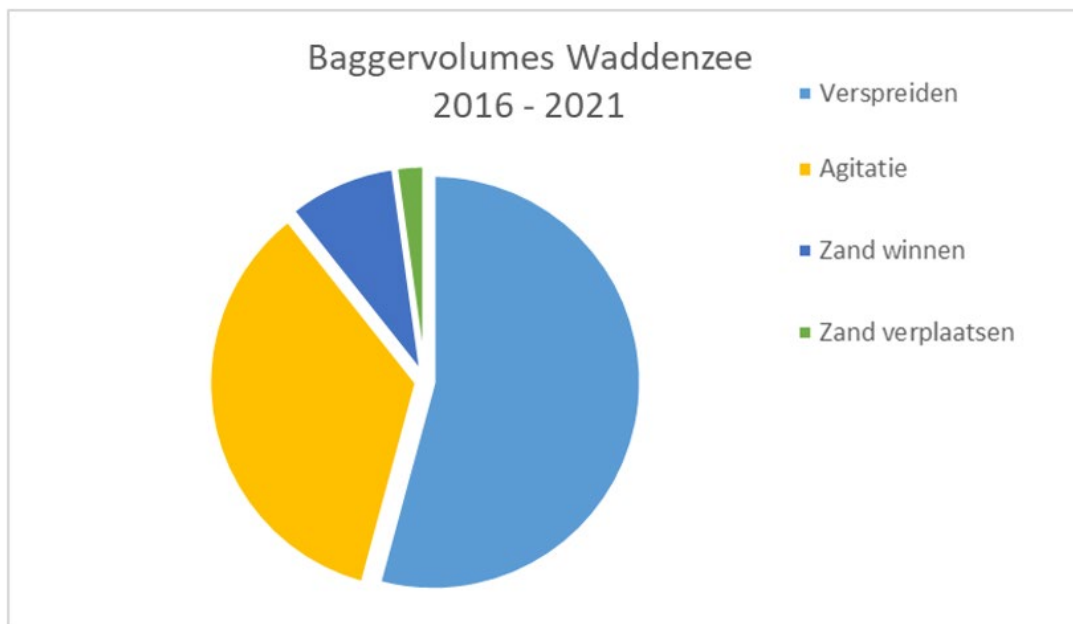


Figuur 8 Ploegboot Peter (Bagger- en Aannemingsmaatschappij Van der Kamp BV)

Waterinjectiebaggeren (WID) of injecteren is ook een vorm van agitatiebaggeren, uitgevoerd met een speciaal vaartuig, voorzien van een balk met waterjets om het sediment bij de bodem los te spuiten en in suspensie te brengen, zodat een dichtheidsstroming wordt opgewekt. Dit wordt toegepast door het aannemersconsortium Levvel bij de Afsluitdijk en er zijn enkele pilots op de Waddenzee uitgevoerd met WID. Het sediment stroomt naar de diepste delen, zoals waargenomen in de ontgrondingskuil bij de strekdam in de bocht van de Afsluitdijk bij Kornwerderzand. In de toekomst is de verwachting dat er vaker WID toegepast gaat worden op de Waddenzee.

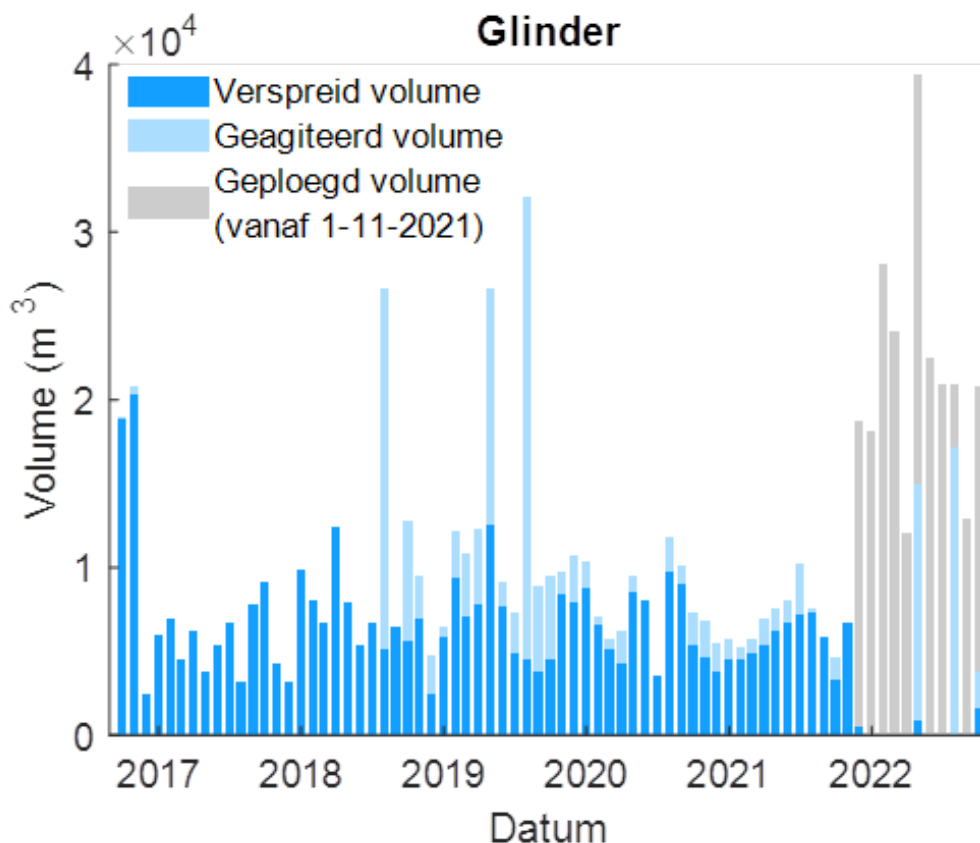
Met een grijperkraan of backhoe kan mechanisch gebaggerd worden vanaf een ponton (knijpen), vaak in havens of dichtbij de veerdam. Het sediment wordt gestort in beun- of splijtbakken, die vervolgens naar een stortlocatie worden gevaren. Van der Kamp heeft elevatorbakken met een volume van 850 m³.

In de contractperiode 2016-2021 is per jaar gemiddeld 3,077 miljoen m³/j gebaggerd. Verspreiden met sleehopperzuigers vormt het grootste deel (54%), gevolgd door agitatie, eveneens met sleehopperzuigers (35%). Zand winnen (8%) en zand verplaatsen (2%) vormt een gering aandeel, zie Figuur 9. Ploegen, knijpen en injecteren werden in deze periode wel gemeld, maar er werden geen volumes aan toegekend.

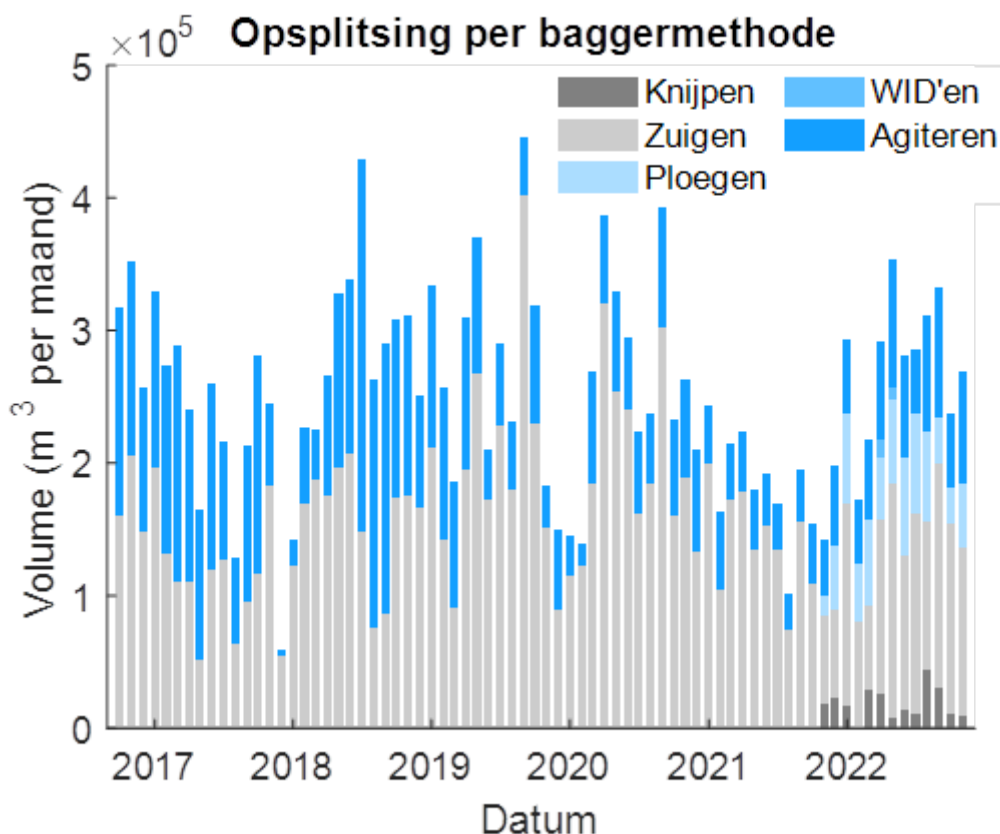


Figuur 9 Verdeling gebaggerde volumes in de Waddenzee per methode in contractperiode 2016-2021

Voor de nieuwe contractperiode, ingaande 2022, zijn nog niet voldoende gegevens binnengekomen om de balans op te maken. Het lijkt er op dat de aannemer nu voorkeur heeft voor de methode ploegen in plaats van verspreiden, maar dat de totale volumes daarbij wel sterk zijn toegenomen, zie Figuur 10 voor het baggervak Glinder (zandig). Het tot nog toe geregistreerde totale volume per baggermethode is gegeven in Figuur 11, waarin voor 2022 eveneens een toename is te zien ten opzichte van 2021.



Figuur 10 Geregistreerde volumes per methode voor baggervak Glinder 2017-2022 (Rijkswaterstaat)



Figuur 11 Totale geregistreerde volumes per methode (2017-2022 (Rijkswaterstaat))

3.2 Baggervolumeregistratie

3.2.1 Sleehopperzuigers

De opgegeven baggervolumes door de huidige aannemer voor de sleehopperzuigers, bestaat uit een hybride registratie gebaseerd op droge stof (TDS) en beuninhoud gemeten door middel van m³ halve bol. Daarnaast worden de werkuren bijgehouden. De aannemer rapporteert een indicatieve TDS in de reizendatabase. De officiële TDS wordt door het MARS systeem vastgesteld en geregistreerd.

De huidige aannemer hanteert de halve bolmethode voor beunvolumebepaling, deze meet voor slib de ladingdiepte tot een (natte) dichtheid van 1200 kg/m³. Aanvullend worden aan boord monsters genomen halverwege het oppervlakte en het gemeten 1200 kg/m³ niveau in het beun om zo het gemiddelde gesuspendeerd slibgehalte (de zeer fijne deeltjes) in de toplaag ook mee te tellen. Er wordt een monster van 1 liter genomen. Dit monster wordt gecentrifugeerd of voor bepaalde tijd weggezet. Daarna wordt afgelezen hoeveel procent van het monster neergeslagen sediment of water is. Dit kan per trip of voor een bepaalde werkperiode gedaan worden.

De m³ halve bol methode is ontwikkeld voor het meten van een sliblading en is volgens Van der Kamp een beproefde en nauwkeurige methode. Bij deze meting wordt er met de hand gemeten, wat volgens de aannemer zorgt voor een mogelijke onnauwkeurigheid. De TDS registratie met MARS is volgens de aannemer ook een nauwkeurige manier om o.b.v. waterverplaatsing i.c.m. bruto beuninhoud een hoeveelheid te bepalen. Afwijkingen kunnen voorkomen door bijv. fout aflezen van het peillint of fout invullen in de registratie. Meetfouten

kunnen ontstaan door de apparatuur of door schuim op de lading. De registratiemethode is omschreven in het contract met Rijkswaterstaat PPO, dus vanaf het begin weet de aannemer dat dit bij het werk hoort. Een grotere administratieve last is niet gewenst, aangezien er schepen op het wad worden ingezet met een beperkte bemanning.

In de Reizendatabase 2016-2021 worden per reis TDS en beunvolumes vermeld. Het betreft meestal afgeronde getallen. De TDS waarden komen daarom waarschijnlijk niet uit het MARS systeem, dat ook niet direct door de aannemer kan worden ingezien. Mogelijk zijn de TDS waarden berekend uit het beunvolume onder aanname van de sedimentdichtheid in het beun, zie verder paragraaf 5.1 en 5.2. In Tabel 1 zijn enkele waarden opgenomen van de droge dichtheid die hieruit volgen, variërend van 0,36 tot 1,39 TDS/m³, vergelijk Tabel 5.

De huidige geregistreerde getallen zijn niet altijd realistisch, bijvoorbeeld met een geregistreerd volume van een trip die groter is dan het beunvolume van het betreffende schip of onrealistisch hoge of juist onrealistisch lage TDS waarden. Dit kan komen door meetfouten of typefouten. Het is aan te bevelen de baggerhoeveelheden rechtstreeks uit MARS te gebruiken om dit soort onnauwkeurigheden te voorkomen.

3.2.2 Ploegen en agitatiebaggeren

Bij agiteren met een sleephopperzuiger worden grote volumes vermeld in de Reizendatabase 2016-2021, vaak een veelvoud van het beunvolume. Dit zijn geen beunvolumes maar verpompte en weer geloste volumes water met sediment. Mogelijk zijn deze bepaald op basis van de gemeten of aangenomen dichtheid in de zuigbuis, maar er zijn geen directe TDS waarden uit MARS beschikbaar, immers het beun wordt niet gevuld. Niet bekend is hoeveel sediment daadwerkelijk uit het baggervak is weggestroomd, tenzij bodempeilingen worden uitgevoerd. Agiteren is een baggermethode die met weinig energie veel sediment kan verplaatsen, omdat het gebruik maakt van de transportcapaciteit van de al aanwezige stroming. Het is echter niet altijd duidelijk waar het geagiteerde sediment weer neerslaat en of dat binnen of buiten het baggervak is.

Voor ploegen, agitatie- en waterinjectiebaggeren worden in het huidige contract in- en uitpeilingen gedaan in de geulen die vallen onder het prestatiedeel van het contract. Tevens worden de werkuren geregistreerd. Waterinjectiebaggeren kan gezien worden als een meer effectieve methode dan ploegen of agitatiebaggeren met een sleephopperzuiger, omdat het materieel speciaal is uitgelegd voor deze methode en het sediment dichtbij de bodem in suspensie gebracht wordt, zonder dat hiervoor veel trekkracht gemobiliseerd hoeft te worden.

Voor de ploegboot en voor agitatiebaggeren met de sleephopperzuiger worden de baggervolumes en de behaalde productie berekend in een aantoonrapportage, waarin de productie in profiel wordt gegeven uit in- en uitpeilingen. In het contract zijn afspraken gemaakt over de minimaal te leveren productie. Voor het ploegen is dit 50 m³/uur en voor agitatie met de sleephopperzuiger 150 m³/uur. De aantoonrapportages bestaan uit een multibeam bodem survey van de vaargeul voor en na baggeren, over een periode van enkele dagen. Het verschilvolume (orde enkele 1000 m³) is het netto verplaatste volume uit het baggervak, dus zonder het weer in het vak afgezette, niet weggestroomde volume. Dit materiaal kan overigens wel een andere dichtheid aangenomen hebben, net als in het beun van een hopper.

De in- en uitpeilingen worden niet altijd uitgevoerd. De frequentie verschilt per deelgebied, volgens de aannemer: 1x per week, 1x per maand, 1x per twee maanden, 4x per jaar of 2x per jaar. De geregistreerde baggervolumes vermeld in de overzichten worden dan uiteindelijk bepaald door de productie in in-situ m³/uur in een bepaald deelgebied (bepaald in de

aantoonrapportage) te vermenigvuldigen, met de geregistreerde werkuren. Hierbij worden de aangetoonde producties aangehouden. Dit betekent wel dat de periode waarover de aantoonrapportages zijn uitgevoerd in belangrijke mate bepalend zijn voor de geregistreerde baggervolumes. Deze producties zijn niet alleen afhankelijk van het materieel en de werkwijze, maar ook van de sedimentsamenstelling, dus de locatie van het baggervak, de werkperiode in relatie tot het getij, de weersomstandigheden etc. Het is dus noodzakelijk per baggermethode voor elke baggervak waar wordt gewerkt een representatieve in- en uitpeiling te doen en dit liefst met een vaste regelmaat te herhalen.

Het verschilvolume van de peilingen wordt verhoogd met de verwachte natuurlijke sedimentatie in deze meetperiode. Voor het Friese Zeegat / Glinder is dit bijvoorbeeld 11% van het baggervolume (ploegboot Peter, Figuur 8) maar in de vaargeul naar Ameland VA20-24) meer dan 40% (agitatie met Pieter Hubert, Figuur 7). Hier is dus bijna de helft van de ingezette baggercapaciteit benodigd om de vaarweg in deze periode op diepte te houden. De aangehouden waarden voor hersedimentatie in de meetperiode moeten in overleg met Rijkswaterstaat worden vastgesteld.

De hoeveelheden voor ploeg- en agitatiebaggeren in de overzichten geven dus eigenlijk al een inschatting van de in-situ verplaatse m^3 , dit in tegenstelling tot de sleephopperzuiger in de overzichten die over beun- m^3 gaan.

3.2.3 Grijperkraan en backhoe

Voor de grijperkraan (knippen) worden de werkuren geregistreerd. Bij lossen in een beunbak worden de baggervolumes geregistreerd door het aantal verplaatsingen naar de losplaats en het beunvolume. De inhoud van de beunbakken wordt gemeten door middel van de m^3 halve bol methode. Niet duidelijk is of dit altijd toegepast wordt of dat een vast volume wordt aangehouden per bak.

In principe kan de waterverplaatsing worden gemeten en kunnen de TDS geregistreerd worden met een mini MARS systeem. De ladingdichtheid kan ook worden bepaald met monsters. In tegenstelling tot zuigen of agiteren vindt er weinig verdunning van het bodemsediment plaats.

4 Bodemonderzoek baggervakken

4.1 Peilingen

De vaardiepte in de vaargeulen wordt gemonitord met bodempeilingen in vastgestelde delen van de vaargeul en de baggervakken, zie bijv. Figuur 12. De keuze in meetfrequentie van het echolood kan in een slibrijke omgeving grote invloed hebben op de gedetecteerde bodemveranderingen en volumes uit verschil-surveys. Een 210 kHz echolood pingt de bovenzijde van een fluid-mud laag aan en een 33 kHz echolood kijkt door de fluid mud laag heen en pingt op de harde bodem daaronder. Indien dus met 33 kHz gepeild wordt dan is het baggeren of agiteren van een dunne sliblaag (fluid mud met een dichtheid van $< 1200 \text{ kg/m}^3$) niet terug te vinden in een verschil-survey en de volumebepaling hieruit, omdat het echolood door de laag heen kijkt.

Bij peilingen met 210 kHz wordt de fluid mud-laag meegeteld als bodem, waardoor er in een omgeving met fluid mud meer baggerwerk noodzakelijk is om een overeengekomen NGD te realiseren dan wanneer er met 33 kHz gepeild zou zijn. Door fluid mud met een dichtheid $< 1200 \text{ kg/m}^3$ kan de veerboot varen. Het kan dus voorkomen dat er slib gebaggerd wordt met een dichtheid $< 1200 \text{ kg/m}^3$ en geregistreerd als beunvolume (op basis van MARS of halve bolmethode), terwijl dit geen invloed heeft op de effectieve vaardiepte van de veerboot. Bij

verwachte aanwezigheid van fluid mud is dual frequency peilen nodig (33 en 210 kHz) om zowel de harde bodem als de top van fluid mud laag te detecteren.



Figuur 12 Voorbeeld survey baggervakken (Rijkswaterstaat)

4.2 Bodemsamenstelling onderzoek

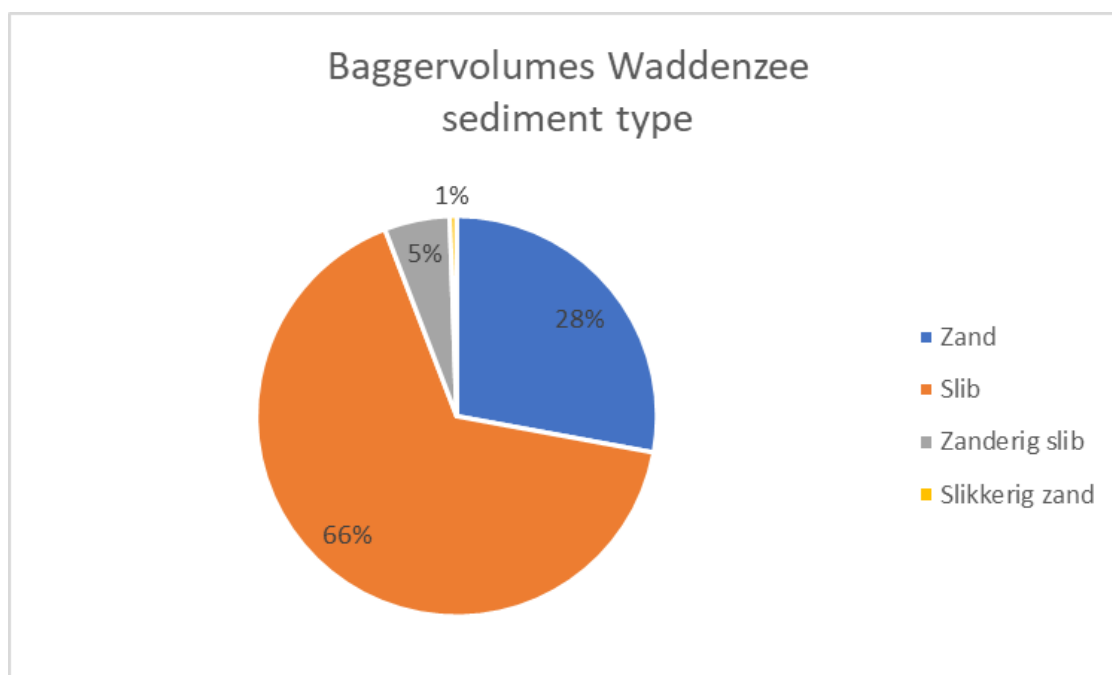
Slib zet zich af in een afgeschermd milieu zoals in havenbekkens en op de kwelders en platen (laag-dynamisch milieu, zie bijv. Figuur 1), terwijl grover zand wordt getransporteerd in de getijdegeulen (hoog-dynamisch milieu), vaak in de vorm van duinen of ribbels. Slib kan ook voorkomen in mobiele geconcentreerde lagen, die als dichtheidsstroom over de bodem door de geulen kunnen bewegen, aangedreven door windopzet en getij en bodemhoogteverschillen (fluid mud). In de praktijk wordt ook wel melding gemaakt van 'kiekeboeslib'; het ene moment is het er ineens en het andere moment plotseling niet meer. Tijdens hoogwater en storm wordt vaak veel sediment gemobiliseerd wat leidt tot extra onderhoudsbaggerwerk.

Gemeld wordt dat er relatief veel zand wordt gebaggerd in de vaargeulen. Hoewel zand met agitatie niet ver getransporteerd kan worden, kunnen de toppen in de zandduinen afgevlakt en verplaatst worden naar de dalen, zodat de vereiste vaardiepte wordt gerealiseerd zonder dat het zand ver getransporteerd hoeft te worden. Het betreft dan vaak verschillen van ten hoogste 10 – 20 cm, die toch van belang zijn voor de vaardiepte.

Vraag is of er inderdaad sprake is van een zandige bodem in de vaargeulen of dat het slib zich er continu ophoopt. Volgens opgave van Rijkswaterstaat en het Natura 2000 beheerplan, bestaat 28-33% van het baggervolume uit zand, zie Figuur 13 en verder Tabel 2 en Tabel 3. De vaargeul naar Ameland wordt gekenmerkt als slib. Vooral het meest landwaartse deel nabij Holwerd is zeer slibrijk, maar de rest is meer zandig. Het slibgehalte is gedefinieerd als het gewichtsperscentage < 63 µm in de korrelverdeling. Het organisch stofgehalte is meestal verwaarloosbaar (behalve in veenbanken).

Het is niet bekend hoe het gebaggerde materiaal is samengesteld en of dit overeenkomt met de gegeven karakterisering in het beheerplan. Wel is globaal bekend of er slib aanwezig is of niet in de verschillende baggervakken. Het is wel gewenst om hier meer inzicht in te verkrijgen.

Met name in de vaargeul Ameland-Holwerd is het niet duidelijk of hier inderdaad vooral slib wordt gebaggerd, zoals aangegeven in het beheerplan, of dat er ook veel zand wordt gebaggerd. Het kan zijn dat slib wordt aangepeild en het onderliggende zand wordt gebaggerd. Bij agitatie en ploegen zal het zand zich minder verspreiden dan slib. Valideren van de gebaggerde sedimentsamenstelling in de baggervakken is dus van groot belang. Dit kan door vergelijking van bodemonsters met de aangenomen samenstelling als met monsters uit het beun.



Figuur 13 Sedimenttype baggervolumes (data Natura2000 Beheerplan)

Tot nog toe worden niet op een systematische wijze monsters genomen van de bodem van de baggerlocaties of uit het beun door Rijkswaterstaat of door de aannemers. Wel wordt volgens de vergunning 1x per twee jaar de bodem bemonsterd om de milieukwaliteit van het te baggeren materiaal vast te stellen. Rijkswaterstaat is van plan hierbij ook geotechnisch labonderzoek uit te laten voeren, zoals korrelverdeling, organisch stof-, droge stof-, water- en slibgehalte.

De bodemgegevens in de baggervakken kunnen voor een deel al afgeleid of geactualiseerd worden uit bestaande gegevens, zoals boringen (DINO loket) of uit gegevens van bemonstering voor speciale projecten (zoals de vismigratierivier bij de spuisluis Afsluitdijk).

Uit het bodemonderzoek kunnen behalve de samenstelling ook het watergehalte en het droge-stofgehalte bepaald worden. Deze sedimenteigenschappen bepalen de in-situ dichtheid van de bodem in de baggervakken. De in-situ dichtheid van het sediment bepaalt de link tussen de gebaggerde TDS en de in-situ volumes. Door het kennen van de TDS en de gebaggerde in-situ volumes ontstaat een beter inzicht in de relatie tussen het baggerwerk en de eco-morfologische effecten op de bodem.

5 Voorgestelde berekeningsmethode baggervolumes

5.1 In-situ baggervolume

Hoewel de meeste sleepopperzuigers tegenwoordig zijn voorzien van MARS, een geavanceerd baggerregistratiesysteem (paragraaf 2.4), wordt er nog geen (direct) gebruik van gemaakt voor het bepalen van de baggervolumes in de Waddenzee.

De huidige baggervolumeregistratie bestaat uit een hybride vorm van beunvolumes gemeten in sleepopperzuigers en beunbakken en in-situ volumes uit peilingen en productie, omgerekend naar in-situ m³. Beunvolumes kunnen nogal verschillen van de in-situ volumes en voor andere methoden, zoals ploegen en agitatiebaggeren zijn er in het geheel geen volumes om te registreren.

De karakterisering van het in-situ aangetroffen sediment in de baggervakken in het beheerplan en in de jaarlijkse baggervolumecijfers kan verbeterd worden met een beter inzicht in de werkelijke gemeten sedimenteigenschappen.

De in-situ dichtheid is een maat voor het volume in de bodem, gegeven het droge-stof gehalte (TDS/m³). De waarde kan per baggervak worden vastgesteld. Voorgesteld wordt het baggervolume eenduidig uit te drukken in in-situ m³ sediment. De in-situ volumes kunnen dan eenduidig worden bepaald uit bodempeilingen of uit de gemeten TDS in combinatie met lokale sedimentgegevens, zie paragraaf 4.2.

Door voor elk baggervak een representatieve waarde te hanteren voor de in-situ dichtheid, behorende bij het type gebaggerde sediment, kunnen de gemeten TDS omgerekend worden naar de in-situ gebaggerde volumes, zie Figuur 14 en Tabel 5. Deze in-situ gebaggerde volumes kunnen rechtstreeks worden vergeleken met verschillen uit in- en uitpeilingen.

Het baggervolume volgt uit de met MARS gemeten TDS in het beun en de droge in-situ dichtheid van het sediment in het baggervak.

$$V_{dredged, in-situ} = TDS * 1000 / \rho_{dry, in-situ}$$

Waarin:

$V_{dredged, in-situ}$ = gebaggerd volume in de hopper (in in-situ m³)

TDS = tonnen droge stof in de hopper (in ton)

$\rho_{dry, in-situ}$ = in-situ droge dichtheid van het sediment in het baggervak (in kg/m³).

Voor het nauwkeurig bepalen van de TDS kan in MARS ook nog gebruik gemaakt worden van de lokale zeewaterdichtheid ter plaatse van het baggervak.

De in-situ waarden van het sediment in het baggervak kunnen worden bepaald met labanalyses van bodemmonsters, te nemen met boringen, bodemhopper of steekringen. De (gemiddelde) dichtheid van het zeewater kan worden bepaald met een analyse van een watermonster uit het betreffende baggervak. Ook kunnen lokaal eerder bepaalde of geschatte waarden worden gebruikt. Deze vaste gegevens per baggervak worden gedeeld met de aannemer, evenals de gebaggerde TDS geregistreerd in MARS en omgerekend in in-situ baggervolumes.

Na bepaling van droge dichtheid, watergehalte en porositeit volgt:

$$\rho_{wet, in-situ} = (w + 1) \rho_{dry, in-situ}$$

of

$$\rho_{wet, in-situ} = n_0 \rho_w + \rho_{dry, in-situ} = n_0 \rho_w + (1 - n_0) \rho_s$$

Waarin:

$\rho_{\text{dry, in-situ}}$ = in-situ droge dichtheid van het sediment in het baggervak (in kg/m^3)

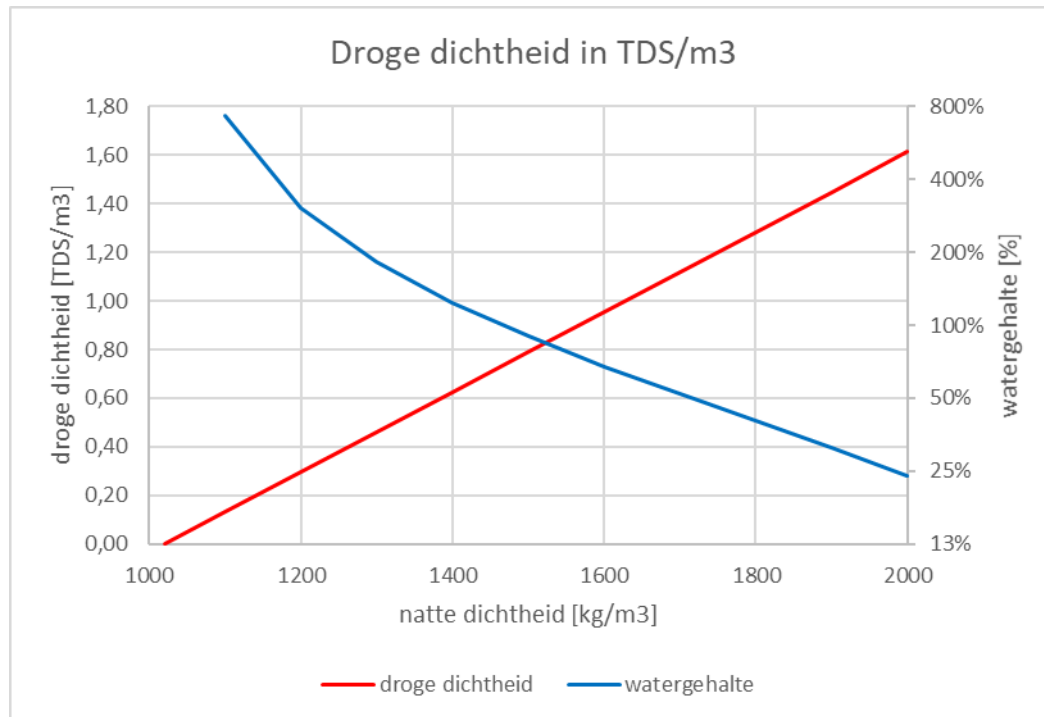
$\rho_{\text{wet, in-situ}}$ = in-situ natte dichtheid van het sediment in het baggervak (in kg/m^3)

w = in-situ watergehalte (in gew%)

n_0 = in-situ porositeit (in vol%)

ρ_w = dichtheid zeewater in het baggervak (ca. $1000 - 1030 \text{ kg/m}^3$)

ρ_s = minerale dichtheid sediment (ca. $2600 - 2650 \text{ kg/m}^3$ voor zand en slib)

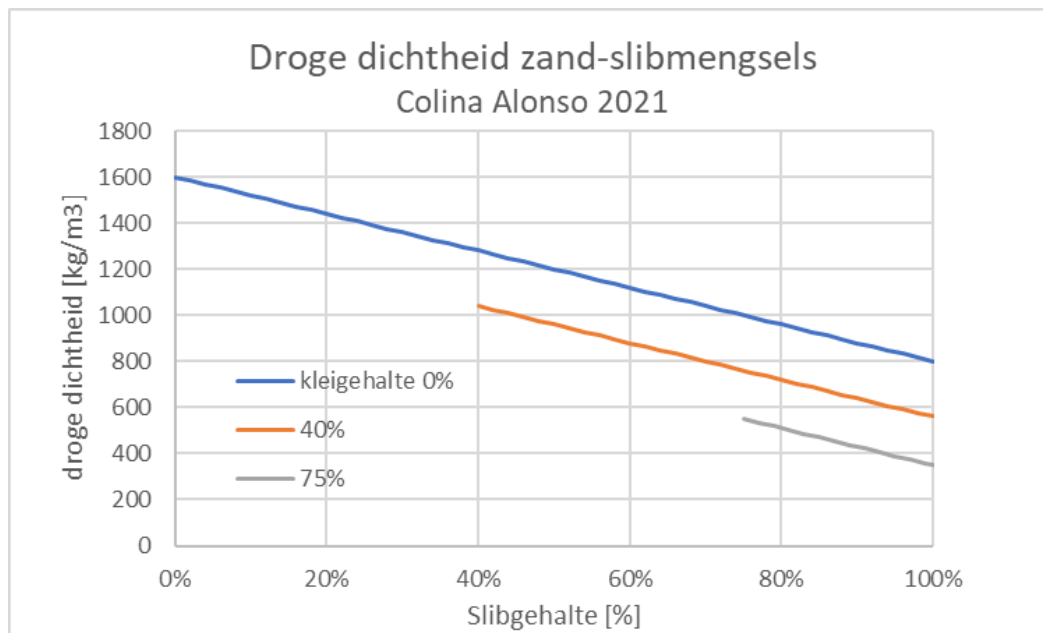


Figuur 14 Droge-stofgehalte (in TDS/m^3) als functie van in-situ dichtheid en watergehalte sediment

Bij een bepaalde in-situ dichtheid hoort in het algemeen ook een bepaalde samenstelling (zand- of slibgehalte, kleigehalte), omdat zand en slib (silt en klei) ongeveer dezelfde minerale dichtheid kennen, maar vooral klei meer water kan binden.

Globale waarden van in-situ dichtheid en afgeleide sediment eigenschappen zijn aangegeven in Tabel 5, waarbij onderscheid kan worden gemaakt in vast- of matig gepakt zand, slikkerig zand, zanderig slib, slib, modderig of waterig slib.

Op basis van de samenstelling kan de dichtheid ook geschat worden bijv. zoals vermeld in Colina Alonso (2022), zie Figuur 15, waarbij voor het slibgehalte is aangehouden de som van de klei- of lutum- (deeltjes $d < 2 \mu\text{m}$) en de siltfraction (deeltjes $2 < d < 63 \mu\text{m}$) en de rest zand is. De kleifraction volgt meestal niet uit een korrelverdeling, maar bijvoorbeeld uit een sedigraafmeting (bezinktest), nadat de coagulatie en vlokvorming door toevoeging van detergent is te niet gedaan. Meestal is het echter voldoende om het slibgehalte vast te stellen ($d < 63 \mu\text{m}$).



Figuur 15 Droge dichtheid als functie van het zand-, slib- en kleigehalte.

5.2 Beunvolumes

Bij baggeren van zand en slib verandert de dichtheid door verandering van de pakking tijdens het zuigen of losmaken door agitatie of ploegen, opslag in het beun en wederom bij lossen en bezinken op de verspreidings- of stortlocatie of dichter bij het baggervak. De dichtheid van het sediment in het beun kan dus verschillen van die van het in-situ gebaggerde materiaal. Het baggeren heeft ook invloed op de korrelverdeling door overvloeien van fijne deeltjes.

De sedimentdichtheid in het beun van een sleepopperzuiger of laadbak kan bepaald worden door een handmatige peiling van het volume van de lading in het beun (halve bol of handmatige peiling). Met de gemeten TDS volgt hieruit de dichtheid van de lading in het beun. Deze dichtheid kan vergeleken worden met de in-situ dichtheid, maar zal meestal niet gelijk zijn. Voor zandladingen kan de dichtheid soms zelfs hoger zijn dan de in-situ waarde (bijv. 1,4 tot 1,6), voor slib, dat een veel langere consolidatietijd heeft, meestal lager (ca 0,4 tot 0,6 zie tabel 5), afhankelijk van hoeveel proceswater wordt meegezogen.

Het gemeten ladingvolume in MARS is niet representatief voor het in-situ volume, omdat er meestal een bovenlaag van gezogen proceswater met weinig sediment aanwezig is. Met een handmatige peiling of m³ halve bol methode wordt het echte volume van het sediment in het beun bepaald.

$$\rho_{dry,beun} = TDS * 1000 / V_{beun, m3\ halve\ bol}$$

Waarin:

$\rho_{dry, beun}$ = droge dichtheid van het sediment in het beun (in kg/m³)

$V_{beun, m3\ halve\ bol}$ = gemeten ladingvolume in beun met m³ halve bol methode (in m³)

TDS = massa droge stof van het sediment in beun uit MARS (in ton)

Deze sedimentdichtheid in het beun kan vergeleken worden met de in-situ dichtheid van het sediment of met labanalyses van monsters uit het beun.

Bij zandige bodems wordt in het beun de oorspronkelijke dichtheid door bezinking en verdichting en overvloeien van proceswater weer vrij snel aangenomen (beunfactor ongeveer 1) en ontstaat er snel een waterlaag met weinig slib. Bij slibbodems kan de bezinking veel langer duren, de dichtheid kan dan aanzienlijk lager zijn. Daarentegen is er meestal minder water nodig om slib te zuigen in vergelijking met zand.

Bij een zelfde hoeveelheid droge stof kunnen er dus verschillen ontstaan tussen in-situ volumes, beunvolumes en geleverde volumes. De volgende definities kunnen worden gehanteerd:

$$\text{Uitlevering} = (\text{Vol}_{\text{geleverd}} - \text{Vol}_{\text{in-situ}}) / \text{Vol}_{\text{in-situ}} \text{ (in\%)}$$

$$\text{Beunfactor} = \text{Vol}_{\text{beun}} / \text{Vol}_{\text{in-situ}}$$

$$\text{Conversiefactor (bij Kustlijnzorg)} = \text{Vol}_{\text{geleverd}} / \text{Vol}_{\text{beun}}$$

Hieruit volgt:

$$\text{Uitlevering} = \text{Conversiefactor} * \text{Beunfactor} - 1 \text{ (in\%)}$$

In de Waddenzee is geen sprake van uitlevering, alleen verspreiding. De beunvolumes kunnen worden uitgedrukt in in-situ volumes en kunnen dan gevalideerd worden met bodempeilingen op dezelfde manier als bij ploegen en agitatiebaggeren. Omdat de bepaling met MARS nauwkeurig is, kan volstaan worden met enkele in- en uitpeilingen, terwijl voor ploegen en agitatie regelmatige peilingen noodzakelijk zijn.

6 Conclusies en Aanbevelingen

6.1 Conclusies

Het bijhouden van de jaarlijks baggerhoeveelheden is nodig in het kader van het Natura2000 beheerplan voor de Waddenzee. De gerapporteerde baggerhoeveelheden dienen zo representatief mogelijk te zijn voor de eco-morfologische effecten die het baggerwerk teweeg brengt. Streven is dat de gerapporteerde gegevens één-op-één vergelijkbaar zijn tussen verschillende aannemers.

Momenteel zijn de gerapporteerde baggerhoeveelheden nog niet één-op-één vergelijkbaar tussen de verschillende aannemers of de verschillende baggermethodieken. Er wordt nu een hybride boekhouding gevoerd met een combinatie van beunvolumes (van een sleephopperzuiger) en in-situ baggervolumes (overige baggermethodieken) door Rijkswaterstaat en de gecontracteerde aannemers. Het volume van sediment hangt echter sterk af van de dichtheid en de dichtheid in-situ is anders dan de dichtheid in het beun. In-situ baggervolumes en beunvolumes zijn daardoor niet altijd goed vergelijkbaar. Dit vertroebelt de interpretatie van de gegevens. Daarbij geldt dat de wijze van registratie van het baggervolume, bijvoorbeeld de overgang naar de halve bol methode voor beunvolume, invloed kan hebben op de gerapporteerde volumes.

Ruim de helft van alle geregistreerde baggervolumes 2016-2021 in de Waddenzee exclusief havenonderhoud wordt gebaggerd door een sleephopperzuiger en ruim een derde door agitatiebaggeren. Het onderzoek richt zich daarom met name op deze twee baggermethodieken, maar omvat ook de andere methodes.

Alle sleeppopperzuigers zijn tegenwoordig voorzien van MARS en meten de gebaggerde TDS. In MARS wordt ook het debiet door de zuigbuis en de gezogen dichtheid geregistreerd, hoewel dit geen gekalibreerde output is voor MARS. Met een toekomstige uitbreiding naar mini MARS kan dit systeem ook worden toegepast op andere baggermethodieken, zoals beunbakken of naar ploegen of agitatiebaggeren zonder TDS registratie.

De baggervolumes worden ook bepaald door de bodemeigenschappen in de baggervakken. In het beheerplan wordt er van uit gegaan dat meer dan 70% van het baggervolume bestaat uit slib, zoals de vaarweg Ameland-Holwerd. De bodemsamenstelling is echter niet gevalideerd met bodemonderzoek of monsters uit het beun. De bodemsamenstelling is niet alleen van belang voor de baggervolumeregistratie, maar ook voor de ecologische effecten en de efficiëntie van het baggerwerk.

Met behulp van de in-situ bodemgegevens, te bepalen door bodemonderzoek in de baggervakken, kunnen de met MARS gemeten TDS eenduidig worden vertaald naar in-situ baggervolumes. Met bodempeilingen worden eveneens in-situ baggervolumes verkregen die kunnen dienen ter validatie.

Daarnaast is het van belang, bijvoorbeeld in een nieuw beheerplan, om niet alleen naar baggervolumes te kijken, maar ook naar de eco-morfologische effecten van de verschillende baggermethoden. Bijvoorbeeld de eco-morfologische effecten van een ploeg m^3 zijn heel anders dan van een sleeppopper m^3 . En vooral van agitatiebaggeren is minder duidelijk hoe het sediment buiten de baggervakken verspreid wordt en welke methode het meest efficiënt is.

6.2 Aanbevelingen

6.2.1 Baggermethoden

Aanbevolen wordt om alle baggerhoeveelheden in de basis uit te drukken in in-situ volumes in m^3 en zowel de in-situ volumes in m^3 als de TDS te registreren in het overzicht van de baggerhoeveelheden. In-situ volumes zijn belangrijk voor de morfologische effecten en TDS is belangrijk voor ecologische effecten zoals vertroebeling en beter geschikt voor vergelijking met slibtransport modellen. Zoals al gedaan wordt, dient de gehanteerde baggermethode ook te worden geregistreerd, omdat dit relevante informatie is voor de eco-morfologische effecten. De in-situ volumes kunnen voor de sleeppopperzuigers worden bepaald uit de met MARS gemeten TDS in combinatie met kennis van de in-situ dichtheid en samenstelling van het sediment in de baggervakken, te bepalen o.b.v. bodemmonsters.

Op deze wijze wordt voorkomen dat in-situ volumes en beunvolumes door elkaar gebruikt worden en wordt een zo robuust mogelijke registratie van de baggerhoeveelheden nagestreefd met consistente gegevens bij de overgang van de ene aannemer naar de andere aannemer en ook zo goed mogelijk vergelijkbaar tussen verschillende baggermethodieken. Naar verwachting zal deze nieuwe manier van registreren goed uitvoerbaar zijn voor de aannemer en zelfs minder werk vragen, omdat het MARS systeem gebruikt gaat worden, dat in beheer is bij Rijkswaterstaat. Daarin kunnen de bodemgegevens per baggervak, evenals de zeewaterdichtheid al worden opgenomen.

Gespecificeerd voor de verschillende baggermethoden wordt het volgende aanbevolen:

- Sleeppopperzuiger
TDS wordt direct geregistreerd in MARS. De gegevens komen automatisch binnen bij Rijkswaterstaat en worden gedeeld met de aannemer. Inmiddels hebben alle sleeppopperzuigers die gebruikt worden op de Waddenzee ook het MARS systeem aan boord. Er wordt voorkomen dat beunvolumes van een sleeppopperzuiger gebruikt worden naast de in-situ volumes van andere baggermethodieken.

- **Agitatiebaggeren**
De productie van agitatiebaggeren via de zuigbuis met sleeppopperzuigers is uit te drukken in TDS door het gemeten zuigbuisdebiet te vermenigvuldigen met de zuigbuisdichtheid (droge stof). Deze waarden worden ook gemeten in MARS. Op basis van het bodemonderzoek kan de gemeten TDS per baggervak worden vertaald naar in-situ volumes. Dit kan worden gevalideerd met in- en uitpeilingen zoals nu gehanteerd in de aantoonrapportages. Dit levert eveneens in-situ volumes.
- **Grijper.**
Bij toepassing van grijper en beunbakken wordt het baggervolume vastgesteld door het registreren van aantal en vulling van de bakken. Vanwege de mechanische verwerking van het sediment is de dichtheid van het sediment hierbij niet heel verschillend van de in-situ dichtheid. Aanbevolen wordt het volume in de beunbakken te bepalen met de m³ halve bol methode, die in dit geval representatief zijn voor de in-situ m³, of direct in TDS met mini MARS. TDS dient via de in-situ dichtheid per baggervak omgerekend te worden naar in-situ m³.
- **Ploegen, WID**
Voor de agitatiebaggermethodieken met aparte vaartuigen zoals ploegen en WID wordt het geregistreerde baggervolume bepaald met behulp van in- en uitpeilingen in een aantoonrapportage net als bij agitatiebaggeren. Dit levert eveneens in-situ volumes.

6.2.2 Sediment

De volgende metingen met betrekking tot de sedimentsamenstelling en dichtheid worden aanbevolen:

- **In-situ bodemonderzoek**
 - Aanbevolen wordt om van alle baggervakken minimaal 1x per 2 jaar bodemonderzoek uit te voeren via boringen tot 1 m en bodemonsters van de toplaag. Dit kan meegenomen worden in de reguliere veldmetingen voor de bodemkwaliteit, of dient apart uitgevoerd te worden indien de frequentie van minimaal 1x per 2 jaar voor een specifiek vak niet gehaald wordt.
 - Voor gebieden waarvan de samenstelling varieert over de seizoenen of waar de baggervolumes sterk veranderen dient er frequenter bodemonderzoek uitgevoerd te worden: minimaal 4x per jaar en bij verwachte ruimtelijke gradiënten ook meerdere samples langs een geul. Dit geldt bijvoorbeeld o.m. voor de vaargeul Holwerd-Ameland en de Boontjes.
 - In het labonderzoek dienen de volgende eigenschappen bepaald te worden:
 - In-situ dichtheid, watergehalte, droge dichtheid, porositeit
 - Korrelverdeling, % klei, % slib en eventueel organisch stof gehalte
 - Minerale dichtheid sediment en dichtheid water.
- **Beunsamples**
 - Aanbevolen wordt om van de beunsamples die de baggeraar al met regelmaat neemt, ook de korrelverdeling en het slibgehalte te laten bepalen en deze te laten rapporteren naar Rijkswaterstaat. De beunsamples moeten representatief zijn voor de lading, dus van het vaste bed in het beun bij een zandlading en van de onderlaag met hogere dichtheid bij een meer slibrijke lading. De aanbevolen minimale frequentie is 1x per 2 jaar een beunsample per baggervak waarin met een sleeppopperzuiger gebaggerd wordt en bij voorkeur vindt de monsternamen plaats tegelijk met de in-situ bodemonsters.
- Indien na enkele jaren voldoende bodem- en beunsamples beschikbaar zijn, kan beter inzicht verkregen worden in het eco-morfologisch functioneren van de deelgebieden en de impact van het baggeren. Van de verschillende baggervakken kan worden vastgesteld of ze slibrijk of zandig zijn en eventuele verschuivingen in de tijd hierin kunnen worden opgemerkt.

6.2.3 Eco-morfologische effecten

Het wordt aanbevolen om in meer detail te kijken naar de eco-morfologische effecten van de verschillende baggermethoden. Bijvoorbeeld de eco-morfologische effecten van een ploeg m³ zullen heel anders zijn dan van een sleephopper m³.

Ook wordt aanbevolen om na te denken over hoe om te gaan met baggerinspanningen als ploegen of agitatiebaggeren met weinig horizontale sediment verplaatsing. Is het nodig om baggerinspanningen die leiden tot sedimentverplaatsingen binnen hetzelfde baggervak mee te tellen in het kader van morfologische en ecologische effecten? Anderzijds kan agitatiebaggeren leiden tot lokaal hoge toenames in vertroebeling en hoge lokale sedimentatie tijdens het baggeren, omdat agitatiebaggeren een hoge productie heeft. Agitatiebaggeren wordt veel toegepast in de Waddenzee. Het wordt aanbevolen om te onderzoeken hoe groot de vertroebelingswolken en sedimentatievoetafdruk van agitatiebaggeren zijn en hoe frequent en hoe lang deze optreden. Zo kan onderzocht worden of agitatiebaggeren lokaal significante effecten heeft op de eco-morfologie. Ook de mate van retourstroming en dus effectiviteit van agitatiebaggeren in de Waddenzee verdient nader onderzoek.

Net als bij de bepaling van de verspreidingslocaties voor sleephopperzuigers zou een modelstudie van agitatiebaggeren en ploegen hiervoor uitgevoerd kunnen worden, waarbij verspreiding en sedimentlaagdikte in de omgeving van de baggervakken worden bepaald waarmee zowel de effectiviteit van het baggerwerk als de ecologische impact kunnen worden beoordeeld. Monitoring van de vertroebelingswolken van agitatiebaggeren en baggeren en verspreiden met een sleephopperzuiger in combinatie met in- en uitpeilingen van de bodemhoogte (dual-frequency in geval van slibrijke omgeving) wordt aanbevolen om de ecologische impact en mate van verspreiding van het sediment beter in kaart te brengen. Deze inzichten zijn belangrijk voor het opstellen van een nieuw Natura2000 beheerplan.

6.2.4 Invoering

Bovenstaand advies om over te gaan op registratie van TDS en daaruit afgeleide in-situ baggervolumes moet nog verder gedetailleerd worden voordat het daadwerkelijk geïmplementeerd kan worden en meegenomen in contracten met een aannemer. De huidige aannemer is bijvoorbeeld wel tevreden over de registratie van beunvolumes via de halve bol methode.

Voor de doelen van Rijkswaterstaat is registratie van beunvolume echter minder relevant. Geautomatiseerde registratie via MARS zou voor de aannemer minder werk zijn dan via de handmatige halve bol methode en bovendien veel nauwkeuriger. Een punt van aandacht is dat de overgang van de huidige hybride aanpak van beunvolumes en in-situ volumes te vervangen door TDS en daaruit afgeleide in-situ volumes, zal leiden tot een lagere geregistreerde totale baggerhoeveelheid. Het wordt daarom aanbevolen om vooruitlopend op de nieuwe manier van baggerhoeveelheid registratie alvast de MARS gegevens naast de geregistreerde baggervolumes te leggen en op basis van al bekende gegevens over in-situ dichtheden en beunfactoren een voorlopige omrekening van de geregistreerde volumes naar in-situ volume en TDS te bepalen. Dit kan als input dienen in een nieuw Natura2000 beheerplan.

Tabel 1 Overzicht van de laatste baggercontracten in de Waddenzee.

Jaren	Baggerbedrijf	Methode volume hopper	Bijzonderheden uit overzicht Reizendatabase 2016-2021	
2021- heden	De Boer en Van der Kamp (samen)	Halve bol ($>1200 \text{ kg/m}^3$)	2021 jaartotaal m3 zuigen = 1.2 miljoen m3 Veel trips hebben dezelfde m3, bijna allemaal 600m^3 → waarschijnlijk wordt simpelweg 600m^3 gerapporteerd bij inschatting dat het schip vol is zonder exacte registratie van het daadwerkelijke volume .	1.2 miljoen m3 per jaar gemiddeld
2016- 2021	Van der Lee	Handmatig	2020 jaartotaal m3 zuigen = 2.1 miljoen m3 In 2020 sommige trips TDS is logged: avg 0.9 t/m^3 , max 7t/m^3 en min 0.36 t/m^3 2019 jaartotaal m3 zuigen = 2.0 miljoen m3 In 2019 sommige trips TDS is logged: avg 1 t/m^3 , max 1.1t/m^3 en min 0.65 t/m^3 2018 jaartotaal m3 zuigen = 1.6 miljoen m3 In 2018 sommige trips TDS is logged: avg 1 t/m^3 , max 2t/m^3 en min 0.36 t/m^3 2017 jaartotaal m3 zuigen = 1.1 miljoen m3 In 2017 sommige trips TDS is logged: avg 0.8 t/m^3 , max 1.05t/m^3 en min 0.36 t/m^3 2016 jaartotaal m3 zuigen = 0.5 miljoen m3 In 2016 sommige trips TDS is logged: avg 0.8 t/m^3 , max 1.47t/m^3 en min 0.33 t/m^3	Avg 1.5 miljoen m3 (standaard afwijking 0.7 miljoen m3)
2010- 2016	De Vries en van de Wiel	Handmatig?		

Tabel 2 Baggervolumes Waddenzee in beheer bij Rijkswaterstaat (exclusief toegangseul Eemshaven)
volgens Tabel B3.2 Beheerplan Natura 2000 en uit surveys Rijkswaterstaat

Baggervolumes Waddenzee	Verwacht Beheerplan	Survey*		
Baggervakken	in 1000 m3/jaar	in 1000 m3/jaar	Sediment Type	Kombergingsgebied
Veerhaven Texel	6	10	Zanderig slib	Marsdiep
Veerhaven Den Helder	1	0,5	Zanderig slib	Marsdiep
Havens Den Oever	150	75	Slib	Marsdiep
Havens Breezanddijk	6		Slib	Marsdiep
Havens Kornwerderzand	175	10	Slib	Marsdiep
Visjagersgaatje vaargeul	60	35	Zand	Marsdiep
Veerdam Vlieland	1		Zanderig slib	Vlie
Vaargeul langs Pollendam	65	100	Zanderig slib	Vlie
Blauwe Slenk vaarweg	400	400	Zand	Vlie
Pannengat vaarweg Harlingen	25		Zand	Vlie
Vliesloot / Stortemelk	15		Zand	Vlie
Slenk Meep vaarweg Harlingen	320	250	Zand	Vlie
Boontjes vaarweg Harlingen	80	250	Zanderig slib	Vlie
Veerdam Holwerd	40	50	Slib	Amelander Gat
Veerdam Nes	20	30	Slikkerig zand	Amelander Gat
Veerbootroute Ameland	2000	1700	Slib	Amelander Gat
Veerbootroute Ameland	4		Zand	Amelander Gat
Reegeul vaarweg	45	20	Zanderig slib	Amelander Gat
Ballumerbocht vaarweg	25	25	Slib	Amelander Gat
Veerhaven Lauwersoog	9	9	Slib	Friese Zeegat
Veerdam Schiermonnikoog	15	10	Slib	Friese Zeegat
Glinder vaarweg	125	25	Zand	Friese Zeegat
Groote Siege vaarweg	65		Zand	Friese Zeegat
TOTAAL	3652	2999,5		
Waarvan zand	28%	32%		

* voorlopige opgave Rijkswaterstaat (eind 2022), zie ook Tabel 3.
Zie voor baggerlocaties Figuur 2.
Sedimenttype Figuur 13

Tabel 3 Gemiddelde baggervolumes per jaar Waddenzee periode 2017-2022 (voorlopige cijfers Rijkswaterstaat)

Baggervakken	Baggervolume 2017-2022	Sediment type
Gebiedsnaam	In 1000 m3/j	
Waddenzee Veerhaven Den Helder	0,5	Slib
Waddenzee Veerhaven Texel / 't Horntje	10	Zanderig slib
Waddenzee Visjagersgaatje	35	Zand
Waddenzee Haven Den Oever	75	Slib
IJsselmeer Kornwerderzand	10	Slib
Waddenzee Boontjes	250	Slib (noordelijk deel) en zand (zuidelijk deel)
Waddenzee Slenk	250	Zand
Waddenzee Blauwe Slenk	400	Zand
Waddenzee Vaarwater langs de Pollendam	100	Zand
Waddenzee Veerbootroute Ameland	1700	Slib
Waddenzee Reegeul	20	Zanderig slib
Waddenzee Veerhaven Holwerd	50	Slib
Waddenzee Veerhaven Nes	30	Slib
Waddenzee Ballumerbocht (incl. kop)	25	Slib
Waddenzee Glinder	25	Zand
Waddenzee Grote Siege	0	
Waddenzee Veerdam Schiermonnikoog	10	Slib
Waddenzee Veerhaven Lauwersoog	9	Slib
TOTAAL	2999,5	
Waarvan zand	840	28%

Het totaal baggervolume in de Waddenzee is de afgelopen 5 jaar 2.900.000 m³/jaar. Wel moet hierbij opgemerkt worden dat het gemiddelde laag uitvalt door een rustig jaar in 2021. Normaal ligt het gemiddelde meer rond de 3.100.000 m³/jaar. Havens Den Oever en Kornwerderzand overgenomen door Levvel (Afsluitdijk) sinds 2021.

Tabel 4 Baggervolumes Waddenzee per jaar (uit Tabel 3.5 van 3-jaarlijkse tussenuvaluatie, Witteveen& Bos)

3-jaarlijks evaluatie	Beheer plan	2017	2018	2019	2020	2021	gem
In 1000 m3/jaar							
Veerhaven Texel	6	2	9	15	0	6	6
Veerhaven Den Helder	1	0	0	0	0	0	0
Havens Den Oever	150	83	53	81	84	4	61
Havens Breezanddijk	6	3	1	0	0	0	1
Havens Kornwerderzand	175	82	131	10	0	0	45
Visjagersgatje	60	19	43	41	28	26	31
Veerdam Vlieland	1						0
Vaargeul langs Pollendam	65	88	69	80	124	6	73
Blauwe Slenk	400	243	525	457	417	241	377
Pannengat	25	0	0	0	0	0	0
Vliesloot	15						0
Slenk	320	149	348	311	172	106	217
Boontjes	80	94	267	364	222	101	210
Veerdam Holwerd	40	21	46	38	64	29	40
Veerdam Nes	20	11	26	20	39	28	25
Veerbootroute Ameland	2000	948	1056	1132	1134	814	1017
Veerbootroute Ameland	4	796	541	470	654	341	560
Reegeul	45	27	19	11	14	18	18
Ballumerbocht	25	26	20	27	24	21	24
Veerhaven Lauwersoog	9	8	10	5	2	0	5
Veerdam Schiermonnikoog	15	11	20	5	0	1	7
Glinder	125	67	117	156	92	68	100
Groote Siege	65	20	71	61	52	19	45
TOTAAL	3652	2698	3372	3284	3122	1829	2861

Zie Figuur 5.

Tabel 5 Berekende sedimentkenmerken in-situ dichtheid, droge-stof gehalte (droge dichtheid) en watergehalte per sediment type

Sediment	In-situ Dichtheid	Concentratie droge stof		Poro siteit	Water gehalte	TDS/m3
type	Rho nat	Rho droog		n0	w	TDS/m3
	kg/m3	vol%	kg/m3	vol%	m%	t/m3
Vastgepakt zand	2000	62%	1613	38%	24%	1,61
Matig gepakt zand	1900	56%	1448	44%	31%	1,45
Losgepakt zand	1800	49%	1284	51%	40%	1,28
Zand mix	1700	43%	1119	57%	52%	1,12
Slikkerig zand	1600	37%	954	63%	68%	0,95
Zanderig slib	1500	30%	790	70%	90%	0,79
Stevig slib	1400	24%	625	76%	124%	0,63
Slib	1300	18%	461	82%	182%	0,46
Modder (fluid mud)	1200	11%	296	89%	305%	0,30
Waterig slib	1100	5%	132	95%	736%	0,13
Water	1020	0%	0	100%	∞	0,00

Op basis van minerale dichtheid sediment en water:

Dichtheid	rho	
Water	1020	kg/m3
Droge stof	2600	kg/m3

Zie Figuur 14.

7 Referenties

Plan van Aanpak KPP 2022 project HV09 2022 - Waddenzee Kennisontwikkeling morfologie en Baggerhoeveelheden, Deltares, 2022

Natura 2000-beheerplan Waddenzee, Periode 2016-2022, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Rijkswaterstaat Noord-Nederland, 2016

3-jaarlijkse tussenevaluatie verspreidingslocaties Waddenzee 2017-2019 (inclusief 2020 en 2021), Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. | Deventer, 2022

Stijging Baggerhoeveelheden Vaargeul Boontjes, 2021, Deltares, 11206799-007

link naar de MARS webportal:

<https://mars.rws.nl/apps/mars2-webportal/>

The contribution of sand and mud to infilling of tidal basins in response to a closure dam, A. Colina Alonso, D.S. van Maren, E.P.L. Elias, S.J. Holthuijsen, Z.B. Wang, Marine Geology 439 (2021)

Baggeren en verspreiden in de Waddenzee, Passende beoordeling, Arcadis, in opdracht van Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Rijkswaterstaat, 2016

KPP-project 2015 BU03 Prognose Baggerhoeveelheden Waddenzee, Deltares
Basisdocument Overige factoren en Basisdocument Hydromorfologische factoren, 2016

overige literatuur (Kennisbank Deltares)

Onderzoek naar bruikbaarheid van de capacatieve meetmethode van Keska voor het bepalen van de dichtheid in het beun van hopperzuigers: nota, Deltares, 1980

Het afzetten van zand in de beun van een hopperzuiger: bepaling van de dichtheid. TU Delft, G.A. Jurgens, 1995

The "Tonnes Dry Solids (TDS)" system: a new development in establishing a hopper dredger's production, Rijkswaterstaat

HET M3 ZAND SYSTEEM [M3ZS], PILOT HAM317, 2002, Rijkswaterstaat

Evaluatie MARS systeem voor sleepopperzuigers (Monitoring And Registration System), Z3538, Deltares, 2004